Pengembangan Teknologi Energi Baru Terbarukan pada Produk Migas dengan *Basic Flame Oil*

Abigail Eki Rizaldi[1], Alviola Kevine Abdullah[2], Muhammad Rafi' Satrio Afzaal[3], Nayla Winda Gustavia[4], Oksil Venriza[5*]

[1,2,3,4,5)] Program Studi Logistik Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral AKAMIGAS
Jl. Gajah Mada No. 38, Karangboyo, Cepu, Blora, Jawa Tengah 58315
Email: abirizaldi2912@gmail.com, viovalen234@gmail.com, riorafi21@gmail.com, naylagustavia28@gmail.com, oksil.venriza@esdm.go.id[*]

(Diterima: 26-11-2024; Direvisi: 28-08-2025; Disetujui: 30-08-2025)

Abstrak

Transisi menuju energi baru terbarukan (EBT) menjadi prioritas untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Studi ini mengevaluasi pencampuran biodiesel (*Fatty Acid Methyl Ester* atau FAME) dengan Pertadex menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan metode gravimetri bertujuan untuk menghasilkan bahan bakar yang ramah lingkungan yang dievaluasi menggunakan metode *ash content*. Hasil menunjukkan bahwa pencampuran FAME meningkatkan kadar abu (*ash content*), dari rata-rata 44,26% pada Pertadex murni menjadi 74,64% pada campuran 10% FAME. FTIR mengidentifikasi gugus karbonil (C=O) pada panjang gelombang 1745 cm^{-1}, yang meningkat signifikan pada konsentrasi FAME lebih tinggi. Meskipun demikian, gugus CH_2 dan CH_3 tetap dominan, menunjukkan stabilitas struktur hidrokarbon. Kombinasi ini menghasilkan bahan bakar dengan potensi emisi lebih rendah dan kandungan biofuel yang lebih tinggi, mendukung kebijakan *Net Zero Emissions* 2060. Namun, kadar abu yang meningkat memerlukan kontrol mutu lebih ketat untuk mencegah dampak negatif pada efisiensi pembakaran. Hasil studi ini menegaskan perannya metoda spektrofotometri dan gravimetri dalam pengembangan bahan bakar ramah lingkungan. Rekomendasi diberikan untuk pengujian lebih lanjut terkait dampak kinerja mesin dan analisis ekonomi untuk memastikan implementasi yang optimal dan berkelanjutan.

Kata kunci: Spektrofotometri; Gravimetri; Pertadex; Fame; Emisi; Industri; Bahan Bakar

Abstract

The transition to renewable energy is a priority to reduce dependence on fossil fuels. This study evaluates the blending of biodiesel (Fatty Acid Methyl Ester or FAME) with Pertadex using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and gravimetric methods aimed at producing environmentally friendly fuels evaluated by the ash content method. The results showed that FAME blending increased the ash content, from an average of 44.26% in pure Pertadex to 74.64% in the 10% FAME blend. FTIR identified carbonyl groups (C=O) at a wavelength of 1745 cm-¹, which increased significantly at higher FAME concentrations. However, CH_2 and CH_3 groups remained dominant, indicating the stability of the hydrocarbon structure. This combination results in a fuel with lower emission potential and higher biofuel content, supporting the Net Zero Emissions 2060 policy. However, the increased ash content requires stricter quality control to prevent negative impacts on combustion efficiency. The results of this study confirm the role of spectrophotometric and gravimetric methods in the development of green fuels. Recommendations are given for further testing of engine performance impacts and economic analysis to ensure optimal and sustainable implementation.

