

Analisis Sifat Fisika Kimia Ampas Ela Sagu Sebagai Sumber Bahan Bakar Bioetanol 65%

Johani Jonatan Numberi^{1✉}, Joni², Arifia Ekayuliana³

^{1,2} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Indonesia

³ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 25-06-2023

Direvisi : 04-07-2023

Diterima : 09-07-2023

Kata Kunci:

Karakterisasi, Ampas ela sagu, Bahan bakar, Bioetanol.

Keywords :

Characterization, Sago Pulps, Fuel, Bioethanol.

ABSTRAK

Ampas sagu (*Metroxylon sago Roth*) adalah salah satu limbah padat yang hasil pengolahan batang sagu berupa serbuk kasar yang masih mengandung beberapa senyawa yang dapat diolah sebagai sumber energi, salah satunya adalah bioethanol. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kandungan senyawa berupa karbohidrat, protein, dan serat. Sifat fisika kimia struktur hidrokarbon bahan bakar bioethanol (C_2H_5OH) kadar 65%. Metode yang digunakan berupa eksperimental untuk menganalisis proksimat ampas sagu dan photo Scanning Electron Microscopic EDX bioethanol dari ampas sagu dengan konsentrasi 60%. Hasil penelitian menunjukkan ampas sagu mengandung karbohidrat 82,4%, protein 1,85%, Serat kasar 1,70%, kandungan abu 3,64%, kandungan air 10,4% dan berwarna kecoklatan.

ABSTRACT

Sago pulp (*Metroxylon sago Roth*) is one of the solid wastes resulting from the processing of sago stalks in the form of coarse powder which still contains several compounds that can be processed as an energy source, one of which is bioethanol. This study aims to obtain the value of the content of compounds in the form of carbohydrates, protein, and fiber. The physical and chemical properties of the structure of the hydrocarbon bioethanol fuel (C_2H_5OH) content of 65%. The method used is experimental to analyze the proximate sago pulp and photo Scanning Electron Microscopic EDX bioethanol from sago pulp with a concentration of 60%. The results showed that sago pulp contained 82.4% carbohydrates, 1.85% protein, 1.70% crude fiber, 3.64% ash content, 10.4% water content and brownish color.

Corresponding Author :

Johani Jonatan Numberi

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Indonesia

Yabansai, Kec. Heram, Kota Jayapura, Papua 99224

Email: j_numberi@yahoo.com

PENDAHULUAN

Menggunakan ampas sagu (*Metroxylon sago*) sebagai sumber energi berupa bahan bakar dalam bentuk bioethanol adalah salah satu terobosan yang mengoptimalkan pemanfaatan limbah dengan tujuan untuk melestarikan lingkungan. Ampas sagu, merupakan produk sampingan dari hasil proses olahan batang pohon sagu, yang memiliki kandungan karbohidrat dan bahan organik lainnya dalam jumlah banyak. Namun, hingga sekarang ampas sagu pemanfaatannya masih terbatas, dan seringkali limbah ini hanya terbuang dan dibiarkan di sekitar lokasi patau

sungai. Hal ini mengakibatkan beberapa masalah, seperti potensi pencemaran lingkungan dan kurangnya efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya. Oleh karena itu, penting dilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengatasi masalah ini dan mengoptimalkan pemanfaatan ampas sagu sebagai sumber energi terbarukan.

Ampas sagu dapat diubah menjadi bioetanol melalui serangkaian proses pengolahan yang melibatkan metode pretreatment, hidrolisis, dan fermentasi. Pretreatment dilakukan untuk mempersiapkan ampas sagu agar lebih mudah diolah dan meningkatkan kemampuan konversi menjadi bahan bakar bioetanol. Hidrolisis menggunakan enzim akan mengubah karbohidrat dalam ampas sagu menjadi glukosa yang dapat difermentasi menjadi bioetanol oleh mikroorganisme seperti ragi (*Saccharomyces*).

Dengan memanfaatkan ampas sagu sebagai bahan bakar bioetanol, terdapat berbagai manfaat yang dapat diperoleh. Pertama, ampas sagu yang awalnya dianggap sebagai limbah dapat diubah menjadi sumber energi alternatif dalam mengatasi keterbatasan penggunaan bahan bakar yang bersumber dari fosil. Kedua, pemanfaatan ampas sagu secara efisien dapat mengurangi polusi air, tanah dan udara akibat pembuangan limbah. Ketiga, pengembangan industri bioetanol dari ampas sagu dapat memberikan kontribusi ekonomi kepada masyarakat lokal dan menciptakan lapangan kerja baru.

Langkah penting dalam upaya pemanfaatan ampas sagu sebagai sumber energi yang berlangsung secara berkelanjutan dan berupaya menjaga lingkungan. Melalui pengembangan teknologi dan penelitian yang komprehensif, diharapkan ampas sagu dapat diolah dengan lebih efisien dan menghasilkan bioetanol berkualitas tinggi, sehingga memberikan manfaat maksimal bagi lingkungan, masyarakat, dan sektor energi secara keseluruhan.

