

## INOVASI *BIOGASOLINE* DENGAN KOMBINASI *BIOETANOL* DARI SERAT LIMBAH SIWALAN DAN PERTALITE

Muhammad Arjuna Putra Sasongko<sup>1</sup>, Agus Setiyono<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pengolahan Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl Gajah Mada No.38, Cepu, 58315

\*E-mail: agasasutadewa@gmail.com

### ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar minyak, energi fosil terbilang semakin terbatas, sehingga diperlukan solusi bahan bakar alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Limbah kulit siwalan merupakan salah satu limbah yang jarang dimanfaatkan di Indonesia dan memiliki kandungan selulosa yang tinggi, yaitu sekitar 45 – 53%, sehingga kandungan selulosa yang tinggi tersebut menjadikannya berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi bioetanol. Meninjau potensi tersebut, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui potensi kulit siwalan menjadi gasoline melalui metode blending bioetanol yang dihasilkan dengan bahan bakar Pertalite. Adapun prosedur penelitian ini meliputi proses delignifikasi, hidrolisis, fermentasi, distilasi, dan blending. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kadar kemurnian bioetanol mencapai 87,39% setelah dilakukan distilasi azeotrop. Kemudian, dilakukan blending antara bioetanol dengan Pertalite untuk dicapainya target RON Pertamax, yaitu 92. Dari hasil blending, didapatkan spesifikasi gasoline dengan densitas 735 kg/m<sup>3</sup>, nilai octane number 93,3, dan Reid Vapor Pressure (RVP) 50 kPa. Spesifikasi tersebut telah memenuhi standar spesifikasi Pertamax. Berdasarkan perolehan octane number gasoline hasil blending yang mencapai 93,3, maka diketahui bahwa bahan bakar alternatif ini kompatibel untuk digunakan pada mesin dengan rasio kompresi 10 : 1. Sehingga, produksi bioetanol ini memiliki prospek yang menjanjikan untuk dikembangkan sebagai bentuk pemanfaatan limbah organik untuk pemenuhan bahan bakar alternatif pengganti BBM fosil.

**Kata kunci:** *Bioetanol, Biofuel, Blending, Siwalan*

### 1. PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, keberadaan energi fosil semakin terbatas. Ketersediaan energi fosil berupa minyak bumi diperkirakan akan berangsur menurun, meskipun masih berperan besar hingga tahun 2030. Penurunan ini terjadi dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, dengan rerata penurunan produksi migas mencapai 2% setiap tahunnya. Namun, berbanding terbalik dengan itu, kebutuhan akan Bahan Bakar Minyak (BBM) dalam 5 tahun terakhir mengalami peningkatan hingga 3% setiap tahunnya. Peningkatan kebutuhan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan BBM pada sektor transportasi masih cukup tinggi. Sehingga berdasarkan ketergantungan akan BBM tersebut, menunjukkan bahwa secara tidak langsung sektor migas masih berperan penting menjadi *supplier* energi primer di masa depan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, melalui Rencana Umum Energi Nasional, pemerintah memasang target untuk tidak ada lagi impor BBM pada tahun 2025 dengan meningkatkan kapasitas kilang, *Refinery Development Master Plan* (RDMP), dan diversifikasi BBM ke bahan bakar lain [1].

Adapun alternatif lain yang berpotensi menggantikan BBM fosil adalah biomassa. Biomassa merupakan bahan-bahan organik baik yang berasal dari hewan maupun tumbuhan, yang umumnya berupa limbah pertanian, limbah kayu, jerami, limbah makanan, dan lainnya. Hasil pengolahan biomassa sebagai pengganti BBM fosil berupa *biofuel* yang dinyatakan dapat mengurangi emisi gas ke udara. Secara spesifik, *biofuel* yang dapat menggantikan BBM untuk kebutuhan transportasi adalah *bioetanol* yang merupakan etanol hasil fermentasi bahan-bahan

organik biomassa [2]. Salah satu contoh biomassa yang memiliki potensi untuk dikonversi menjadi *bioetanol* adalah sabut siwalan yang merupakan limbah dari tanaman siwalan yang jarang dimanfaatkan [3]. Satu di antara daerah-daerah yang memiliki lahan siwalan adalah Kabupaten Tuban dengan produksi sebanyak 7140,76 ton pada tahun 2017 [4].

