



Perbandingan Metode GC-FID dan FTIR-ATR Untuk Penentuan Kadar Biodiesel Dalam Biosolar

Handajaya Rusli¹, Annisa Efendi¹, dan Sylvia Ayu Bethari^{1,2}

¹Analytical Chemistry Research Group, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha No. 10 Bandung, 40132, Indonesia.

²Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS", ESDM.
Jl. Ciledug Raya No.Kavling 109, Kebayoran Lama, Indonesia.

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah Diterima:
16 Juni 2025

Diterima setelah
perbaikan:
15 Juni 2025

Disetujui terbit:
30 Juli 2025

Kata Kunci:

biodiesel
biosolar
FTIR
kromatografi gas

Biodiesel di Indonesia umumnya berasal dari ester metil asam lemak yang diproduksi dari minyak sawit. Biodiesel telah digunakan sebagai bahan baku dalam produksi biosolar. Saat ini, Indonesia menerapkan B40 yang berarti dalam biosolar terkandung 40 % (v/v) biodiesel. Kandungan biodiesel dapat dianalisa menggunakan Nuclear Magnetic Resonance (NMR), Kromatografi Gas (GC), dan spektroskopi Fourier Transform Infra Merah (FTIR). Saat ini peralatan komersial untuk menentukan komposisi biosolar menggunakan prinsip FTIR. Pada penelitian telah dilakukan pengukuran biodiesel dalam biosolar menggunakan metode FTIR-ATR dan GC-FID. Penelitian dilakukan menggunakan masing-masing dua jenis biodiesel dan dua jenis minyak solar yang dikombinasikan menghasilkan empat variasi berbeda. Penentuan kadar biodiesel dengan metode FTIR-ATR dilakukan berdasarkan luas serapan gugus karbonil (C=O) di 1742 cm⁻¹ yang berasal dari biodiesel. Data yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan FTIR-ATR diolah menjadi tiga set bilangan gelombang, yaitu 1692 – 1800 cm⁻¹, 1700 – 1800 cm⁻¹, 1670 – 1851 cm⁻¹ sesuai standar ASTM D7371-14(2022) dan rentang 1726 - 1776 cm⁻¹. Analisis menggunakan metode GC-FID dilakukan dengan menggunakan metil heksadekanoat sebagai puncak acuan. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa analisis menggunakan GC-FID memberikan linearitas dan akurasi lebih baik pada rentang kadar 1 – 50 % (v/v) biodiesel dalam biosolar.

ABSTRACT

The main source of biodiesel in Indonesia is fatty acid methyl esters (FAME), which are made from palm oil. It is frequently utilized as a blending ingredient in biodiesel-diesel fuel blends, also known as biosolar. Indonesia policy mandated B40 that is biosolar must contain 40% (v/v) biodiesel. The biodiesel content in such blends can be analyzed using several instrumental techniques, including Nuclear Magnetic Resonance (NMR), Gas Chromatography (GC), and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. Among these, commercial instruments for biosolar analysis most commonly rely on FTIR principles. In this study, biodiesel concentration in biosolar is quantified using two analytical methods: FTIR-ATR and GC-FID. The experiment employs two types of biodiesels and two types of diesel fuel, combined to produce four distinct blend variations. FTIR-ATR analysis is based on the absorbance area of the carbonyl (C=O) functional group at 1742 cm⁻¹, which is characteristic of biodiesel. The FTIR data are processed using three spectral ranges: 1692–1800 cm⁻¹, 1700–1800 cm⁻¹, 1670 – 1851 cm⁻¹ those

specified in ASTM D7371-14(2022) and 1726–1776 cm⁻¹. For GC-FID analysis, methyl hexadecanoate is used as the reference peak. The results shows that GC-FID provided superior linearity and accuracy across a concentration range of 1–50% (v/v) biodiesel in biosolar.

© LPMGB - 2025

PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan salah satu produk turunan dari minyak nabati ataupun minyak hewani rantai panjang. Di Indonesia, biodiesel yang dimaksud adalah ester metil asam lemak (EMAL) yang bersumber dari minyak nabati (Kementerian ESDM Republik Indonesia 2025) seperti minyak kelapa (Trisunaryanti 2004) dan minyak kelapa sawit (Herizal 2008). Biodiesel disintesis melalui proses transesterifikasi trigliserida dengan produk samping adalah gliserol. Secara teoritis, biodiesel tidak mengandung senyawa aromatik dan sulfur sehingga lebih ramah lingkungan sebagai bahan bakar (Marchetti & Errazu 2008). Walaupun demikian, biodiesel memiliki kekurangan pada stabilitas penyimpanan yang buruk dan berpotensi menyebabkan penyumbatan pada mesin (Wibowo 2016).