Karakteristik fisik dari struktur hidrokarbon yang menjadi elemen utama yang terdapat pada ampas sagu untuk dijadikan sebagai bioetanol (bahan bakar) yang dapat dikonversi. Harapannya, penelitian ini akan memiliki dampak signifikan dalam membentuk kebijakan energi di tingkat daerah dan nasional, serta kebijakan pengelolaan energi yang mengedepankan prinsip-prinsip keadilan, keberlanjutan, dan kesadaran lingkungan dengan menciptakan kemandirian dan ketahanan energi nasional yang kuat dari pemanfaatan limbah ampas sagu sebagai sumber energi bioetanol kadar rendah 65% untuk mengatasi ketersediaan energi lokal. Manfaat penelitian untuk menganalisis material bahan bakar bioetanol ampas sagu, meliputi analisis struktur material menggunakan scanning electron macroscopic (SEM), analisis proximate dan ultimate (Numberi, 2022).

(Awg-Adeni, 2013; I Made, 2015; Numberi, 2017; Haska, 2018), menyebutkan pengolahan limbah ampas sagu yang belum diolah dengan baik memiliki potensi yang berdampak pada pencemaran lingkungan. Ampas sagu merupakan ampas nabati yang bisa diolah menjadi bioetanol (Haska, 2018). Ampas sagu yang berasal dari proses ekstraksi pati sagu memiliki komposisi yang menghasilkan limbah, yakni sisa empelur, serat sagu yang juga dikenal dengan sebutan ampas ela sagu, kulit batang, serta puncak dan daunnya, dan air bekas dari proses pengolahan sagu (Awg-Adeni *et al.*, 2013). Pengelolaan limbah ampas sagu yang belum optimal adalah masalah yang perlu diselesaikan karena limbah tersebut berpotensi menyebabkan polusi lingkungan. Oleh sebab itu, penting untuk dilakukan penanganan lanjutan untuk mengubahnya menjadi bioetanol C_2H_5OH dengan kadar rendah sekitar 65%, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak dan gas untuk memenuhi keperluan energi di industri dan rumah tangga, terutama di wilayah daerah terisolir dan sulit mengakses energi (Numberi, 2017).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental untuk menguji karakteristik ampas ela sagu dengan tujuan mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang sifat-sifat fisikokimia dan struktur hidrokarbon dari material tersebut. Melalui pengujian SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray*) yang dilaksanakan, dapat menganalisis komposisi dan distribusi elemen secara detail pada sampel ampas ela sagu. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data karakteristik potensi ampas sagu untuk sumber bahan bakar alternatif berupa bioetanol dengan kandungan kadar rendah sebesar 65%. Penggunaan metode

FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk melakukan analisis yang lebih mendalam terhadap ampas ela sagu. Dengan memanfaatkan spektroskopi inframerah, dapat mengidentifikasi dan mempelajari ikatan kimia yang terdapat dalam sampel tersebut, termasuk ikatan hidrokarbon yang relevan dengan potensi produksi bioetanol.

Ampas ela sagu adalah salah satu limbah yang dihasilkan dari proses olahan sagu dan memiliki karakteristik khas. Limbah ini terdiri dari beberapa komponen senyawa, yaitu berupa lignoselulosa, selulosa, dan lignin, yang ketiganya dapat dioptimalkan sebagai sumber karbon. Komponen-komponen ini membentuk ikatan kompleks dalam struktur ampas ela sagu, yang terdiri dari serat-serat selulosa yang terikat dengan lignin dan hemiselulosa (Haryati, *et al.*, 2022). Selain itu, ampas ela sagu juga masih mengandung sejumlah sisa pati setelah dilakukan proses ekstraksi sagu.

Gambar 1 menunjukkan secara visual limbah ampas ela sagu yang memiliki struktur kompleks tersebut. Dalam struktur ini, lignoselulosa berperan penting sebagai komponen utama yang memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap penguraian. Selulosa, yang merupakan komponen utama dalam lignoselulosa, merupakan polimer karbohidrat yang tersusun atas rantai panjang molekul glukosa yang terikat secara kuat. Lignin, di sisi lain, memberikan sifat kaku dan kekakuan struktural pada ampas ela sagu.