Dalam penelitian oleh Rosanti *et al.*, (2023), diketahui bahwa sabut siwalan berpotensi menjadi bahan *bioetanol* karena mengandung kadar selulosa sebesar 52%, sehingga dirumuskan proses pembuatannya meliputi tiga tahap, yaitu delignifikasi atau *pretreatment*, hidrolisis, dan fermentasi. Namun, penelitian ini menghasilkan kadar etanol yang belum sesuai dengan standar *bioetanol* yang telah ditetapkan [3]. Selain itu, beberapa penelitian lain memberikan metode yang berbeda dalam penggunaan biomassa sebagai *bioetanol* pengganti BBM fosil. Di antaranya dalam penelitian yang dilakukan oleh Ismatullah dan Muhaji (2023), di mana dilakukan *blending* antara Peralite dan *bioetanol* dari nira siwalan dengan variasi kadar. Berdasarkan penelitian tersebut, diperoleh hasil pengujian emisi gas buang CO mengalami penurunan rata-rata 31%, hidrokarbon (HC) sebesar 29%, dan O<sub>2</sub> sebesar 20%, tetapi CO<sub>2</sub> justru mengalami kenaikan rerata sebesar 32% [5]. Kemudian, dalam penelitian Ihtifazhuddin *et al.* (2024), diketahui bahwa *bioetanol* yang dihasilkan dari limbah kulit nenas memiliki kadar 59,33% yang belum memenuhi standar, yaitu 99,5%. Namun, setelah dilakukan *blending* dengan Peralite, diperoleh bahwa metode ini dapat meningkatkan nilai beberapa parameter standar, seperti densitas, viskositas, dan angka oktana. Hal tersebut didukung dengan hasil penelitian *blending* Peralite dengan *bioetanol* 25% menghasilkan nilai *Research Octane Number* (RON) sebesar 95,6, di mana nilai ini telah memenuhi angka yang distandarkan untuk BBM jenis Peralite [6].

Oleh karena itu, diinovasikan BBM kategori *gasoline* dari *bioetanol* berbahan sabut kulit siwalan yang dikombinasikan dengan Peralite menggunakan metode *blending* sebagai upaya mewujudkan keterbaruan energi melalui pemanfaatan limbah organik. Sehingga inovasi ini diharapkan mampu menghasilkan bahan bakar alternatif dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

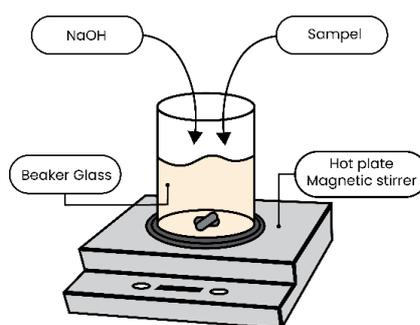
## 2. METODE

### A. Bahan

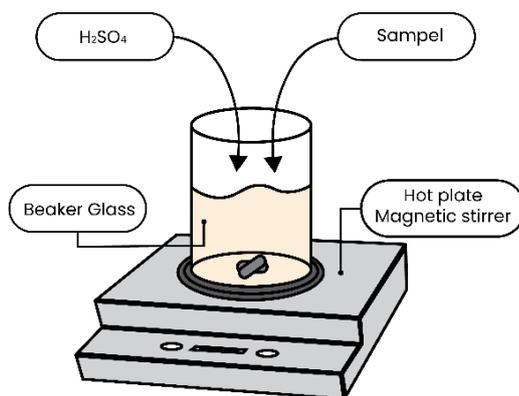
Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan di antaranya adalah kulit buah siwalan, Natrium hidroksida (NaOH), Asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), *aquadest* dan ragi.