Biodiesel telah dimanfaatkan sebagai campuran biosolar. Saat ini, Indonesia telah mengimplementasikan penggunaan biodiesel hingga 40 % (v/v) dalam biosolar yang dikenal sebagai B40 (Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2024). Pada peraturan yang sama telah ditentukan metode rujukan uji berdasarkan ASTM yaitu D7371, D7806, dan D8274. Ketiga ASTM ini memanfaatkan penggunaan FTIR sebagai instrument pengukuran (ASTM D7371-14(2022), ASTM D7806-20(2025), ASTM D8274-20a(2024)). Ketiga metode ASTM tersebut memanfaatkan sinyal yang dihasilkan oleh vibrasi ikatan C=O yang ada pada biodiesel.

Selain ketiga metode tersebut, juga terdapat metode analisa yang umum diaplikasikan pada sampel biodiesel yaitu kromatografi gas (EN 14103 2020). Pada metode ini komposisi biodiesel dapat dianalisa dan ditentukan menggunakan berdasarkan luas puncak kromatogram yang dihasilkan. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan metode pengukuran berdasarkan ASTM dan EN. Perbandingan ini dilakukan untuk mengecek kehandalan masing-masing metode pada penggunaan rentang kerja yang luas sehingga dapat diaplikasikan pada sampel biosolar dengan kadar biodiesel yang tidak diketahui perkiraan nilainya.

BAHAN DAN METODE

Peralatan yang digunakan pada peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas standar, pipet mikro, GC Agilent 7820 A dengan perangkat autosampler, kolom kapiler silika (5%-fenil)-metilpolisiloksana ukuran 30 m x 0,25 mm dengan ketebalan film 0,25 µm, FTIR Prestige 21 Shidmazu yang dilengkapi aksesoris ATR (kristal ZnSe) dari Pike Technologies.

Bahan yang digunakan adalah minyak solar CN48 dan biodiesel berbasis kelapa sawit yang merupakan sampel arsip dari BBPMGB “LEMIGAS”, metanol dan air kualitas kromatografi cair. Masing-masing minyak solar CN48 (kode 02 dan 23) dan biodiesel (kode As dan Tr) berjumlah dua sampel, sehingga akan didapatkan empat kombinasi biosolar. Sampel dibuat dalam rentang biodiesel 1 – 50 % (v/v) seperti komposisi yang ditampilkan pada Tabel 1.

Pengukuran FTIR-ATR dilakukan dengan melakukan pemindaian 700 – 4000 cm⁻¹ dan diolah lebih lanjut menggunakan perangkat lunak Origin untuk mendapatkan luas daerah di bawah puncak 1692 – 1800 cm⁻¹, 1700 – 1800 cm⁻¹, 1670 – 1851 cm⁻¹ sesuai standar ASTM D7371-14(2022) dan rentang 1726 - 1776 cm⁻¹. Luas daerah di bawah puncak kemudian dibuat kurva kalibrasi standar menggunakan perangkat lunak Origin. Setiap sampel setidaknya diukur triplo.

Pengukuran GC-FID dilakukan dengan kondisi seperti yang dilakukan oleh Bethari (Bethari 2025). Luas puncak pada sekitar waktu retensi 28 menit milik metil heksadekanoat diolah menggunakan perangkat lunak Origin untuk mendapatkan kurva kalibrasi standar. Setiap sampel setidaknya diukur triplo. Temperatur oven: 60 °C ditahan selama 3 menit, lalu kenaikan 10°C/menit hingga 140°C tahan 5 menit, lalu kenaikan 10°C/menit hingga 300°C tahan 5 menit.

Temperatur injektor : 280 °C

Rasio pemisahan : 250

Volume injeksi : 1 µL

Gas pembawa : Helium

Laju alir gas : 1 mL/menit
Laju alir udara FID : 400 mL/menit
Laju alir H₂ FID : 30 mL/menit
Temperatur detektor : 300 °C

Tabel 1. Variasi komposisi biodiesel di dalam biosolar

Variasi	V _{Biodiesel} (mL)	V _{Minyak Solar} (mL)
B1	100	9900
B2	30	1470
B3	45	1455
B4	60	1440
B5	75	1425
B10	150	1350
B15	225	1275
B20	300	1200
B25	375	1125
B30	450	1050
B35	525	975
B40	600	900
B45	675	825
B50	750	750