Keywords: *Spectrophotometry; Gravimetric; Pertadex; Fame; Emission; Industry; Fuel*

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan modern, dengan permintaan yang terus meningkat seiring perkembangan teknologi dan industri. Sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas bumi, dan batu bara masih mendominasi pemenuhan kebutuhan energi global. Namun, penggunaan energi fosil yang tidak terbarukan (*unrenewable*) menimbulkan tantangan serius, termasuk ketergantungan sumber daya, dampak lingkungan seperti efek rumah kaca dan perubahan iklim, serta ketidakstabilan harga energi(Venriza et al., 2021). Oleh karena itu, transisi menuju energi baru terbarukan menjadi langkah penting, seperti yang tercermin dalam kebijakan *Net Zero Emissions* Indonesia 2060 (Paul, 2023).

Sektor minyak dan gas (migas) tetap menjadi pilar utama kebutuhan energi global, meskipun kontribusinya terhadap emisi gas rumah kaca cukup signifikan. Inovasi teknologi seperti biosolar, yang mencampurkan bahan bakar fosil dengan biodiesel berbasis nabati, menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan. Contohnya adalah program pengembangan Biosolar B20 (20% biodiesel, 80% solar) dan B30 (30% biodiesel, 70% solar), yang menjadi langkah konkret dalam mengurangi emisi sekaligus mendukung ketahanan energi nasional (Siddiqi et al., 2020).

Penentuan kualitas bahan bakar campuran seperti Pertadex dan Fame (*fatty acid methyl ester*) memerlukan evaluasi yang komprehensif, terutama dalam aspek komposisi kimia dan kadar abu. Kadar abu yang tinggi dapat menyebabkan masalah teknis pada mesin, termasuk efisiensi pembakaran dan kerusakan komponen. Oleh karena itu, analisis spektrum inframerah dengan metode FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) menjadi pendekatan yang relevan untuk memahami karakteristik molekuler bahan bakar (Wahyuni et al., 2023).

FT-IR mampu mengidentifikasi gugus fungsi molekul yang memengaruhi kualitas dan performa bahan bakar, seperti hidrokarbon, sulfur, nitrogen, dan oksigen. Spektrum inframerah yang dihasilkan memberikan informasi rinci tanpa memerlukan manipulasi sampel, sesuai dengan standar ASTM E2412. Dengan metode ini, komposisi dan residu pembakaran dapat dianalisis secara presisi, mendukung pengembangan bahan bakar yang lebih efisien dan sesuai standar lingkungan.

Metodologi ini bertujuan untuk mengevaluasi campuran Pertadex dan Fame dalam upaya menciptakan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, melalui tiga fokus utama meliputi analisis komposisi dan kadar abu, identifikasi gugus fungsi menggunakan FT-IR, dan pemahaman tentang kinerja alat FT-IR dalam analisis bahan bakar. Hasil Metodologi ini diharapkan memberikan rekomendasi teknis yang mendukung efisiensi energi sekaligus mengurangi dampak lingkungan.

METODOLOGI

Upaya intergrasi FAME dalam pengembangan energi baru terbarukan dapat meningkatkan keberlanjutan energi. Minyak faem memiliki banyak manfaat yang ramah lingkungan karena terbuat dari bahan nabati yaitu minyak kelapa sawit. Minyak FAME juga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, kemudian sifatnya yang dapat diperbaharui membuat minyak FAME cocok sebagai altermatif emergi fosil yang berkelanjutan (Saputri, 2014).

Minyak FAME dihasilkan melalui proses kimia yang mengubah trigliserida menjadi methil ester dan gliserol. Proses ini tidak hanya menghasilkan bahan bakar yang mendukung ketahanan energi nasional. Dampak penggunaan FAME sebagai campuran pada produk bahan bakar fosil yang banyak ditemui saat ini adalah biosolar, yaitu campuran minyak

FAME dengan bahan bakar diesel. Bahan bakar ini sudah banyak diadopsi oleh berbagai negara salah satunya Indonesia, saat ini campuran minyak FAME dalam produk solar yaitu B20 dan B30 yang mengandung komposisi 20% hingga 30% merupakan minyak FAME. Pada studi ini produk yang digunakan berupa Pertadex, yang dimana Pertadex merupakan minyak solar dengan spesifikasi paling baik dari produk bahan bakar diesel yang digunakan Di Indonesia (Tulis et al., 2014).