### B. Alat

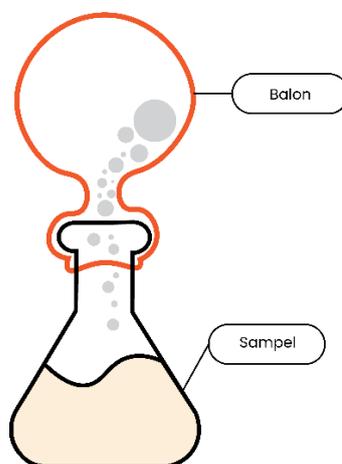
Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan *bioetanol* di antaranya adalah *blender*, *hot plate*, *shaker*, *pH meter*, *azeotrope distillation*, *isoterm adsorption*, dan *alcohol meter*. Adapun skema alat masing-masing proses ditunjukkan seperti dalam gambar 1-4 di bawah ini.



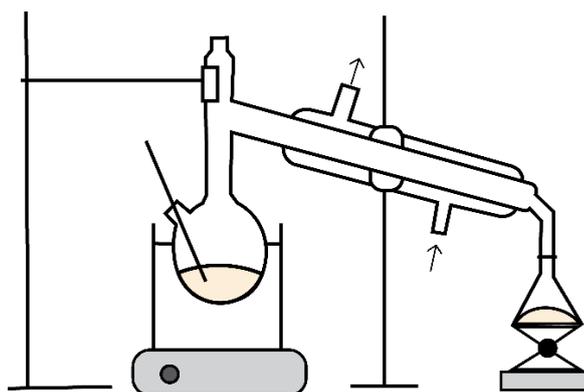
Gambar 1. Skema Alat Delignifikasi



Gambar 2. Skema Alat Hidrolisis



Gambar 3. Ilustrasi Proses Fermentasi



Gambar 4. Skema Rangkaian Alat Distilasi Azeotrop

### C. Subjek Penelitian

Kulit buah siwalan (*Borassus flabellifer L.*) ditentukan sebagai subjek penelitian dengan dilakukannya penelitian mengenai potensi penerapannya sebagai bahan pembuatan *bioetanol*.

### D. Variabel Penelitian

Terdapat dua jenis variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Dalam suatu penelitian, variabel bebas merupakan variabel yang tidak

dipengaruhi oleh variabel lain, sehingga dapat diubah atau dimanipulasi untuk mengetahui dampak terhadap variabel terikat, sehingga adapun variabel bebas yang ditentukan adalah waktu pemanasan, waktu pengadukan, waktu fermentasi, suhu, derajat keasaman (pH), dan berat *feed*. Sementara variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berat ragi, kadar etanol, dan *octane number* yang distandarkan.

### E. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam pembuatan *biogasoline*, diantaranya yaitu proses pencacahan kulit siwalan menggunakan *chopper* hingga berbentuk serat halus. Kemudian, serat-serat siwalan tersebut dikeringkan menggunakan oven untuk dikurangi kandungan airnya. Selanjutnya dilakukan uji *Chesson* untuk mengetahui persentase kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terdapat pada serat kulit siwalan. Kemudian, dilakukan delignifikasi, yaitu proses pemecahan lignoselulosa menjadi lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Proses ini perlu dilakukan karena lignin memiliki ikatan yang kompleks dan heterogen, serta berikatan erat dengan polisakarida, di mana ikatan ini dapat mencegah enzim untuk memecah selulosa dan hemiselulosa [7]. Dalam proses ini, lignoselulosa diubah menjadi senyawa gula menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Dalam tujuan untuk mendapatkan gula sebagai bahan baku proses selanjutnya, perlu dilakukan proses hidrolisis. Proses hidrolisis dilakukan dengan menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3% dengan waktu pemanasan 30 menit dan suhu pemanasan 120 °C. Prosedur dilanjutkan dengan proses fermentasi dengan bantuan ragi atau bakteri *Saccharomyces cerevisiae*. Dipilihnya bakteri *Saccharomyces cerevisiae*, karena bakteri tersebut mampu mengubah gula menjadi etanol. Proses fermentasi glukosa ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah konsentrasi gula, konsentrasi etanol, kadar nitrogen, derajat keasaman (pH), dan tekanan osmosis. Untuk meningkatkan keefektifan hasil dan efisiensi proses fermentasi dapat dilakukan dengan memilih bahan baku yang berkualitas, menjaga pH optimum, menjaga suhu ruangan tetap stabil, melakukan pengocokan (*shaking*) agar bakteri tercampur sempurna, dan melakukan perhitungan yang tepat terhadap perbandingan bakteri dan serat siwalan. Proses fermentasi ini berlangsung secara anaerobik dengan operasi yang dikendalikan berdasarkan kondisi seperti dalam Tabel 1. di bawah ini :