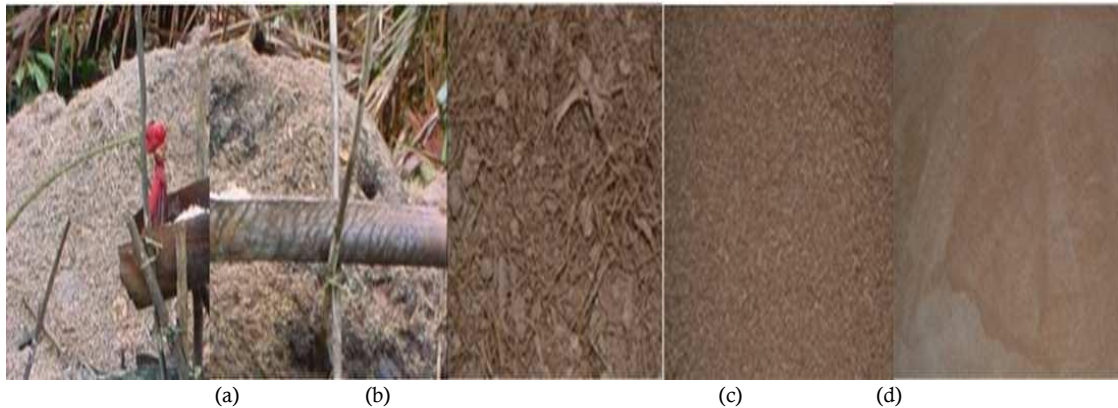
Kandungan pati yang masih ada dalam ampas ela sagu setelah proses ekstraksi pati sagu juga memberikan nilai tambah dalam pemanfaatan limbah ini. Pati merupakan polisakarida yang dapat diubah menjadi glukosa melalui hidrolisis enzimatis atau reaksi kimia tertentu. Glukosa yang terbentuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pembuatan bioetanol.



Gambar 1. Limbah dan ampas sagu

Salah satu tahapan dalam pengolahan ampas ela sagu ialah dengan metode *pretreatment*, Gambar 2(a) merupakan ampas ela sagu basah yang diambil dari hasil produksi masyarakat secara tradisional yang dibuang di lingkungan, limbah tersebut diolah dengan cara ditekan dan dijemur di bawah sinar matahari selama periode 3 hari. Selanjutnya pada Gambar 2(b)

Pretreatment Fisik Mekanis adalah proses perlakuan awal, proses pemisahan pati dengan metode fisik mekanis, yaitu sagu dari serat lignoselulosa dihaluskan dengan menggunakan *cutter mill* dan *hammer mill*. Pada Gambar 2(c) ampas ela sagu yang sudah dilakukan *pre-treatment* menjadi serat kasar yang telah di saring dan tidak lolos dalam saringan mesh 150. Syarat untuk pembuatan bioetanol, ampas sagu harus lolos dengan saringan mesh 150.



Gambar 2. Ampas ela sagu setelah melalui perlakuan fisik mekanis dengan partikel yang berhasil melewati saringan berukuran 150 μm [3]

Salah satu tahap dalam proses pengolahan ampas ela sagu adalah menggunakan metode pretreatment. Gambar 2 (a) menampilkan ampas ela sagu dalam kondisi basah yang diperoleh dari proses produksi tradisional dan seringkali dibuang ke lingkungan. Ampas tersebut kemudian diperas dan dikeringkan dengan paparan sinar matahari selama 3 hari, seperti yang terlihat pada ilustrasi. Selanjutnya, Gambar 2 (d) menunjukkan ampas sagu yang telah dikeringkan dan berhasil melewati saringan mesh 150. Tahap selanjutnya adalah hidrolisis ampas ela sagu menjadi glukosa menggunakan enzim α -amilase atau melalui perlakuan dengan asam sulfat dan enzim *amylglukosa*. Glukosa yang dihasilkan selanjutnya difermentasi menggunakan ragi (*Saccharomyces*) untuk menghasilkan bioethanol (Numberi, 2022).

Untuk memfasilitasi konversi partikel ampas sagu menjadi selulosa dan meningkatkan komponen limbah menjadi karbohidrat, dilakukan perlakuan awal pretreatment. Salah satu metode pretreatment yang digunakan adalah menggunakan enzim untuk mengubah selulosa menjadi glukosa. Proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa biasanya dilakukan dengan menggunakan enzim alfa amilase. Namun, enzim alfa amilase hanya mampu menghidrolisis sebagian material ampas sagu. Oleh karena itu, diperlukan penambahan enzim selulase agar semua komponen ampas sagu dapat dihidrolisis menjadi glukosa dan meningkatkan produksi bioethanol (I Winarni, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

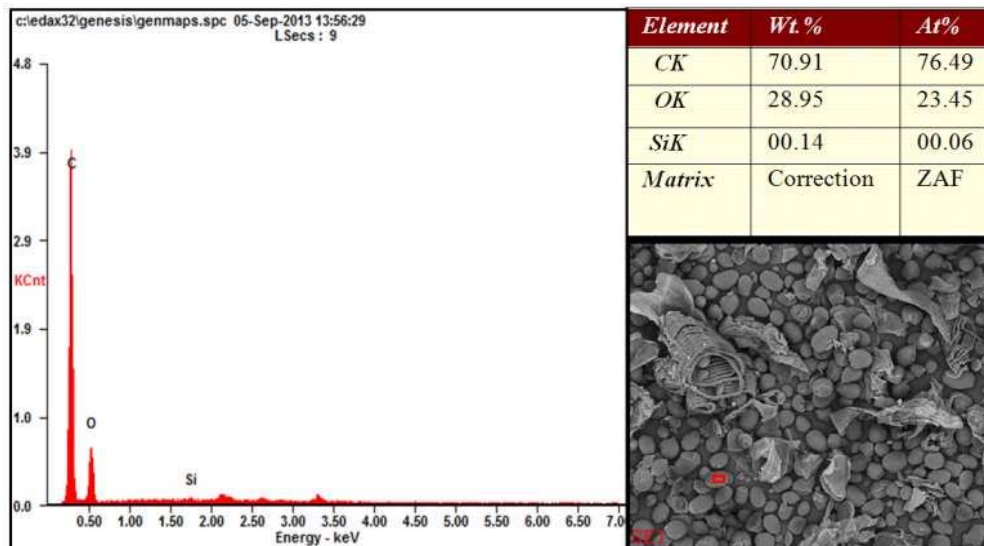
Berdasarkan hasil karakterisasi dalam penelitian ini, ditemukan bahwa ampas sagu memiliki kandungan selulosa dan karbohidrat yang signifikan, yang dapat dioptimalkan sebagai sumber energi untuk produksi bioethanol. Karakterisasi ampas sagu menunjukkan bahwa sekitar 82,4% dari komposisinya adalah karbohidrat, menandakan potensinya sebagai bahan baku yang sangat cocok untuk pengolahan menjadi bioethanol. Tabel 1 menampilkan rincian hasil uji karakterisasi ampas sagu berikut ini.

