Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian
AGROTECHNO
Volume 11, Nomor 2, Oktober 2026
ISSN: 2503-0523 ■ e-ISSN: 2548-8023

Karakteristik Spektrum Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR) CPO di Kabupaten Pelalawan

Characteristics of Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR) Spectra CPO in Pelalawan Regency

Arief Fazlul Rahman[1*], Riri Nasirly[2], Nuraini Rahmad[2]
[1]Prodi Teknoloigi Pasca Panen Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia[1]
[2]Prodi Teknik Industri Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia[2]
**Email: arieffazlulrahman@itp2i-yap.ac.id*

Abstract

Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) is a common analytical technique for determining the authenticity of a product that has been widely used to trace the geographical origin and authenticity of oil and one of the techniques used to develop traceability methods. The purpose of this study was to determine the characteristics of the Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR) Spectrum. The sample used was CPO from the Processing Plant 30 samples processed in the Laboratory with an FT-IR Spectrometer Type Spectrum Two and the normality test for each FTIR absorption value using the Shapiro-Wilk test with a significant value greater than 0.05. Smoothing with the Savitzky-Golay method, the next stage is discriminant analysis (multivariate) to determine the characterization of FTIR waves with significance criteria above 0.05 and finally scaling the data on the spectra using the first and second derivatives. The characteristics of the FTIR wave are characterized by the single bond vibration spectrum region caused by stretching between O–H, C–H, and N–H with the highest peak at 2919 cm^{-1}. The characteristics of the CPO samples obtained will differ based on the absorbance value of the CPO spectra. The R2 value will be higher in the data that has been scaled compared to the normal spectra data with the highest R^2 value being 0.54 which indicates reduced noise and the obtained spectrum characteristics that can be used as characteristics for tracing CPO.

.

Keyword: *Crude Palm Oil (CPO), FTIR, Absorbance, Normality Test, Characteristics*

Abstrak

Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) adalah teknik analisis umum untuk menentukan keaslian suatu produk yang telah banyak digunakan untuk menelusuri asal geografis dan keaslian minyak dan salah satu teknik yang digunakan untuk mengembangkan metode ketelusuran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahuai karakteristik Spektrum Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR). Sampel yang digunakan adalah CPO dari Pabrik Pengolahan 30 sampel yang dolah di Laboratorium dengan alat FT-IR Spectrometer Type Spectrum Two dan Uji normalitas pada setiap nilai absorbansi FTIR menggunakan uji Shapiro-Wilk dengan nilai signifikan lebih besar dari 0,05. S*moothing* dengan metode Savitzky-Golay Tahap selanjutnya adalah analisis diskriminan (*multivariate*) untuk menentukan karakterisasi gelombang FTIR dengan kriteria signifikansi diatas 0.05 dan terakhir *scaling data* pada spectra menggunakan *first* dan *second derivative*. Karakteristik gelombang FTIR ditandai dengan wilayah spektrum vibrasi ikatan tunggal yang disebabkan oleh regangan antara O–H, C–H, dan N–H dengan puncak tertinggi pada 2919 cm^{-1}. Karakteristik sampel CPO yang didapati akan berbeda berdasarkan nilai dari Absorbance spektra CPO. Nilai R^2 akan lebih tinggi pada data yang dilakukan scalling dibandingkan dengan data spektra normal dengan nilai R^2 tertinggi adalah 0.54 yang menandakan noise yang berkurang dan didapat karakteristik spektrum yang dapat digunakan sebagaik karakteristik untuk melakukan ketelusuran pada CPO

Kata kunci: *Crude Palm Oil (CPO), FTIR, Absorbance, Uji Normalitas , Karakteristik*

Rahman, A. F., Nasirly, R., & Rahmad, N. (2026). Karakteristik Spektrum Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR) CPO di Kabupaten Pelalawan. *Jurnal Ilmu Teknologi Pertanian Agrotechno*, *11*(2), 1–6.

PENDAHULUAN

Indonesia salah negara yang mempunyai sumber daya alam yang sangat melimpah dan Indonesia merupakan negara penghasil CPO terbesar dan negara pengekspor CPO terbesar di dunia (Alatas, 2015). *Crude Palm Oil* (CPO) berperan penting dalam rantai industri kebutuhan masyarakat seperti pangan, kosmetik, energi, serta CPO sebagai produk unggulan eksport perkebunan Indonesia (Mayasafitri et al., 2025).