**Tabel 1. Kondisi Operasi Fermentasi Serat Kulit Siwalan**

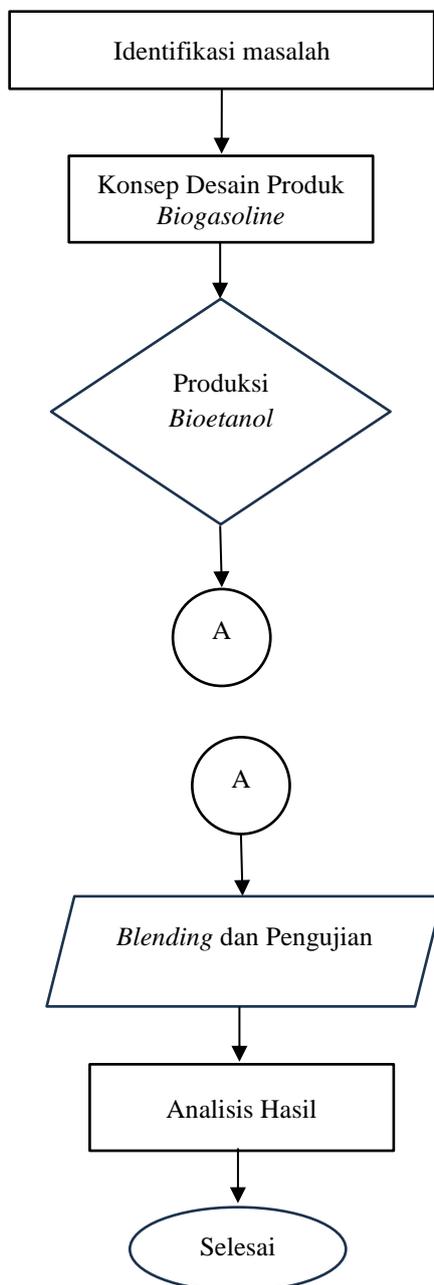
Waktu Pemanasan	Parameter Uji	
30 menit	pH	5
	Suhu	30°C
	Berat Ragi	4 gram
	Waktu Pengadukan	1 jam
	Lama Fermentasi	5 hari

Melalui proses fermentasi, selanjutnya dilakukan proses pemurnian dengan distilasi azeotrop. Distilasi azeotrop adalah proses distilasi di mana campuran dua atau lebih zat tidak dapat dipisahkan hanya dengan distilasi konvensional, karena titik didih campuran yang terbentuk adalah konstan. Langkah terakhir adalah proses *blending*, *blending* antara *gasoline* jenis Peralite dan *bioetanol* dari kulit buah siwalan yang dihasilkan bertujuan untuk menghasilkan *biofuel* dengan spesifikasi optimal yang siap digunakan sebagai bensin alternatif. Untuk menentukan nilai oktana hasil *blending* Peralite dengan *bioetanol* dari kulit buah siwalan, dilakukan perhitungan menggunakan Pers. (1) di bawah ini :

$$ON_{\text{mixed}} = \frac{(\text{Volume Peralite} \times ON \text{ Peralite}) + (\text{Volume Bioetanol} \times ON \text{ Bioetanol})}{(\text{Volume Peralite} + \text{Volume Bioetanol})} \quad (1)$$

### F. Metode Kerja

Adapun metode kerja yang digunakan dalam penelitian ini dirincikan dalam Gambar 5 seperti di bawah ini.