Kandungan abu merupakan sisa–sisa zat anorganik yang terkandung dalam batubara yang berasal dari pengotor bawaan saat terbentuk batubara maupun saat penambangan. Abu dalam batubara merupakan residu anorganik yang tidak dapat terbakar sebagai sisa hasil pembakaran Batubara (Yenni, F. R., & Prabowo, H., 2021). *Ash content* atau kandungan abu adalah parameter anaisis yang mengukur jumlah sisa mineral dalam suatu sampel setelah pembakaran pada suhu tinggi. Pengujian ini biaanya digunakan dalam industry, termasuk makanan, pertanian, ataupun bahan baku dikarenakan membantu menentukan kualitas dan komposisi mineral dari produk. Biasanya dalam pengujian ini melkaukan pengerigan sampel, pembakaran, dan penimbangan. Kandungan abu atau ash content ini dinyatakan dalam bentuk presentase dari berat sampel awal. Rumusnya sebagai berikut:

$$Kandungan\ Abu\ (\%) = A - B.\frac{1000}{V} \quad (1)$$

Kadar abu ini bisanya menggunakan metode gravimetri. Gravimetri adalah teknik analisis untuk mengukur massa atau onsentrasi suatu zat berdasarkan prinsip gravitas. Metode ini melibatkan pengendalian massa dan sering digunakan untuk menentukan komposisi kimia suatu sampel dengan cara megukur massa zat yang terlibat dalam reaksi kimia tertentu. Prinsip gravimetri ini bahwa massa zat dapat diukur dengan sangatakurat menggunakan tibangan, dan perubahan massa dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi atau komposisi zat dari suatu sampel. Langkah-langkah nya antara lain pemroesan sampel, pembentukan endapan, filtrasi dan pengeringan, penimbangan dan perhitungan. Ukuran dalam menentukan kadar abu menggunakan standar deviasi dan standar deviasi relative. Standart deviasi adalah ukuran statistik yang digunakan utk menggambaraka tersebar atau variatif data dalam satu set data. Atau biasa juga standart deviasi adalah ukuran penyebaran data dalam suatu populasi atau sampel. Semakin kecil standart deviasi, semakin dekat data dengan nilai rata-rata. Sedangkan standar deviasi relatif adalah ukuran yang digunakan untuk membandingkan tingkat variasi atau dispresi data dengan nilai rata-rata sendiri.

Pada studi ini menggunakan desain kuantitatif dengan pendekatan eksperimental, yang bertujuan untuk mengevaluasi dampak pencampuran FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) dengan Pertadex terhadap karakteristik bahan bakar, terutama terkait dengan kadar abu dan perubahan struktur molekul. Metodologi ini mengkombinasikan dua metode analisis, yaitu gravimetri untuk mengukur kadar abu menggunakan oven dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam molekul bahan bakar. Penggunaan kedua teknik ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak pencampuran FAME terhadap performa bahan bakar (Tersedia et al., 2020).

Populasi dalam Metodologi ini adalah berbagai jenis bahan bakar yang digunakan dalam industri transportasi, khususnya bahan bakar diesel. Sampel yang digunakan dalam Metodologi ini terdiri dari Pertadex (bahan bakar diesel murni), FAME (biodiesel murni), dan campuran antara Pertadex dan FAME dengan variasi konsentrasi 5% dan 10% FAME. Sampel-sampel ini dipilih secara purposive sampling untuk memastikan bahwa setiap jenis bahan bakar yang diuji dapat mewakili produk yang banyak digunakan dalam industri energi.

Jumlah sampel yang digunakan adalah tiga variasi untuk setiap kategori bahan bakar, dengan volume sampel masing-masing sebanyak 10 mL.