HASIL DAN DISKUSI

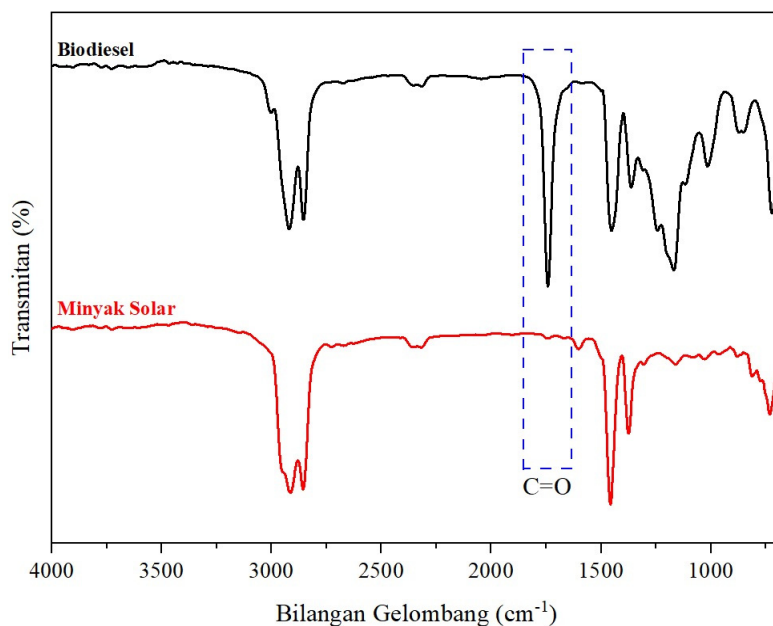
Penelitian ini diawali dengan pengukuran menggunakan metode FTIR-ATR. Hal ini dikarenakan FTIR-ATR merupakan metode yang disyaratkan di dalam peraturan yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM. Bila dibaca secara detail, pada ASTM tersebut sinyal yang menjadi acuan terdapat pada daerah sekitar 1700an cm⁻¹. Pada Gambar 1 dapat dilihat hasil pengukuran FTIR-ATR yang dilakukan terhadap biodiesel dan minyak solar. Terdapat perbedaan mencolok yaitu kemunculan puncak di 1742 cm⁻¹ pada biodiesel. Puncak pada daerah ini merupakan vibrasi ikatan C=O yang bersumber dari gugus metil ester biodiesel.

Hal ini berkesesuaian dengan rentang bilangan gelombang yang digunakan pada ASTM rujukan. Seluruh rentang bilangan gelombang yang diintegrasikan pada ASTM dapat dipastikan merupakan luas daerah di bawah puncak 1742 cm⁻¹. Perbedaan rentang pengukuran disebabkan oleh pemilihan garis dasar (*baseline*) yang berbeda-beda. Pada Gambar 2 yang menampilkan hasil pengukuran untuk berbagai variasi konsentrasi biodiesel terlihat jelas bahwa

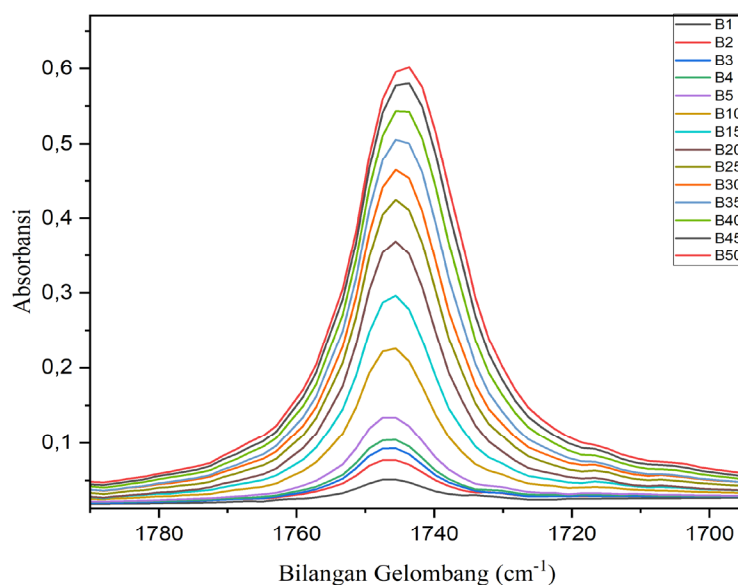
garis dasar untuk setiap konsentrasi berbeda-beda, sehingga pemilihan garis dasar merupakan variabel yang penting dalam analisa. Perbedaan rentang integrasi bilangan gelombang akan berakibat pada perbedaan luas area di bawah kurva yang dihasilkan, sehingga akan mempengaruhi kurva kalibrasi standar yang dihasilkan. Pada Gambar 3 (a-c) dapat dilihat kurva kalibrasi standar yang dihasilkan pada berbagai rentang bilangan gelombang yang disyaratkan di dalam ASTM.