Gambar 5. Diagram Alir Metode Kerja

## 3. PEMBAHASAN

### A. Identifikasi Masalah

Selulosa merupakan polimer alam yang paling melimpah, biokompatibel, dan ramah lingkungan karena mudah terdegradasi, tidak beracun, serta dapat diperbarui. Selulosa juga

termasuk salah satu sumber daya alam terbarukan yang paling melimpah di Indonesia. Komponen lignoselulosa dapat ditemui pada limbah pertanian seperti bagas tebu, jerami, siwalan, ampas sagu, dan kelapa sawit. Meskipun demikian, selulosa masih belum dapat dimanfaatkan di berbagai bidang karena sukar dalam proses pengolahannya. Hal ini diakibatkan karena adanya ikatan hidrogen intra dan antarmolekul yang kuat pada struktur selulosa. Sehingga pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan proses untuk memanfaatkan selulosa menjadi *bioetanol* yang nantinya akan dilakukan *blending* dengan *gasoline* dengan tujuan untuk meningkatkan angka oktana pada *gasoline* tersebut.

### B. Produksi Bioetanol

Pada penelitian ini, prosedur pertama yang dilakukan adalah pencacahan kulit siwalan agar dapat diolah menjadi *bioetanol*. Pada Gambar 6., diketahui hasil dari proses pencacahan kulit buah siwalan hingga menjadi sabut halus dengan kandungan air yang minim.



Gambar 6. Hasil Percacahan Kulit Buah Siwalan

Setelah diperoleh sabut halus, prosedur dilanjutkan dengan dilakukannya uji *Chesson* untuk mengetahui komposisi kimawi yang terdapat pada serat kulit siwalan untuk menentukan kelayakan dari material tersebut. Hasil uji *Chesson* dari serat kulit siwalan ditunjukkan dalam Tabel 2. berikut :

Tabel 2. Komposisi Serat Kulit Siwalan dengan Metode *Chesson*

Parameter Uji	Hasil Analisis (%)
Protein	0,85
Lemak	0,96
Kadar Air	96,38
Kadar Abu	0,90
Kadar Gula	0,91

Berdasarkan Tabel 2. diketahui bahwa kulit buah siwalan memiliki kandungan gula yang berpotensi untuk diolah menjadi *bioetanol*. Adapun keberadaan kandungan gula pada kulit siwalan ini dipengaruhi karena kulit siwalan memiliki lapisan lignin. Namun, kandungan gula pada kulit siwalan ini masih tergolong kompleks, sehingga diperlukan proses delignifikasi untuk menyederhanakan lapisan lignin menjadi selulosa dan hemiselulosa. Dalam proses ini, lignoselulosa diubah menjadi senyawa gula dengan menggunakan larutan alkali seperti larutan natrium hidroksida (NaOH). Berdasarkan prosedur delignifikasi yang telah dilakukan, diperoleh persentase kandungan selulosa dalam serat kulit siwalan ditunjukkan dalam Tabel 3 seperti di bawah ini.

**Tabel 3. Hasil Delignifikasi Serat Kulit Siwalan**

Waktu Pemanasan	Parameter Uji	Hasil Analisa (%)
30 menit	Kadar Selulosa	71,37
	Kadar Hemiselulosa	3,66
	Kadar Lignin	5,24

Hasil proses delignifikasi yang ditampilkan pada Tabel 3. menunjukkan tingginya konsentrasi kadar selulosa yang dihasilkan. Hal ini sesuai, karena pada proses delignifikasi, lignin yang mengikat serat selulosa telah berkurang dan lepas, sehingga kadar selulosa semakin meningkat [8].