Peningkatan kualitas CPO yang dapat menembus pasaran dunia, kebijakan pemerintah untuk dapat mendukung di semua sektor Perkebunan terutama komoditas sawit, salah satau yang mendukung peningkatan kulaitas CPO adalah sistem ketelusuran (Nawangsih et al., 2023). Secara umum, sistem ketelusuran terkait dengan keberlanjutan, dan kemampuan untuk melacak suatu produk ke sumber asalnya baik di pabrik (van Duijn, 2013).

Semakin tingginya pengetahuan konsumen tentang kualitas dan autentikasi suatu produk pangan, maka produsen, khususnya produsen CPO harus mampu menyesuaikan diri dengan kondisi tersebut dengan menerapkan inovasi teknologi sistem traceability dalam mengelola rantai pasok, yang telah menjadi salah satu tulang punggung keberlanjutan (Yusriana & Rachman Jaya, 2022). Beberapa tahun ini, sistem ketertelusuran dan otentikasi semakin meningkat diterapkan pada produk pertanian dan pangan, misalnya saja di beberapa negara mengimpor CPO, khususnya di Eropa menuntut transparansi ketertelusuran dalam rantai pasok minyak sawit (Goggin & Murphy, 2018).

Secara bersamaan, sistem ketertelusuran mencegah aktivitas penipuan dan membantu meningkatkan dan memantau produksi proses untuk keamanan dan kualitas (Rozali et al., 2023). Namun, sistem penelusuran yang ada saat ini sebagian besar didasarkan sistem dokumentasi dan repositori elektronik yang memerlukan lebih lanjut perbaikan untuk memastikan sistem yang menyeluruh dan bebas kesalahan. Karena itu, diperlukan sistem yang lebih layak dan efektif untuk memperbaiki kondisi saat ini dalam kerangka ketertelusuran rantai pasok minyak sawit (Ramli et al., 2020). Salah satu metode yang lain yang dapat digunakan untuk melakukan penelusuran adalah *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) (Rozali et al., 2023).

FTIR adalah teknik analisis yang umum untuk menentukan keaslian suatu produk makanan dan saat ini merujuk pada rentang panjang gelombang inframerah yang digunakan untuk menganalisis sampel, serta pola serapan yang dihasilkan oleh ikatan kimia dalam sampel tersebut. Secara umum, FTIR menggunakan daerah inframerah dengan panjang gelombang antara 4000 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1}, atau sekitar 2,5 hingga 25 mikrometer (Rozali et al., 2023). FTIR telah telah banyak dimanfaatkan untuk menelusuri asal geografis dan keasliannya minyak (Valand et al., 2020).

FTIR mempunyai kelebihan dari segi biaya peralatan yang terjangkau dan persiapan sampel uji yang minim. Saat ini, FTIR telah banyak digunakan untuk melacak asal geografis dan keaslian minyak nabati (Valand et al., 2020). Penelitian yang dilakukan Rozali et al (2023) menggunakan FTIR digabungkan dengan metode analisis diskriminan untuk mengembangkan metode ketelusuran CPO berdasarkan daerah asal CPO yang dilakukan di pabrik pengolahan CPO di Malaysia. Ketelusuran CPO dengan menggunakan metode FTIR ini lebih mudah dilakukan dengan menggunakan karakterisasi dari gelombang yang dihasilkan untuk wilayah dengan geografi yang berbeda (Joni et al., 2023; Rozali et al., 2023). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahuai karakteristik CPO berdasarkan Absorbance Spektra FTIR yang dihasilkan di Kab. Pelalawan sebagai dasar mengembangkan sistem ketelusuran CPO.

METODE

Pengumpulan Sampel

Tahap awal penelitian adalah pengumpulan sampel. Sampel yang digunakan adalah CPO (*Crude Palm Oil)* yang berasal dari satu Pabrik pengolahan CPO di Kab. Pelalawan dengan total 30 sampel dengan volume 100 ml tiap sampel.

Pengambilan Spekra FTIR

Tahap selanjutnya adalah proses pengambilan spektra atau gelombang FTIR yang diperlukan. Pengambilan Spektra di lakukan di Laboratorium menggunakan FT-IR Spectrometer Type Spepctrum Two dengan parameter yang digunakan adalah Absorbance dari spectra yang dihasilkan. Absorbance gunakan sebagai acuan untuk menentukan karakteristik gelombang spektra dengan panjang gelombang 500-4000 cm^{-1} (Lee et al., 2018; Rozali et al., 2023)