Ketiga kurva standar yang dihasilkan tidak memberikan hasil yang memuaskan (linearitas yang baik) pada rentang kerja yang dilakukan yaitu 1 – 50 %(v/v). ASTM memang membagi rentang pengukuran menjadi tiga tergantung pada rentang konsentrasi sampel yaitu 1692 – 1800 cm⁻¹ untuk konsentrasi biodiesel < 10 %(v/v), 1700 – 1800 cm⁻¹ untuk konsentrasi biodiesel 10 – 30 %(v/v), 1670 – 1851 cm⁻¹ untuk konsentrasi biodiesel 30 – 50 %(v/v). Kesulitan utama dari cara ini adalah memaksa analisis untuk melakukan tiga macam perhitungan untuk satu sampel yang sama. Hal ini tentu tidak efektif dan merepotkan. Oleh karena itu, telah dicoba rentang pengukuran yang baru (Gambar 3 (d)) tetapi hasil yang didapatkan juga tidak memuaskan. Untuk mendapatkan kurva kalibrasi standar yang linear menggunakan FTIR memang hal yang sulit. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu keterbatasan interferogram (Russwurm 1999), respon detektor yang tidak linear (Heine 1997), jumlah pemindaian (Barra 2021), konsentrasi sampel dan temperatur pengukuran. Gambar 3 mengkonfirmasi pengaruh konsentrasi sampel, terlihat dari linearitas yang berkurang seiring peningkatan konsentrasi sampel.

Kelemahan pada metode FTIR-ATR tidak dimiliki oleh GC-FID sehingga layak untuk diaplikasikan sebagai pembanding ataupun pengganti. Pada Gambar 4 dapat dilihat perbandingan kromatogram biodiesel dan minyak solar. Biodiesel memiliki empat puncak utama yang diidentifikasi berturut-turut sesuai waktu retensinya sebagai metil tetradekanoat, metil heksadekanoat, 9-metil oktadekanoat, dan metil stearat. Keempat senyawa ini merupakan komposisi penyusun utama dari minyak sawit (Palmoilina Asia 2024). Gambar 4 juga mengkonfirmasi peluang penggunaan GC-FID karena memiliki puncak yang tidak terganggu oleh minyak solar. Pada penelitian ini digunakan puncak metil heksadekanoat sebagai acuan perhitungan. Puncak tersebut dipilih karena terisolasi dari komponen di dalam minyak solar ataupun komponen lain yang ada di dalam biodiesel.