Instrumen yang digunakan dalam Metodologi ini untuk mengumpulkan data meliputi neraca analitik, oven dengan merk *Heratherm type Thermo Fisher* untuk pengeringan sampel, serta desikator untuk mendinginkan sampel setelah pemanasan. Untuk analisis kadar abu, metode gravimetri diterapkan, di mana sampel bahan bakar yang telah disaring dan dipanaskan kemudian ditimbang untuk memperoleh selisih berat antara sebelum dan setelah pemanasan, yang menunjukkan kadar abu (Nur et al., 2021). Sedangkan untuk analisis FTIR, alat yang digunakan adalah spektrometer Perkin Elmer Spectrum Two (LiTa03 *Detector*) untuk analisis sampel cair. Penggunaan FTIR memungkinkan identifikasi gugus fungsi seperti karbonil (C=O) yang menandakan keberadaan ester dalam FAME (Asemani & Rabbani, 2020).

Prosedur netodologi dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan, diikuti dengan proses penyaringan dan pemanasan sampel untuk analisis kadar abu. Setelah sampel dipanaskan, kertas saring yang mengandung residu abu ditimbang untuk menentukan kadar abu dalam setiap sampel. Untuk analisis FTIR, sampel dimasukkan ke dalam kuvet, yang kemudian dipindahkan ke dalam alat FTIR untuk dilakukan pemindaian pada rentang panjang gelombang 4000–700 cm^{-1}, dalam rentang ini menunjukan bahwa terdapat beberapa puncak yang muncul dengan intensitas berbeda-beda (SHELEMO, 2023). Setiap sampel dianalisis sebanyak dua kali untuk memastikan konsistensi hasil, dan data spektrum yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan dalam komposisi kimia, khususnya yang terkait dengan penambahan FAME.

Data yang diperoleh dari kedua metode ini, gravimetri dan FTIR, dianalisis menggunakan teknik statistik deskriptif untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai kandungan abu pada setiap sampel serta perubahan struktur molekul akibat pencampuran FAME dengan Pertadex. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan wawasan yang mendalam tentang pengaruh komposisi bahan bakar terhadap performa pembakaran dan dampaknya terhadap lingkungan (Harahap et al., 2022).

Dalam Metodologi ini, langkah-langkah Metodologi dilakukan di bawah pengawasan ketat untuk memastikan bahwa setiap tahapan prosedur berjalan dengan standar operasional yang telah ditetapkan. Metodologi ini juga mempertimbangkan aspek etika, seperti memastikan bahwa semua instrumen yang digunakan dalam Metodologi bebas dari kontaminasi dan hasil analisisnya dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapat dari analisis dan interpretasi terhadap data yang diperoleh dari hasil pengukuran kadar abu (*ash content*) menggunakan metode gravimetri dan analisis senyawa kimia menggunakan *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) (Rohman & Man, 2012). Pembahasan ini bertujuan untuk memahami implikasi hasil terhadap kualitas bahan bakar berbasis energi baru terbarukan, khususnya produk dengan *basic flame oil*.

Investigasi Penambahan FAME Pada Pertadex

Investigasi penambahan FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) pada Pertadex dapat dilakukan dengan menganalisis hasil perhitungan *ash content* dari kedua bahan bakar, serta implikasi kimia dan teknis dari pencampuran tersebut. Berikut adalah analisisnya:

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata *ash content* pada Pertadex adalah 44,26%, sedangkan pada FAME mencapai 79,49%. Ketika Pertadex dicampur dengan FAME, nilai *ash content* dalam campuran akan sangat dipengaruhi oleh rasio pencampuran antara kedua bahan bakar serta kualitas awal masing-masing bahan bakar. Semakin tinggi

proporsi FAME dalam campuran, kadar abu cenderung meningkat seiring dengan tingginya kandungan mineral residu dalam FAME dibandingkan Pertadex. Hal ini menjadikan kontrol rasio pencampuran dan pemilihan bahan bakar berkualitas tinggi sebagai faktor penting untuk memastikan performa bahan bakar tetap optimal dan sesuai standar.