Tabel 1. Uji proksimat ampas sagu

Parameter	Kuantitas
Warna	Kecokelatan
Kandungan air	10,4 %
Abu	3,64 %
Protein	1,85 %
Lemak	0,01 %
Karbohidrat	82,4 %
Serat kasar	1,70 %

Photo Scanning Electron Microscopic EDX

Photo Scanning Electron Microscopic EDX dilakukan untuk mengeksplorasi dan menganalisis struktur komponen hidrokarbon dalam ampas sagu dari olahan pohon sagu yang berasal dari Papua dan menunjukkan potensi sebagai sumber energi. Bioetanol dapat diperoleh dari fermentasi senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam ampas sagu tersebut. Hasil pengujian SEM EDX mengungkapkan jika ampas ela sagu memiliki kandungan karbon sebesar 70,91% dalam kondisi kering dan 76,49% dalam kondisi basah. Gambar 3 menunjukkan bahwa ampas ela sagu memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan bakar bioetanol setelah mengalami proses pengolahan yang tepat.



Gambar 3. Hasil Uji SEM EDX Ampas Ela Sagu

Pembuatan Bioetanol 65%

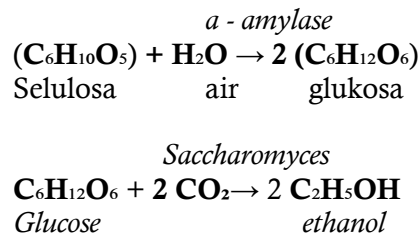
Untuk mengubah ampas ela sagu menjadi bahan bakar bioetanol dengan kandungan sebesar 65%, dilakukan serangkaian tahapan pengolahan. Tahap awal adalah pretreatment, di mana ampas ela sagu basah yang diperoleh dari produksi masyarakat secara tradisional ditekan dan pengeringan dilakukan 3 hari dengan bantuan sinar matahari. Setelah itu, ampas ela sagu yang telah kering melewati proses penyaringan menggunakan saringan berukuran mesh 150 untuk mendapatkan partikel yang halus (Ekayuliana, 2022).



Gambar 4. Proses pembuatan bioetanol 65% dari ampas sagu

Langkah selanjutnya adalah hidrolisis ampas ela sagu menjadi glukosa menggunakan enzim α -amilase atau melalui proses asam sulfat dan enzim amyloglukosa. Proses hidrolisis ini bertujuan untuk mengubah pati yang terkandung dalam ampas ela sagu menjadi glukosa yang dapat digunakan dalam fermentasi. Setelah glukosa terbentuk, tahap selanjutnya adalah

fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces*. Dalam proses fermentasi ini, glukosa diubah menjadi etanol melalui reaksi berikut. Melalui tahapan-tahapan ini, ampas ela sagu berhasil diolah menjadi bioetanol dengan konsentrasi 65%.