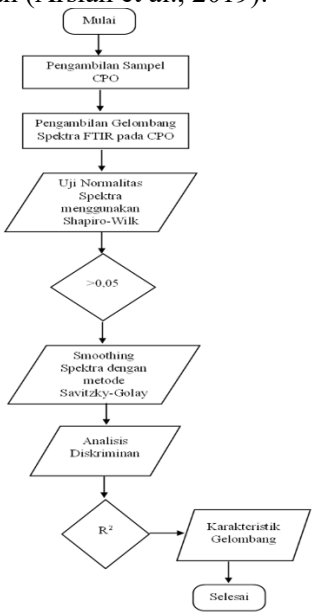
Analisis Data Spektra FTIR

1. **Uji Normalitas**

Pada analisa spektra FTIR yangdihasilkan, dilakukan *processing* dan *scaling data* pada data spektra yang didapat untuk menentukan karakteristik gelombang FTIR yang dihasilkan. Pada tahap ini, *processing* data spektra dilakukan dengan Uji normalitas pada setiap nilai absorbansi FTIR menggunakan uji Shapiro-Wilk dengan menggunakan SPSS Statistics Version 20, dan nilainya lebih besar dari 0,05 dipilih sebagai spektra untuk ditentukan karakteristiknya (Rozali et al., 2023; Valand et al., 2020)

2. **Smoothing**

Selanjutnya data spektra FTIR yang terpilih, dilakukan *smoothing* dengan metode Savitzky-Golay (Uncu et al., 2020) menggunakan software Origin Pro 2018. Uji Savitzky-Golay untuk menghilangkan noise dan memulihkan informasi analitis sebanyak mungkin dari spektrum FTIR yang dihasilkan (Arslan et al., 2019).



Gambar 1. Diagram Alir Analisis Data

3. **Analisis Diskriminan**

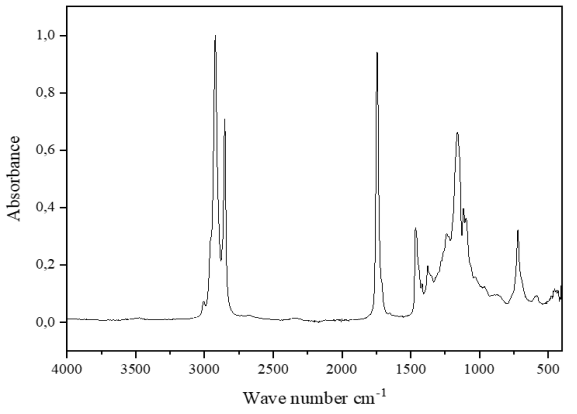
Tahap selanjutnya adalah analisis diskriminan (*multivariate*) untuk menentukan karakterisasi gelombang FTIR dengan kriteria signifikansi diatas 0.05 (Lee et al., 2018). Selanjutnya dilakukan *scaling data. Scaling data* pada spectra menggunakan *first* dan *second derivative* menggunakan software Origin Pro 2018. Tujuan pemrosesan data spectra menggunakan first dan second derivative untuk memperbaiki *baseline shift* dari variasi intensitas dari gelombang sebagai karakteristik gelombang dengan evaluasi hasil menggunakan R^2 (Arslan et al., 2019; Lee et al., 2018; Rozali et al., 2023). Hasil dari olah data diatas akan dijadikan karakteristik spektra FTIR CPO yang hasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

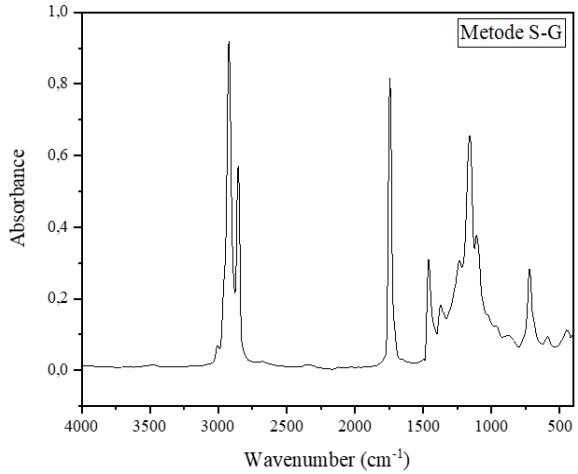
Hasil *Smoothing*

Savitzky-Golay (S-G) adalah jenis filter peng Umumnya digunakan untuk menghaluskan sinyal guna meningkatkan presisi data tanpa mendistorsi kecenderungan sinyal. S-G menggunakan proses konvolusi dengan mencocokkan titik data dengan polinomial derajat rendah dengan metode kuadrat terkecil dengan menggunakan regresi polinomial untuk menyesuaikan data dengan kurva gelombang FTIR (Chinomso et al., 2022; Uncu et al., 2020).