Kemudian dampak dari penambahan FAME pada Pertadex cenderung meningkatkan kadar abu secara signifikan karena nilai kadar abu dari produk FAME memiliki angka yang jauh lebih tinggi. Jika rasio FAME dalam capuran melebihi batas yang ditentukan, maka kandungan abu secara keseluruhan akan jauh melampaui standar maksimum 0,01% massa untuk produk Pertadex. Kemudian akan berdampak kepada pengaruh kinerja pada mesin diesel yang apabila kandungan abu terlalu tinggi dapat menyebabkan pembentukan deposit pada injektor, ruang bakar, dan sistem pembuangan, hal ini mengurangi efisiensi pembakaran dan mempersingkat usia mesin (Hasil et al., 2019).

FAME memiliki kecenderungan oksidasi yang tinggi daripada bahan bakar diesel murni seperti pertadex. Percampuran dapat menurunkan stabilitas bahan bakar, meningkatkan risiko korosi pada tangki bahan bakar kendaraan dan pada saluran pompa bahan bakar. Sehingga batas maksimum kansungan abu untuk produk bahan bakar solar yang mengandung FAME diatur dalam standar EURO 4 atau EURO 5 dengan nilai maksimum 0,01% - 0,02% massa BBM (Studi et al., 2015).

Regulasi terkait penggunaan FAME pada bahan bakar diesel termasuk solar campuran (*biodiesel*) diatur dalam surat Kepdirjen Migas Bumi No. 28 Tahun 2016 yang membahas spesifikasi teknis untuk biodiesel. Dokumen tersebut mengatur proporsi campuran, kualitas FAME, serta prosedur pengujian untuk memastikan bahwa solar campuran (biodisel) tetap sesuai dengan standar spesifikasi yang telah ditetapkan.

Ash Content Secara Gravimetri

Karbon dioksida (CO_2) selama proses pembakaran. Senyawa organik yang terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen terbakar membentuk gas seperti karbon dioksida dan uap air, tanpa meninggalkan residu padat. Sebaliknya, senyawa anorganik seperti oksida logam, karbonat, dan mineral lainnya tidak terbakar dan tetap menjadi residu padat dalam bentuk abu. Pelepasan karbon dioksida menunjukkan terjadinya pembakaran sempurna senyawa organik atau penguraian karbonat anorganik dan dapat mempengaruhi jenis residu yang terbentuk. Oleh karena itu, kadar abu mencerminkan kandungan senyawa anorganik pada bahan awal dan dipengaruhi oleh komposisi kimia, kondisi pembakaran, dan reaksi kimia yang terjadi selama proses pengabuan.

Untuk menganalisis korelasi hasil *ash content* dengan spesifikasi bahan bakar yang ditetapkan oleh Kepdirjen Migas, mari kita lihat standar spesifikasi terkait. Berdasarkan Kepdirjen Migas No. 0486.K/10/DJM.S/2017 tentang spesifikasi bahan bakar, berikut hasil terkait kandungan abu (*ash content*). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kandungan abu (*ash content*) pada produk Pertadex memiliki nilai rata-rata sebesar 44,16; 46,48; dan 42,14. Sementara itu, pada produk Fame, kandungan abu rata-rata tercatat lebih tinggi, yaitu 77,6; 74,62; dan 72,78. Untuk campuran Pertadex dan Fame, kandungan abu rata-rata yang diperoleh adalah 74,72; 74,64; dan 78,12. Hasil ini menggambarkan perbedaan kandungan abu pada masing-masing jenis produk yang diuji dalam metodologi. Dari 3 variasi masih ada *ash content* yang meningkat, dikarenakan adanya kontaminasi dengan produk diluar sampel dan perlu adanya evaluasi lebih lanjut

Evaluasi Gugus Fungsi

Metode spektroskopi yang memanfaatkan radiasi inframerah untuk mengidentifikasi dan menganalisis gugus fungsional dalam molekul. Teknik ini bekerja dengan mendeteksi

serapan radiasi inframerah pada panjang gelombang tertentu, menghasilkan spektrum yang mencerminkan interaksi spesifik antara radiasi dengan ikatan kimia dalam molekul. Dalam industri bahan bakar, FTIR sering digunakan untuk memantau komposisi dan kualitas bahan bakar campuran, termasuk identifikasi hidrokarbon dan ester yang menjadi indikator penting dalam formulasi biodiesel.