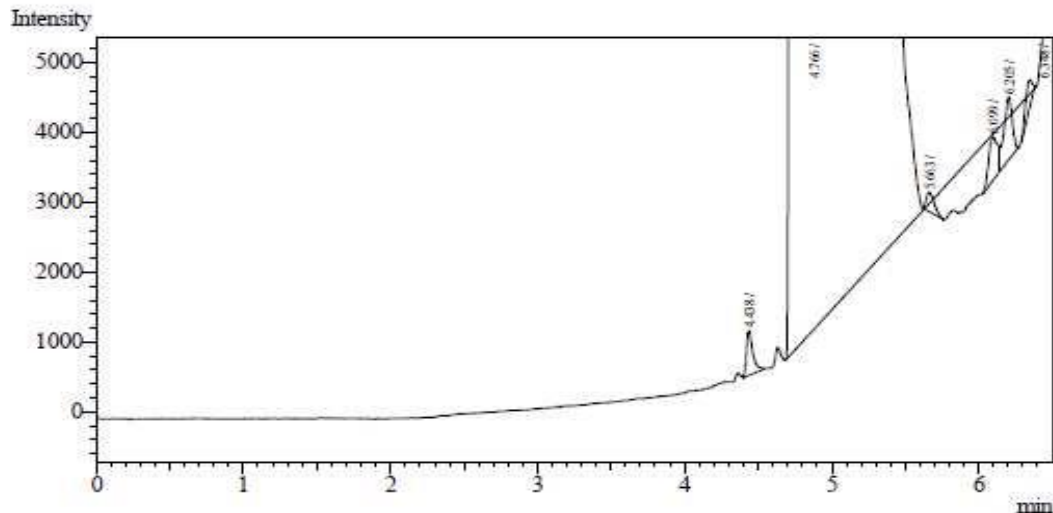
Pretreatment awal dilakukan pada ampas sagu untuk memfasilitasi konversi partikel ampas sagu menjadi selulosa yang dapat diubah menjadi glukosa melalui proses enzimatik. Tujuan dari pretreatment ini adalah untuk meningkatkan komponen karbohidrat dalam limbah ampas sagu. Proses selanjutnya melibatkan hidrolisis selulosa menjadi glukosa menggunakan enzim alfa amylase (IWinarni, 2019). Namun, enzim alfa amylase umumnya hanya mampu menghidrolisis sebagian material dalam ampas sagu. Oleh karena itu, penambahan enzim selulase diperlukan untuk menghidrolisis semua komponen dalam ampas sagu menjadi glukosa, yang pada gilirannya akan meningkatkan produksi bioetanol (Haryati., 2022).

Karakteristik Bioetanol 65%

Bioetanol adalah bahan bakar nabati yang dihasilkan melalui proses fermentasi gula, pati, dan lignoselulosa yang terdapat dalam tanaman dengan bantuan organisme (Numberi, J.J. 2017). Bioetanol memiliki beberapa karakteristik seperti mudah menguap, mudah terbakar, tidak berwarna, memiliki aroma khas alkohol, dan merupakan jenis alkohol yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Chen *et al.* 2009). Dari segi kimia, bioetanol termasuk dalam kelompok alkohol rantai tunggal dengan rumus kimia $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ atau rumus empiris $\text{C}_2\text{H}_6\text{OH}$, dan memiliki berat molekul sebesar 46,07 g/mol (Numberi, 2022).

Hasil pengujian karakteristik bahan bakar bioetanol dengan konsentrasi 65% menunjukkan bahwa nilai kalor bawah (LHV) adalah 15 MJ/Kg, yang diukur menggunakan bomb calorimeter dengan metode ASTM D. Berat jenis bahan bakar bioetanol, diukur menggunakan piknometer, memiliki nilai 0,87 kg/m³. Sementara itu, hasil pengujian viskositas bahan bakar bioetanol dengan konsentrasi 65% menunjukkan nilai viskositas sebesar 1,3 Cp. Umumnya, semakin tinggi konsentrasi bioetanol, viskositasnya akan semakin rendah. Hal ini terjadi karena konsentrasi yang lebih tinggi berarti adanya lebih banyak zat terlarut dalam larutan, dan viskositas etanol lebih rendah daripada air.

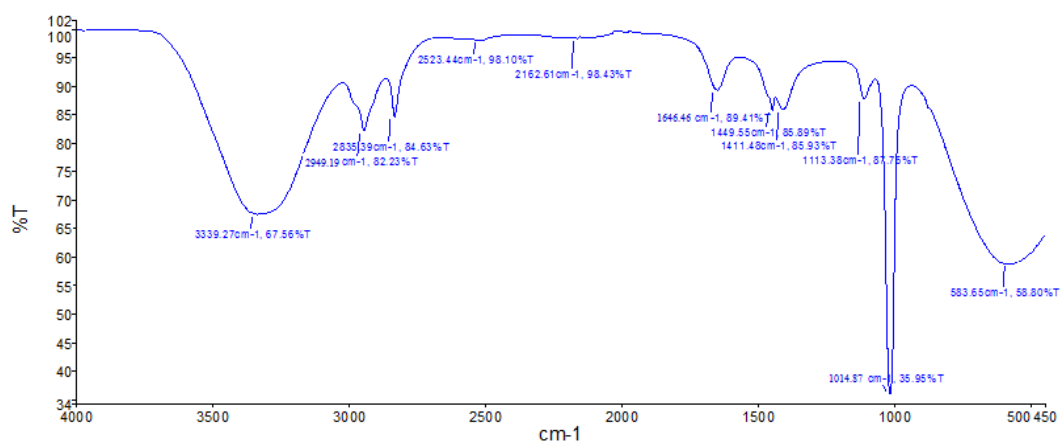
Untuk melakukan pemisahan dan identifikasi senyawa organik dalam bahan bakar bioetanol dengan konsentrasi 65%, dilakukan pengujian menggunakan kromatografi gas (GC-2010). Hasil pengujian tersebut dapat disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hasil kromatografi gas bioetanol konsentrasi 65%

Untuk menentukan konsentrasi bioetanol murni dalam proses produksi bioetanol dari limbah ampas sagu, dilakukan analisis menggunakan pengujian Gas Chromatography dengan jenis SUPELCOWAX-10. Pengujian dilakukan pada suhu 50°C dengan menggunakan sampel sebanyak $50\ \mu\text{l}$ yang ditambahkan dengan $200\ \mu\text{l}$ air suling (5 kali pengenceran). Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi bioetanol murni adalah 65%, dengan peak area sebesar 11080526 (cm) dan konsentrasi bioetanol sebesar 44,27 (g/L).