Dalam tujuan untuk mendapatkan gula sebagai bahan baku proses selanjutnya, yaitu fermentasi, perlu dilakukan proses hidrolisis. Proses hidrolisis dilakukan dengan menggunakan larutan  $H_2SO_4$  3%. Adapun hasil persentase kandungan glukosa dari proses hidrolisis serat kulit siwalan ditunjukkan dalam Tabel 4. berikut ini.

**Tabel 4. Hasil Hidrolisis Serat Kulit Siwalan**

Waktu Pemanasan	Parameter Uji	Hasil Analisa (%)
30 menit	Kadar Glukosa	45,24%
	Kadar Xylosa	8,18%
	Kadar Manosa	3,42%

Setelah diperoleh kandungan glukosa seperti dalam Tabel 4., prosedur dilanjutkan dengan proses fermentasi dengan bantuan ragi atau bakteri *Saccharomyces cerevisiae*. Berdasarkan proses fermentasi yang dilakukan diperoleh hasil utama berupa *bioetanol* dan hasil samping berupa gas  $CO_2$ . Tingkat keberhasilan proses fermentasi dapat dinyatakan dari terbentuk atau tidaknya gas, di mana kadar etanol harus lebih banyak, dan peningkatan kadar etanol ini dapat terjadi seiring dengan semakin lamanya waktu fermentasi berlangsung. Namun, untuk mengetahui persentase etanol yang terbentuk, perlu dilakukan pemurnian etanol dengan cara pemisahan etanol dengan air. Melalui proses fermentasi yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa bahan baku hanya dapat menghasilkan etanol dengan kemurnian sekitar 19 sampai 20%. Angka tersebut sudah menghasilkan kadar etanol jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan kadar etanol pada beberapa penelitian pembuatan etanol dari limbah sabut kelapa dan tandan kelapa, yaitu pada kisaran 2% hingga 6% [9]. Namun, angka tersebut terbilang kecil untuk dijadikan sebagai *bioetanol* murni, sehingga diperlukan proses pemurnian untuk mencapai kadar kemurnian yang sesuai spesifikasi.

Dalam proses pemurniannya, etanol dan air tidak cukup dipisahkan hanya dengan distilasi sederhana. Metode pemisahan antara etanol dan air ini dapat dilakukan dengan distilasi azeotrop dengan dibantu oleh *entrainer* yang berupa campuran sikloheksana dan n-heptana yang untuk meningkatkan kemurnian etanol. Sikloheksana dan n-heptana dipilih sebagai *entrainer* karena keduanya memenuhi syarat pemilihan *entrainer* distilasi azeotrop yang di antaranya adalah murah, mudah didapatkan, stabil secara kimia, dan memiliki panas penguapan yang rendah [10].

Setelah dilakukannya proses distilasi, dilakukan pengukuran volume dan persentase kadar etanol yang teruapkan. Adapun metode uji yang digunakan di antaranya adalah uji refraktometri, uji densitas, dan *alcohol meter*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil yang ditunjukkan dalam Tabel 5. di bawah ini. Berdasarkan Tabel

5., diketahui bahwa penggunaan campuran *entrainer* sikloheksana dan n-Heptana mampu menghasilkan *bioetanol* dengan kemurnian hingga 87,39%.

**Tabel 1. Hasil Pengujian Distilasi Azeotrop**

Komposisi (v/v)		Volume Sampel	IBP	FBP	Boiling Point	Residu	Refractive Index	Density	%Etanol
Sikloheksana	n-Heptana	248 ml	86°C	101°C	78,92°C	22 ml	1,3637	0,84119	87,39
10	30								