Hasil dari proses *smoothing* mmetode Savitzky-Golay pada gelombang FTIR dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini



(a)



(b)

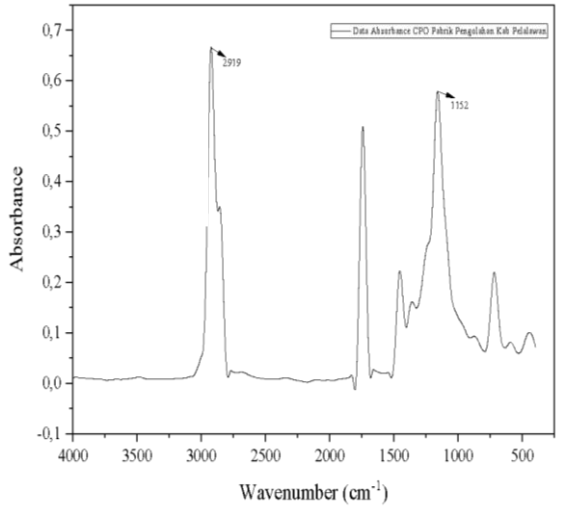
Gambar 1. Perbedaan Spektra sebelum dilakukan *Smoothing* metode Savitzky-Golay (a) dan

sesudah menggunakan metode Savitzky-Golay (b)

Berdasarkan Gambar 1 diatas, hasil spectra yang telah di lakukan *smoothing* dengan metode Savitzky-Golay terlihat lebih halus dengan noise yang hilang dari spektra yang dilihat dari parameter *Absorbance* yang dihasilkan. Titik Absorbance tertinggi sebelum dilakukan *smoothing* pada 0,98, setelah dilakukan titik *smoothing,* titik Absorbance 0,91 (Uncu et al., 2020) menyatakan hasil *smoothing* dari spektra menghasilkan karakteristik spektra yang lebih baik dilihat dari titik Absorbance yang dihasilkan dibandingkan dengan sebelum dilakukan metode *smoothing.*

Spektra FTIR *Crude Palm Oil* (CPO)

Spektroskopi *Fourier Transform Infrared (FTIR)* adalah teknik cepat untuk menentukan struktur molekulyang digunakan untuk menganalisis senyawa kimia menggunakan radiasi sinar inframerah (Joni et al., 2023). Spektrum yang dihasilkan merupakan hasil transisi antara tingkat energi getaran yang berbeda. Inti-inti yang disatukan oleh ikatan kovalen mengalami getaran atau osilasi seperti dua bola yang disatukan oleh pegas. Ketika suatu molekul menyerap radiasi infra merah, energi yang diserap meningkatkan amplitudo getaran atom-atom yang terikat. Oleh karena itu, molekul ini berada dalam keadaan vibrasi tereksitasi. (*excited vibrational state*) (Raturandang et al., 2022). Gambar 1 menunjukkan spektrum FTIR sampel CPO dari Pabrik Pengolahan di Kab. Pelalawan dengan puncak berbeda dengan gugus fungsi utama dalam sampel CPO dengan nilai puncak yang berbeda-beda pada tiap wave number.



Gambar 2. Spektra FTIR CPO Pada Pabrik Pengolahan di Kabupaten Pelalawan

Dari Gambar 1 diatas, didapati bahwa puncak tertinggi spektra pada pabrik pengolahan kab. Pelalawan berada pada 2919 cm^{-1} . Wilayah spektrum vibrasi ikatan tunggal yang disebabkan oleh regangan antara O–H, C–H, dan N–H 4000 dan 2500 cm^{-1} (Nandiyanto et al., 2019). Wilayah serapan (absorbance) pada wavenumber 3006 cm^{-1} adalah struktur kimia C–H pada ikatan rangkap lemak tak jenuh (Lee et al., 2018; Nandiyanto et al., 2019). Frekuensi lemah diamati pada wave number 2953 cm^{-1} menunjukkan getaran asimetris C–H gugus metil terutama disebabkan oleh rantai asil lemak triacylglycerol (TAGs) (Shapaval et al., 2019). Serapan pada wave number 2922 cm^{-1} dan 2853 cm^{-1} mewakili regangan asimetris getaran hidrokarbon alifatik dari gugus metilen yang berasosiasi dengan rantai panjang asam lemak dengan kandungan lipid jenuh dalam CPO (Nandiyanto et al., 2019; Shapaval et al., 2019).