Pengujian FT-IR (Fourier Transform Infrared) juga dilakukan untuk mengidentifikasi bahan kimia baik organik maupun anorganik. Metode ini berguna dalam memperkirakan jumlah beberapa komponen dalam campuran yang tidak diketahui, seperti bioetanol dengan konsentrasi 65% yang berasal dari ampas sagu. Pengujian FT-IR dilakukan menggunakan alat FT-IR Spectrometer, yaitu Spectrum Two. Grafik hasil pengujian FT-IR tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

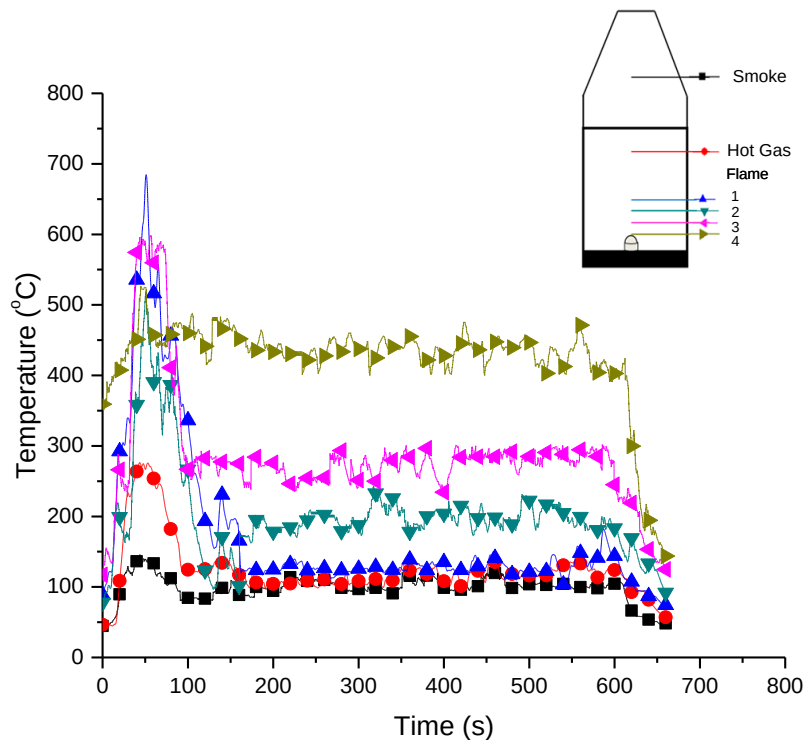


Gambar 4. Uji FTIR bioetanol konsentrasi 65%

Dari Gambar 4, dapat dilihat hasil pengujian bioetanol dengan konsentrasi 65%. Pada spektrum bioetanol, terlihat adanya serapan inframerah yang kuat dan jelas pada daerah serapan $3339,27\ \text{cm}^{-1}$, yang menunjukkan keberadaan gugus O – H stretching (Alkohol). Selain itu, terdapat serapan pada daerah serapan $2947,19\ \text{cm}^{-1}$, yang menunjukkan adanya gugus C – H stretching (Alkana). Serapan pada gelombang $1651,46\ \text{cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus C = C (Alkena), sementara serapan pada daerah $1017,87\ \text{cm}^{-1}$ mengungkapkan adanya gugus C – C - OH bending (Eter). Berdasarkan hasil uji FTIR, dapat disimpulkan bahwa bioetanol yang

berasal dari ampas sagu mengandung empat jenis senyawa, yaitu alkohol, alkena, alkana, dan eter.

Selanjutnya, Gambar 5 menyajikan hasil pengujian distribusi suhu penyalaan api menggunakan bioetanol dengan konsentrasi 65%. Data suhu selama proses pembakaran bioetanol diambil menggunakan termokopel tipe K yang dipasang pada alat eksperimen. Informasi lengkap mengenai data temperatur untuk semua konsentrasi dapat ditemukan dalam grafik tersebut.