Metodologi ini menggunakan spektrometer FTIR merek Perkin Elmer tipe *Spectrum Two (LiTaO3 Detector)* yang beroperasi pada rentang suhu 5–45 °C, voltase 240 V, dan frekuensi daya 47–63 Hz. Instrumen ini dilengkapi dengan mode *Attenuated Total Reflectance* (ATR), yang memungkinkan analisis sampel cair secara langsung tanpa memerlukan proses persiapan yang kompleks. Penggunaan mode ATR juga meningkatkan akurasi dan *reproducibility* hasil analisis, menjadikannya alat yang efektif untuk aplikasi di laboratorium maupun industri. Analisis dalam Metodologi ini mengikuti standar ASTM D7371, yang mengatur pengukuran kandungan FAME (Fatty Acid Methyl Ester) dalam bahan bakar diesel. Standar ini memanfaatkan deteksi puncak karbonil (C=O) pada panjang gelombang sekitar 1745 cm^{-1} untuk mengukur konsentrasi FAME dalam campuran bahan bakar.

Hasil spektrum FTIR menunjukkan perbedaan karakteristik gugus fungsional pada tiga sampel bahan bakar yang diuji, yaitu Pertadex 100%, Pertadex 95% dengan FAME 5%, dan Pertadex 90% dengan FAME 10%. Pada sampel Pertadex 100%, spektrum FTIR menunjukkan puncak dominan pada panjang gelombang sekitar 2900 cm^{-1}, yang merepresentasikan keberadaan gugus CH_2 dan CH_3, ciri khas hidrokarbon dalam bahan bakar diesel. Selain itu, terdeteksi pula gugus alkana (C-C) pada 2800 cm^{-1}, sementara tidak ditemukan indikasi keberadaan ester (C=O) pada 1745 cm^{-1}. Hal ini menegaskan bahwa Pertadex 100% merupakan bahan bakar murni tanpa campuran FAME (Smith, 2019).

Pada sampel Pertadex 95% dengan FAME 5%, spektrum FTIR menunjukkan munculnya puncak karbonil (C=O) pada panjang gelombang 1745 cm^{-1}, yang menjadi indikator keberadaan ester dari FAME. Intensitas puncak karbonil ini sedang, mencerminkan konsentrasi FAME yang relatif rendah dalam campuran. Meskipun terjadi perubahan pada spektrum karbonil, gugus hidrokarbon seperti CH_2 dan CH_3 tetap terdeteksi dominan pada 2900 cm^{-1}, menandakan bahwa struktur hidrokarbon utama dalam bahan bakar tetap stabil.

Berbeda dengan dua sampel sebelumnya, Pertadex 90% dengan FAME 10% menunjukkan perubahan yang lebih signifikan pada spektrum FTIR. Puncak karbonil (C=O) pada panjang gelombang 1745 cm^{-1} mengalami peningkatan intensitas yang nyata, mengindikasikan peningkatan konsentrasi FAME dalam campuran. Meski demikian, gugus CH_2 dan CH_3 tetap terdeteksi pada panjang gelombang 2900 cm^{-1}, sementara gugus alkana (C-C) tetap terlihat pada 2800 cm^{-1}. Hasil ini menunjukkan bahwa komposisi hidrokarbon utama dalam bahan bakar tetap terjaga meskipun terjadi peningkatan kandungan ester akibat pencampuran FAME.