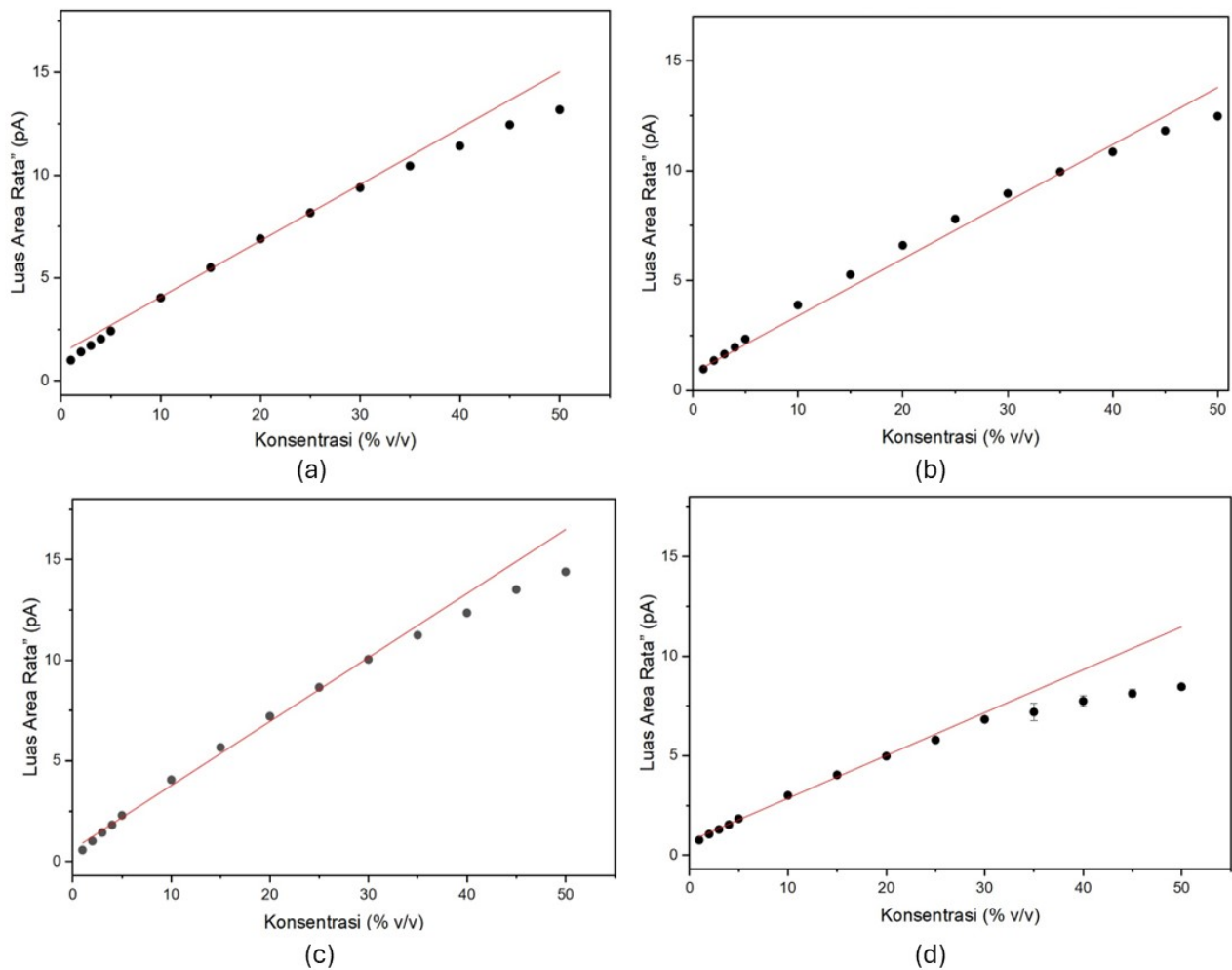


Gambar 1. Spektrum FTIR-ATR yang membandingkan biodiesel dan minyak solar, dengan puncak khas gugus karbonil (C=O) yang menandakan keberadaan ester pada biodiesel dibilangan gelombang 700-4000 cm^{-1} .

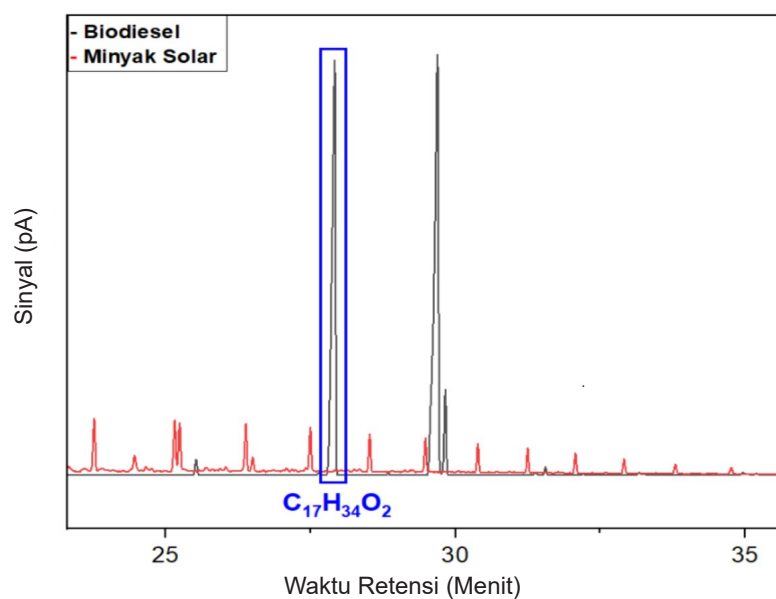


Gambar 2. Spektrum FTIR-ATR dari biosolar dengan puncak serapan sekitar 1740 cm^{-1} yang menggambarkan perubahan nilai absorbansi pada berbagai sampel (B1–B50).

Perbandingan Metode GC-FID dan FTIR-ATR Untuk Penentuan Kadar Biodiesel Dalam Biosolar
(Handajaya Rusli dkk.)



Gambar 3. Kurva kalibrasi standar serapan biodiesel dalam biosolar untuk kombinasi sampel A02 pada rentang konsentrasi 1 – 50 %(v/v) menggunakan FTIR-ATR pada berbagai rentang garis dasar (a) 1692 – 1800 cm⁻¹, (b) 1700 – 1800 cm⁻¹, (c) 1670 – 1851 cm⁻¹ dan (d) 1726 - 1776 cm⁻¹