**C. Blending Peralite dan Bioetanol dari Kulit Buah Siwalan**

Proses *blending* antara *gasoline* jenis Peralite dan *bioetanol* dari kulit buah siwalan yang dihasilkan bertujuan untuk menghasilkan *biofuel* dengan spesifikasi optimal yang siap digunakan sebagai bensin alternatif. Namun, sebelum dilakukan *blending*, uji spesifikasi Peralite dan *bioetanol* dari kulit buah siwalan perlu dilakukan. Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, diketahui *octane number* (ON) atau nilai oktana *bioetanol* adalah 101, sementara Peralite adalah 90. Kemudian, diperlukan pula % volume yang optimum untuk produk yang diinginkan, sehingga dalam hal ini produk yang menjadi target adalah Pertamina dengan nilai oktana 92. Mempertimbangkan volume Peralite sebesar 70 ml dengan angka oktana sebesar 90 dan volume *bioetanol* sebesar 30 ml dengan angka oktana sebesar 101, maka komposisi pencampuran optimum adalah 70:30. Dengan perbandingan volume komposisi *blending* tersebut, setelah diperhitungkan, angka oktana *biofuel* yang dihasilkan menggunakan Pers. (1) adalah 93,3.

Setelah komposisi optimum bahan bakar ditentukan, proses pencampuran dilakukan dengan menggunakan pengaduk selama 10 menit pada suhu konstan 18°C. Produk kemudian diuji untuk mengetahui angka oktana, densitas pada suhu 15°C, dan *Reid Vapor Pressure* (RVP) sebagai parameter penting dalam kualifikasi *biofuel*. Adapun hasil dari pengujian beberapa parameter tersebut ditunjukkan dalam Tabel 6. di bawah ini. Sementara itu, adapun data spesifikasi *gasoline* jenis Pertamina dan Peralite yang distandarkan dari PT Pertamina (Persero) ditunjukkan dalam Tabel 7.

**Tabel 2. Hasil Blending Peralite : Bioetanol Kulit Buah Siwalan**

Parameter	Spesifikasi	Metode Pengujian
Density at 15°C (Kg/m <sup>3</sup> )	735	ASTM D 4052
<i>Octane Number</i>	93,3	K88600 <i>Portable Octane Analyzer</i>
RVP at 37,8°C (kPa)	50	ASTM D 323

**Tabel 3. Spesifikasi Peralite dan Pertamina**

Parameter	Spesifikasi		Metode Pengujian
	Pertamax	Peralite	
Density at 15°C (Kg/m <sup>3</sup> )	715 – 770	715 – 770	ASTM D 4052
<i>Octane Number</i>	92	90	K88600 <i>Portable Octane Analyzer</i>
RVP at 37,8°C (kPa)	45 – 60	45 – 60	ASTM D 323

Berdasarkan Tabel 6., hasil percobaan pada tiga parameter telah memenuhi standar yang telah ditetapkan dalam Tabel 7. Hal ini ditunjukkan dengan nilai densitas sebesar 735 kg/cm<sup>3</sup> yang terdapat dalam rentang batas standar 715 – 770 kg/cm<sup>3</sup>, nilai bilangan oktana sebesar 93,3

yang memenuhi batas minimal Pertamax dan Peralite, yaitu 92 dan 90, serta nilai RVP sebesar 50 kPa yang terdapat dalam batas standar 45 – 60 kPa.

Tiga parameter tersebut penting untuk diketahui, salah satunya adalah densitas yang menunjukkan tingkat kemurnian kualitas *gasoline*. Apabila nilai *density* bensin lebih rendah dari spesifikasi yang ditetapkan, maka produk kemungkinan produk dicampur dengan senyawa organik lain yang kurang padat. Kemudian terdapat parameter RVP yang menunjukkan kemampuan bensin dalam menguap atau dalam istilah lain adalah volatilitasnya. Parameter RVP ini berkaitan dengan proses *start* mesin. Jika RVP terlalu tinggi, terlalu banyak bensin yang akan menguap sebelum mencapai mesin yang kemudian akan menyebabkan *vapor lock*.