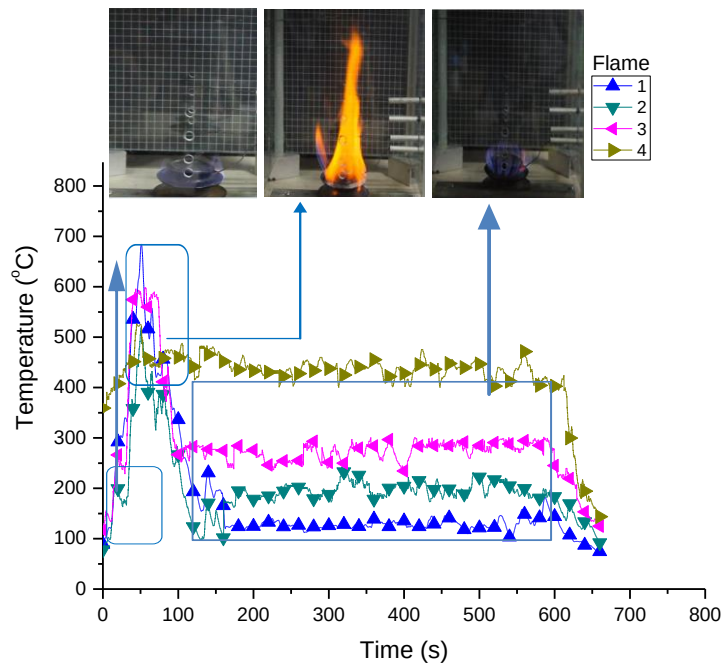


Gambar 5. Distribusi suhu bioetanol dengan konsentrasi 65%

Gambar 5 menunjukkan distribusi temperatur selama proses pembakaran bioetanol dengan konsentrasi 65%. Terdapat enam termokopel yang dipasang dalam grafik tersebut, dengan tujuan untuk mengukur suhu nyala api pada posisi (1, 2, 3, dan 4), serta untuk memantau suhu dari gas panas dan asap yang dihasilkan selama proses pembakaran.

Hasil analisis fenomena temperatur nyala api bioetanol konsentrasi 65%, Pengambilan data temperatur nyala api (*flame*) proses pembakaran bioetanol dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe K yang dipasang pada alat eksperimen.

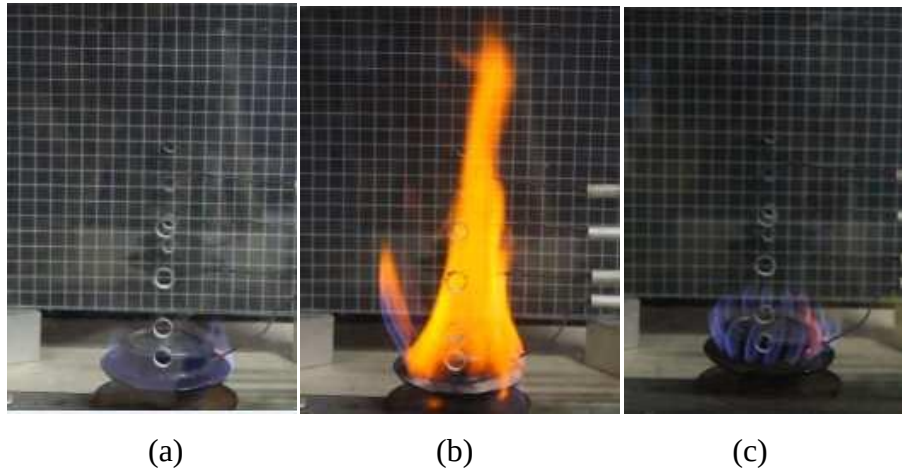
Keseluruhan data untuk semua konsentrasi dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5 sampai Gambar 6.



Gambar 6. Suhu penyalan bioetanol konsentrasi 65%

Gambar 6 menggambarkan hasil pembakaran bioetanol dengan konsentrasi 65%. Proses pemanasan awal (preheating) berlangsung selama sekitar 35 detik, dimulai dari suhu awal nyala api sebesar 70°C dan meningkat hingga mencapai suhu 360°C. Setelah itu, terjadi perubahan dalam struktur nyala api dari preheating menjadi pool fire, di mana suhunya berkisar antara 506°C hingga mencapai suhu maksimum 687°C. Perubahan ini terjadi karena laju perbandingan bahan bakar yang lebih cepat daripada laju perbandingan udara atmosfer di dalam ruang bakar. Fenomena ini dikenal sebagai pembakaran yang kaya akan bahan bakar (*rich combustion*).

Ketika bahan bakar dan udara atmosfer di ruang bakar mencampur secara sempurna dengan rasio yang seimbang (stoikiometri), pembakaran berlangsung dengan sempurna. Hasil eksperimen menunjukkan perubahan dalam struktur nyala api dari turbulen menjadi laminar, dan tinggi api berubah dari bentuk pool fire menjadi nyala yang lebih stabil dan tidak fluktuatif. Keadaan ini ditandai dengan kestabilan api yang lebih baik. Fenomena ini dikenal sebagai jet flame, di mana tidak ada lagi pemborosan bahan bakar yang bertemu dengan udara panas. Hal ini menyebabkan pembakaran menjadi lebih stabil. Namun, pada pembakaran bioetanol dengan konsentrasi 65%, tinggi api tidak mencapai posisi termokopel 1, 2, dan 3. Ketiga termokopel ini digunakan untuk mengukur fluks panas dari nyala api. Termokopel 4 terletak pada salah satu lubang keluarnya jet flame dari burner, yang membuat suhu termokopel ini lebih tinggi dibandingkan dengan suhu termokopel lainnya, yaitu sekitar 400°C hingga 430°C.