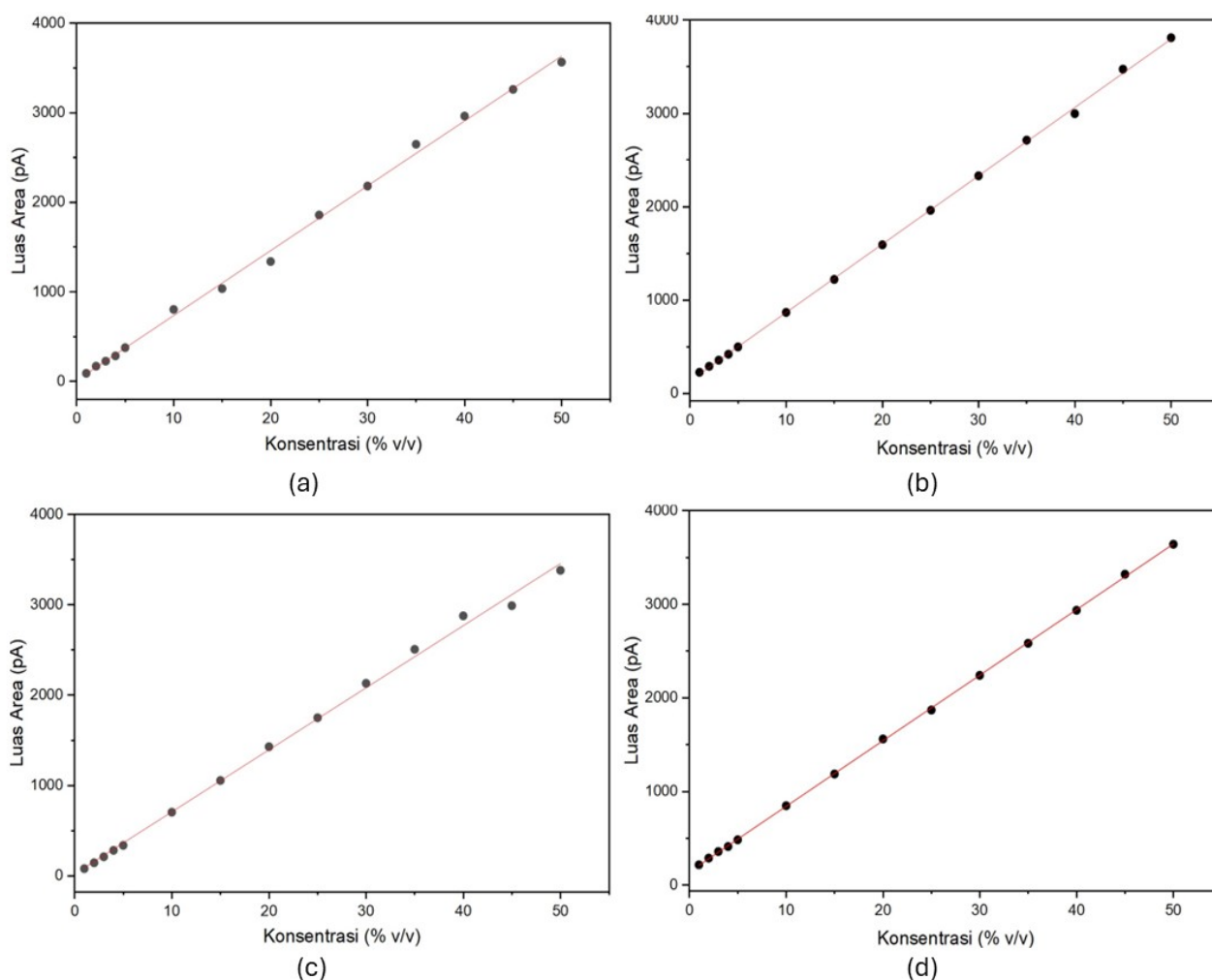
Gambar 4. Perbandingan kromatogram antara biodiesel dan minyak solar, di mana puncak senyawa $C_{17}H_{34}O_2$ menandakan keberadaan metil stearat sebagai komponen utama biodiesel.

Pada Gambar 5 ditampilkan kurva kalibrasi standar untuk empat jenis sampel yang berbeda. Keempat jenis sampel memberikan linearitas yang baik pada rentang konsentrasi yang digunakan. Kurva yang didapat menunjukkan peluang untuk penggunaan metode GC-FID untuk kadar biodiesel yang lebih tinggi, hal yang tidak dapat diaplikasikan pada metode FTIR-ATR.

Gambar 5 tersebut juga memberikan informasi bahwa puncak metil heksadekanoat relatif sama untuk sampel biodiesel yang sama tetapi memberikan sinyal yang relatif berbeda untuk sampel biodiesel yang berbeda. Hal ini dapat menjadi pengganggu pada pengukuran menggunakan metode GC-FID, walaupun pada metode FTIR-ATR juga akan mengalami hal yang sama. Perbedaan ini disebabkan oleh komposisi minyak sawit dipengaruhi oleh banyak faktor seperti waktu panen, wilayah tanam dan pemupukan. Untuk industri hulu tidak menjadi