Selain itu, ada parameter lain berupa angka oktana yang digunakan untuk mengatur stabilitas bahan bakar. Angka oktana didasarkan pada tekanan saat bahan bakar terbakar spontan dalam mesin. Oleh karena itu, angka oktana menjadi parameter penting yang perlu diperhatikan. Namun, terdapat perbedaan angka oktana aktual hasil percobaan dengan angka oktana teoritis yang kemungkinan dapat disebabkan oleh ketidakmampuan bahan *blending* untuk mencapai kondisi pencampuran sempurna. Sehingga, dengan angka oktana yang diperoleh tersebut, *biogasoline* yang dihasilkan dari *blending* Peralite dan *bioetanol* dari kulit buah siwalan kompatibel untuk digunakan pada mesin atau kendaraan dengan rasio kompresi 10:1.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa pengolahan limbah kulit siwalan menjadi *bioetanol* melalui serangkaian proses delignifikasi, hidrolisis, dan fermentasi berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan peningkatan kandungan gula pada serat kulit siwalan. Peningkatan kadar gula tersebut turut meningkatkan potensi kulit siwalan untuk dijadikan sebagai *bioetanol*. Adapun proses distilasi azeotrop sebagai metode pemurnian mampu memurnikan produk *bioetanol* hingga 87,39% kemurnian. Kemudian, *blending* antara *bioetanol* dari kulit buah siwalan dan Peralite menghasilkan *biofuel* dengan angka oktana sebesar 93,3 yang telah memenuhi spesifikasi sehingga sesuai untuk digunakan sebagai bensin alternatif, serta kompatibel untuk digunakan pada mesin atau kendaraan dengan rasio kompresi 10:1.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. E. Setyono and B. F. T. Kiono, "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 154–162, Oct. 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- [2] S. Sulasminingsih, F. Hafiz, K. Sari, and S. Yuninda, "Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Wilayah Pedesaan," *Journal of Optimization System and Ergonomy Implementation (JOSEON)*, vol. 1, no. 1, pp. 42–51, 2023.
- [3] J. Rosanti, A. Hanindya, D. Hery Astuti, and Sani, "Pembuatan Bioetanol dari Sabut Siwalan dengan Proses SSF Menggunakan Enzim Silanase," *Inovasi Teknik Kimia*, vol. 8, no. 2, pp. 102–107, 2023.
- [4] C. N. Fariha, A. Setiawan, and T. A. Ramadani, "Karakterisasi Sabut Siwalan (*Borassus flabellifer*) dan Kulit Pisang Raja (*Musa paradisiaca* var. Raja) dalam Proses Produksi Bioetanol," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 2020, p. A2.1-A2.7. [Online]. Available: <https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin>
- [5] S. Ismatullah and Muhaji, "Pengaruh Campuran Peralite dengan Bioetanol Nira Siwalan (*Borassus flabellifer* linnaeus) terhadap Kadar Emisi Gas Buang Sepeda Motor Yamaha Aerox 2019 155CC," *JTM*, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, 2023.

- [6] F. Ihtifazhuddin, M. Yerizam, and S. Yuliati, "Preparation of Bioethanol from Pineapple Peel Waste for Blending Peralite into Alternative Fuel (Gasohol)," *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 11, no. 2, pp. 54–63, Aug. 2024, doi: 10.21776/ub.jsal.2024.011.02.1.
- [7] D. A. Permata, A. Kasim, A. Asben, and Yusniwati, "Delignification of Lignocellulosic Biomass," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 12, no. 2, pp. 462–469, Nov. 2021, doi: 10.30574/wjarr.2021.12.2.0618.
- [8] M. Jannah, H. Hikmah, and B. Wahyudi, "Pembuatan Glukosa Cair dari Limbah Sabut Siwalan dengan Hidrolisis Enzimatis," *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro*, vol. 4, no. 1, pp. 23–28, 2023, [Online]. Available: [www.chempro.upnjatim.ac.id](http://www.chempro.upnjatim.ac.id)
- [9] D. Novelia, A. Y. Putra, and Y. Sari, "Pemanfaatan Berbagai Macam Limbah Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif," *Jurnal Kimia Mulawarman*, vol. 20, no. 1, p. 39, Dec. 2022, doi: 10.30872/jkm.v20i1.1130.
- [10] T. Sriana, "Pemurnian Bioethanol dengan Metode Distilasi Azeotrop," *Konversi*, vol. 8, no. 1, Jun. 2019, doi: 10.20527/k.v8i1.6504.