Penggunaan spektrometer FTIR merek Perkin Elmer tipe Spectrum Two dalam analisis bahan bakar campuran berperan penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan mengikuti standar ASTM D7371, metode ini memungkinkan pengukuran kandungan FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) secara akurat, yang berkontribusi pada formulasi bahan bakar ramah lingkungan. Peningkatan konsentrasi FAME, seperti yang ditunjukkan pada sampel Pertadex dengan campuran FAME 5% dan 10%, mencerminkan upaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil murni dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Teknologi FTIR yang andal mendukung pengendalian kualitas bahan bakar biodiesel secara efisien, memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi standar keberlanjutan tanpa mengorbankan kinerja. Dengan demikian, analisis ini tidak hanya

memberikan data ilmiah yang relevan untuk industri, tetapi juga mendorong praktik yang lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan dalam sektor energi.

Evaluasi Statistik

Evaluasi yang dihasil dari penimbangan kadar abu pada sampel yang digunakan, langkah yang dilakukan selanjutnya adalah menghitung nilai evaluasi statistik standar deviasi (SD) dan standar deviasi relatif (SDR) dari masing masing sampel baik produk murni hingga campuran yang tersaji dalam tabel berikut ini:

Table 1. Hasil perhitungan SD dan SDR

Nama Produk	SD	SDR
Pertadex	1,773208	89%
FAME	1,986018	99%
Campuran	1,62196	81%

Berdasarkan hasil yang didapat pada produk murni Pertadex tingkat kadar abu 11%, FAME murni 1% dan campuran 19%. Di mana dihasilkan dari ketiga produk mendekati 100 % dapat dinyatakan bahwa studi ini dapat di percaya. Kesimpulannya pada Fame memiliki data yang lebih tersebar (SDR lebih tinggi). Campuran Pertadex dan Fame memiliki distribusi data yang lebih stabil dengan variasi relatif (SDR) yang lebih rendah dibandingkan masing-masing komponen secara individu. Data Pertadex menunjukkan distribusi yang lebih rapat daripada Fame tetapi lebih tersebar daripada campuran.

Penambahan FAME dalam bahan bakar memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kandungan biofuel, yang mendukung transisi energi menuju bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan FAME juga memberikan dampak positif dalam pengurangan emisi karbon yang dihasilkan selama proses pembakaran. Namun, meskipun penambahan FAME menunjukkan manfaat signifikan, kontrol mutu yang ketat tetap diperlukan, khususnya untuk menghindari potensi kontaminasi seperti residu pelarut, yang dapat memengaruhi performa bahan bakar secara keseluruhan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil studi, kadar abu (*ash content*) dan analisis FTIR memberikan pemahaman yang mendalam mengenai kualitas bahan bakar dalam kaitannya dengan keberlanjutan energi dan dampak lingkungan. Kadar abu yang diukur pada produk murni Pertadex (11%), FAME murni (1%), dan campuran (19%) menunjukkan bahwa total komponen mendekati 100%, sehingga validitas studi ini dapat dipercaya. FTIR, melalui identifikasi gugus fungsional seperti hidrokarbon dan ester, berperan penting dalam memastikan kualitas bahan bakar serta kontribusinya terhadap pengurangan emisi. Kadar abu yang lebih rendah pada FAME murni menunjukkan potensi bahan bakar ini untuk menghasilkan residu lebih sedikit saat pembakaran, sedangkan pencampuran dengan Pertadex memberikan kombinasi yang seimbang antara performa dan keberlanjutan. Studi ini menggarisbawahi pentingnya pengembangan bahan bakar campuran yang tidak hanya mendukung efisiensi energi tetapi juga membantu mengurangi dampak lingkungan melalui emisi yang lebih rendah dan residu pembakaran yang minimal, menjadikannya solusi yang relevan untuk transisi energi bersih.