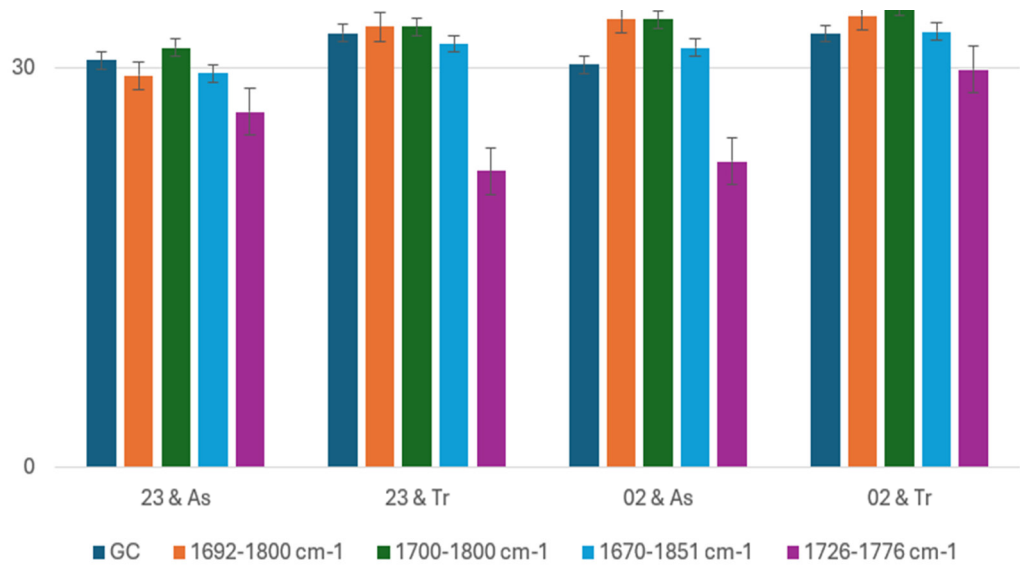
masalah karena tersedia bahan baku yang sama sehingga kurva standar dapat dibuat dari sampel yang sama. Untuk aplikasi di hilir (lapangan) dapat dilakukan pengelompokan dan penelusuran bahan baku untuk wilayah tertentu sehingga standar yang digunakan memiliki kemiripan yang tinggi dengan sampelnya.

Pada Gambar 6 dapat dilihat perbandingan pengukuran dan perhitungan sampel buatan biodiesel dengan kadar 30 % (v/v). Metode GC-FID memiliki akurasi lebih baik dibandingkan metode FTIR-ATR. Persen perolehan kembali pada metode GC-FID berada pada rentang 101 – 109 %, jauh lebih baik dibandingkan metode FTIR-ATR yang mencapai 15 %. Oleh karena itu, metode GC-FID layak untuk dipertimbangkan sebagai metode acuan untuk penentuan konsentrasi biodiesel dalam biosolar setelah dilakukan validasi terhadap metode tersebut pada berbagai jenis biodiesel dan minyak solar.



Gambar 5. Kurva kalibrasi luas puncak metil heksadekanoat dalam biosolar menggunakan GC-FID untuk rentang konsentrasi 1 – 50 % (v/v) pada berbagai jenis sampel (a) Tr23, (b) As23, (c) Tr02 dan (d) As02

Perbandingan Metode GC-FID dan FTIR-ATR Untuk Penentuan Kadar Biodiesel Dalam Biosolar
(Handajaya Rusli dkk.)



Gambar 6. Histogram perbandingan nilai rata-rata (dengan error bar) dari beberapa rentang bilangan gelombang (cm^{-1}) pada empat kondisi sampel berbeda (23 & As, 23 & Tr, 02 & As, 02 & Tr)

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan biodiesel dalam biosolar dapat dianalisis menggunakan FTIR-ATR dan GC-FID. Pada analisis menggunakan FTIR-ATR, luas daerah di bawah puncak dari C=O pada bilangan gelombang 1742 cm^{-1} menjadi acuan pengukuran. Pada analisis menggunakan FTIR, digunakan empat cara perhitungan yaitu $1692\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$, $1700\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$, dan $1670\text{--}1851\text{ cm}^{-1}$ berdasarkan ASTM D7371-14 dan $1726\text{--}1776\text{ cm}^{-1}$. Keempat cara tersebut tidak memberikan linearitas yang baik pada rentang konsentrasi biodiesel 1 – 50 % (v/v). Analisa menggunakan GC-FID dapat dilakukan dengan memanfaatkan luas puncak metil heksadekanoat. Senyawa ini dipilih karena puncaknya terisolasi dan memiliki intensitas yang kuat. Pengukuran menggunakan GC memberikan linearitas yang jauh lebih baik pada rentang konsentrasi biodiesel 1 – 50 % (v/v). Persen perolehan kembali empat kombinasi biodiesel dan solar menggunakan metode GC berada dalam rentang 101–109 % untuk konsentrasi biodiesel 30 % v/v. Hal ini menunjukkan bahwa metode GC-FID memiliki akurasi dan linearitas yang lebih baik dibandingkan metode FTIR-ATR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LEMIGAS atas sampel minyak solar dan biodiesel untuk mendukung penelitian ini. Penelitian ini tidak didanai oleh pihak manapun.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Notasi	Keterangan	Satuan
NMR	Nuclear Magnetic Resonance	
GC	Kromatografi Gas	
FID	Detektor Ionisasi Nyala	
FTIR	Fourier Transform Infra Merah	
ATR	Attenuated Total Reflectance	
ASTM	American Society for Testing and Materials	
EN	European Norm	
BBPMGB	Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi	
CN	Angka setana	