Gambar 7. Perkembangan nyala api dari bioetanol dengan konsentrasi 65%. (a) Awal pembakaran dengan kadar bioetanol 65%, dengan nilai RGB sebesar 50,634, dan tinggi api sekitar 1 cm; (b) Nyala api dalam bentuk *pool fire*, dengan nilai RGB sebesar 134,982 dan tinggi api mencapai 18 cm; dan (c) Nyala api telah berbentuk *jet flame*, dengan nilai RGB sebesar 60,411 dan tinggi api sekitar 1,5 cm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Ampas sago mengandung sekitar 76,49% karbon (CK) dan 82,4% karbohidrat. Karena kandungannya yang tinggi, ampas sago memiliki potensi sebagai bahan bakar bioetanol yang cocok untuk memenuhi kebutuhan energi di wilayah terpencil. Bioetanol memiliki nilai kalor LHV sebesar 15,166 MJ/Kg, berat jenis sebesar 0,87 g/L, viskositas sebesar 1.03 cp, kromatografi gas sebesar 61.04%, serta FTIR sebesar 1015.06 cm⁻¹. Tingkat pelepasan panas (*heat release rate*) sebesar 140 kW/m², hal ini menyatakan bahwa bioetanol dari ampas sago sangat cocok sebagai bahan bakar. Karakteristik nyala api bioetanol dengan kandungan 65%, menghasilkan nyala api maksimum. Proses ini terdiri dari empat tahap, yaitu pemanasan awal (*preheating*), api kolam (*pool fire*), nyala jet (*jet flame*), dan kering (*dry out*). Penggunaan burner, variasi jumlah lubang dari 1 hingga 16 dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa 14 lubang dengan sudut 45 derajat merupakan pilihan yang paling optimal. Pada pengaturan ini, suhu yang tercapai berkisar antara 480°C hingga 750°C, dengan laju massa bahan bakar sebesar 60 ml/menit. Emisi gas hasil pembakaran termasuk (CO) sebesar 0,01%, (CO₂) sebesar 0,2%, dan (HC) sebesar 27 ppm.

Saran peneitian lanjutan untuk konsentrasi bioethanol dengan kadar yang lebih tinggi atau lebih rendah dari bioethanol konsentrasi 65% dari limbah ampas ela sago.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami menyampaikan terimakasih kepada Dekan FT UNCEN dan Kepala LPPM UNCEN untuk bantuan biaya penelitian yang yang bersumber dari PNBPU Universitas Cenderawasih.

REFERENSI

- Numberi J,J., I. Made. K.D., Arifia.E., Yulianto. S.N. (2017). Analysis of The Heat Release Rate of Low Concentration Bioethanol from Sago Waste. *International Journal of Teknologi*, 3: 428-436.
- Haska, N. (2018). Alcohol Production from Sago Starch Granules by Simultaneous Hydrolyzation and Fermentation Using a Raw Starch Digestion Enzyme from *Aspergillus* sp. No. 47 and *Saccharomyces cerevisiae* No. 32. *Acta Horticulturae*, Volume 389, pp. 161–178.

- I Made. K. D., Numberi. J.J. (2015). The Utilization of Metroxylon Sago Dregs for Eco-friendly Bioethanol Stove in Papua, *Indonesia, KnE Energy*, Volume 2, pp. 119-125.
- Awg-Adeni, D.S., Bujang, K., Hassan, M.A., Abd-Aziz, S. (2013). Recovery of Glucose from Residual Starch of Sago Hampas for Bioethanol Production. *BioMed Research International*, Article ID 935852, pp. 1–8.
- Numberi. J.J. (2017). The Utilization of Metroxylon Sago (Rottb.) Dregs for Low Bioethanol as Fuel Households Needs in Papua Province Indonesia. *KnE Life Sciences*, 3 (5), 150-157.
- Numberi, J.J. (2017). Analisis eksperimental difusion laminar jet flame bioetanol ampas sagu pada aplikasi tungku honai burner untuk kebutuhan energi rumah tangga di Provinsi Papua. Disertasi Universitas Indonesia. Diakses dari <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20454017&lokasi=lokal>
- Chen, J., Peng, X.F., Yang, Z.L., Cheng, J. (2009). *Characteristics of Liquid Ethanol Diffusion Flames from Mini Tube Nozzles*. Tsinghua University, Beijing, China. Volume 156, pp. 460-466.
- Haryati, E. (2022), Analisis Sifat Fisika Dan Kandungan Lignoselulosa Limbah Ampas Sagu (Metroxylon Spp) Asal Kabupaten Jayapura, Papua. 5 (1), 41-47.
- Ina Winarni. (2019). Pembuatan Bioetanol Dari Empulur Dan Limbah Serat Sagu Dengan Metode Kimiawi Dan Enzimatis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37 (1), 43-50.
- Ekayuliana, A. (2022). Analisis Eksperimental Pembakaran Menggunakan Bahan Bakar Bioetanol 80% Dari Ampas Sagu. *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*. 8 (1), 89-97.
- Numberi, J.J. (2022). Analisis Limbah Ampas Sagu Sebagai Sumber Bahan Bakar Bioetanol. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 98–103.