DAFTAR PUSTAKA

Asemani, M., & Rabbani, A. R. (2020). Detailed FTIR spectroscopy characterization of crude oil extracted asphaltenes: Curve resolve of overlapping bands. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *185*, 106618. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106618

Harahap, M. R., Abrasyi, R., & Tobing, V. H. L. (2022). Penentuan Flash Point, Densitas dan Warna Biosolar (B30) TOO7 FT Sabang dan SPBU CV. Tosaka Abadi Sabang menggunakan Metode ASTM D-93. *AMINA*, *3*(2), 55–61. https://doi.org/10.22373/amina.v3i2.2001

Hasil, J., Dan, P., Ilmiah, K., Diniaty, D., Hanum, F., Hamdy, M. I., Studi, P., Industri, T., Sains, F., Teknologi, D., & Riau, K. (2019). Analisis Pengendalian Mutu (Quality Control) CPO (Crude Palm Oil) pada PT. XYZ. In *Jurnal Teknik Industri* (Vol. 5, Issue 2).

Nur, F., Aboytes-Ojeda, M., Castillo-Villar, K. K., & Marufuzzaman, M. (2021). A Two-Stage Stochastic Programming Model for Biofuel Supply Chain Network Design with Biomass Quality Implications. *IISE Transactions*, *53*(8), 845–868. https://doi.org/10.1080/24725854.2020.1751347

Paul, W. (2023). Transisi Sumber Energi Bersih Terbarukan (EBT) dalam Kelangsungan Ekonomi di Indonesia. In *Jurnal Al-Amar (JAA)* (Vol. 4, Issue 1).

Rohman, A., & Man, Y. B. C. (2012). Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Authentication of Functional Food Oils. *Applied Spectroscopy Reviews*, *47*(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/05704928.2011.619020

Saputri, I. U. (2014). *Analisis Daya Saing Crude Palm Oil (Minyak Sawit Mentah) pada PT. Cipta Usaha Sejati dengan Metode Herifindahl Indeks dan Analisa Swot dalam Menghadapi Perdagangan CPO Dunia: Vol. VIII* (Issue 2).

SHELEMO, A. A. (2023). Intesis Senyawa Lanthanum Doped Cerium (LDC) menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Suhu Kalsinasi. *Nucl. Phys.*, *13*(1), 104–116.

Siddiqi, M. H., Liu, X., Qureshi, T., Tabish, A. N., Nawaz, S., & Iqbal, T. (2020). Performance Analysis of Bio-Fuel Blends for Clean Energy Production: Thermogravimetric Analysis. *Journal of Cleaner Production*, *273*, 122936. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122936

Studi, P., Pertanian, T., & Papua, U. N. (2015). *Perkembangan Biodiesel di Indonesia Tinjauan Atas Kondisi saat ini, Teknologi Produksi & Analisis Prospektif. Murtiningrum dan Alfa Firdaus: Vol. IX* (Issue 1).

Tersedia, J., Wibisono, Y., Ruslan, W., Nely, D., & Bunga, T. (2020). Terapan Analisis Performa Mesin Diesel Caterpillar 3196 5ED04240 Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Biosolar B20 Dengan Metode Eksperimental. In *Jurnal Mekanik Terapan* (Vol. 01, Issue 56).

Tulis, K., Untuk, D., & Tugas-Tugas, M. (2014). *Perbandingan Kualitas Pertamina Dex dan Bio Solar*.

Venriza, O., Jannah, M., Warcono, T., & Pekerti, A. L. (2021). *Evaluation Factors Causing a Losses in the System of Receiving, Storage and Distribution Diesel Fuel in PT Badak NGL*.

Wahyuni, C. R., Arifin, G. C. N., & Venriza, O. (2023). Effect of Added Acrylate Demulsifier for Increasing Antioxidants Functional in Diesel Fuel Oil. *Key Engineering Materials*, *962*, 123–128. https://doi.org/10.4028/p-C9G1Eq

Yenni, F. R., & Prabowo, H. (2021). Management Pengendalian Kualitas Batubara Berdasarkan Parameter Kualitas Batubara Mulai Dari Front Sampai Ke Stockpile Di PT. Budi Gema Gempita, Merapi Timur, Lahat, Sumatera Selatan. *Bima Tambang*, *6(1), 110-*.