KEPUSTAKAAN

ASTM D7371-14. (2022) *Standard Test Method for Determination of Biodiesel (Fatty Acid Methyl Esters) Content in Diesel Fuel Oil Using Mid Infrared Spectroscopy (FTIR-ATR-PLS Method)*.

ASTM D7806-20. (2025) *Standard Test Method for Determination of Biodiesel (Fatty Acid Methyl Ester) and Triglyceride Content in Diesel Fuel Oil Using Mid-Infrared Spectroscopy (FTIR Transmission Method)*.

- ASTM D8274-20a, 2024, *Standard Test Method for Determination of Biodiesel (Fatty Acid Methyl Esters) Content in Diesel Fuel Oil by Portable Rapid Mid-Infrared Analyzer*.
- Bethari, S. A., Rusli, H., & Amran, M. B. (2025). Development of Analytical Method for Determination of Palm-Based Hydrotreated Vegetable Oil (Hvo) in Diesel Blends Using Gas Chromatography: Preliminary Study. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 48(2), 181-191. <https://doi.org/10.29017/scog.v48i2.1816>.
- Barra, I., Khiari, L., Haefele, S.M, Sakrabani, R., Kebede, F. (2021) *Optimizing setup of scan number in FTIR spectroscopy using the moment distance index and PLS regression: application to soil spectroscopy*. *Scientific Reports*, 11, 13358 (2021), <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92858-w>.
- EN 14103. (2020) *Fat and oil derivatives. Fatty Acid Methyl Esters (FAME). Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents*.
- Herizal, H., & Rahman, M. (2008). Optimalisasi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel dengan Katalis NaOH. *LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI (LPMGB)*, 42(3), 61-66. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.42.3.120>.
- Heise, H.M., Janissek, P.R., Fischer, P. (1997) *Application of Detector Non-linearity Correction for FT-IR Spectrometric Gas Analysis of SF₆ Samples*. In: Mink, J., Keresztury, G., Kellner, R. (eds) *Progress in Fourier Transform Spectroscopy. Mikrochimica Acta Supplement, 14*, Springer; https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6840-0_66.
- Kementerian ESDM Republik Indonesia (2024) Keputusan Dirjen Minyak dan Gas Bumi no 384.K/MG.06/DJM/2024 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Solar (B40) yang Dipasarkan di Dalam Negeri.
- Kementerian ESDM Republik Indonesia (2025) Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia no 4 tahun 2025 tentang Pengusahaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati.
- Marchetti, J. M., & Errazu, A. F. (2008) *Esterification of Free Fatty Acids Using Sulfuric Acid as Catalyst in the Presence of Triglycerides, Biomass and Bioenergy*, 32(9), 892–895, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.001>.
- Palmolina Asia, Minyak Kelapa Sawit: Kandungan dan Manfaat, diakses 4 Agustus (2025) <https://palmoilina.asia/sawit-hub/minyak-kelapa-sawit/>
- Russwurm, G.M., Phillips, B. (1999) *Effects of a nonlinear response of the fourier-transform infrared open-path instrument on the measurements of some atmospheric gases*, *Applied Optics*, 38(30):6398-407, DOI: 10.1364/ao.38.006398.
- Trisunaryanti, W., & Anwar, C. (2004). Pembuatan Biodiesel sebagai Bahan Bakar Alternatif: Transesterifikasi Minyak Kelapa dengan Metanol Menggunakan Katalis NaOH. *LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI (LPMGB)*, 38(3), 40-49. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.38.3.762>.
- Wibowo, C. S., Anggarani, R., Hermawan, N., & Aisyah, L. (2016). Pengaruh kondisi penyimpanan terhadap stabilitas oksidasi bahan bakar jenis biodiesel (b-100), biosolar (b-20) dan minyak solar murni (b-0)(effect of storage conditions on oxidation stability of biodiesel (b-100), biosolar (b-20) and diesel fuel (b-0)). *LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI (LPMGB)*, 50(3). <https://doi.org/10.29017/LPMGB.50.3.8>.