Satu puncak karbonil kuat dan satu puncak lemah diamati di wilayah spektrum ketiga peregangan ikatan rangkap getaran, antara 2000 dan 1500 cm^{-1}, merupakan fungsi karbonil kelompok diamati pada daerah 1750-1720 cm^{-1} akibat C–H getaran regangan hubungan ester triacylglycerol (Alshuiael & Al-Ghouti, 2020). Wavenumber 1378 cm^{-1} berhubungan dengan ikatan C – H dari kelompok metil rantai lemak triacylglycerol (TAGs) (Lee et al., 2018), pada 1235, 1160, 1116 dan 1098 cm^{-1} berasal ikatan C–O gugus ester kandungan triacylglycerol (Alshuiael & Al-Ghouti, 2020). Nilai puncak *wavenumber* yang dihasilkan pada spektra FTIR adalah 2919 cm^{-1} dengan absorbance 0.65, jika dibandingkan dengan (Rozali et al., 2023) puncak wave number pada 2935 dengan absorbance 0.3. Perbedaan wave number dan absorbance yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai indikasi perbedaan geografi asal dari CPO (Lee et al., 2018; Nandiyanto et al., 2019)

Hasil Olah Data Absorbansi Spectra FTIR CPO

Setelah data visual spektra didapatkan dari alat FTIR Spectrometer, hasil olah data dari *Absorbance* spektra FTIR CPO antara 3100 cm^{-1} dan 2700 cm^{-1} dan 1870 cm^{-1} dan 650 cm^{-1} (Ramli et al., 2020; Rozali et al., 2023) dapat dilihat Tabel 1. Karakteristik sampel CPO yang didapati akan berbeda berdasarkan nilai Absorbance pada CPO sehingga akan membedakan karakteristik dari

sampel CPO yang dianalisis (Rozali et al., 2023). Hasil olah data pada Tabel 1 dijadikan sebagai acuan bahwa *scalling data* yang dilakukan dapat digunakan sebagai acuan karakteristik spektra yang hasilkan dapat digunakan untuk ketelusuran CPO (Rozali et al., 2023; van Duijn, 2013)

Tabel 1. Pemrosesan Data *Absorbance Spectra* FTIR *Crude Palm Oil* Dari pabrik Pengolahan

Pengolahan Data dari CPO sampel Pabrik Pengolahan Kab. Pelalawan (*Data Scaling*)	Normalisasi Data	R^2	Analisis Multivariate (0.05)
Data Normal	Univariate	0.47	0.00
First Derivative	Univariate	0.54	0.072*
Second Derivative	Univariate	0.51	0.071*

Keterangan: *Signifikan

Scalling data analisis spektra absorbance FTIR dilakukan berdasarkan metode (Lee et al., 2018). Metode *Scalling* data yang digunakan adalah first dan second derivative serta metode penskalaan univariate. Efek dari metode *scalling* spektrum yang berbeda adalah dibandingkan dengan spektrum FTIR tanpa optimalisasi data adalah nilai R^2 yang dihasilkan dari hasil analisis (Rozali et al., 2023). Dari nilai R^2 yang dihasilkan dari olah data pada Tabel 1, didapati nilai R^2 tertinggi pada First Derivative 0.54. Hal ini sejalan dengan penelitian (Arslan et al., 2019; Rozali et al., 2023; Uncu et al., 2020) bahwa nilai R^2 akan lebih tinggi pada data yang dilakukan *scalling data* dibandingkan dengan data spektra normal. Analisis multivariate yang dihasilkan juga, sejalan dengan nilai R^2, dimana semakin tinggi nilai R^2 maka akan semakin signifikan analisis multivariate yang dihasilkan. Analisis multivariate menggambarkan hubungan antara pemrosesan data (*scalling data)* dan nilai R^2 yang dihasilkan, sehingga didapat karakteristik spektrum yang dapat digunakan untuk melakukan ketelusuran pada CPO (Rozali et al., 2023). Peningkatan R^2 setelah penerapan first dan second derivative menunjukkan bahwa koreksi baseline spektral FTIR yang dihasilkan dan menandakan bahwa metode Savitzky-Golay berhasil mengurangi noise, sehingga hubungan antara absorbansi dan asal geografis menjadi lebih konsisten

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian diatas yaitu spektrum FTIR CPO dengan puncak tertinggi pada wavenumber yang dihasilkan adalah 2919 cm^{-1}. Nilai R^2 akan lebih tinggi pada data yang dilakukan *scalling data* dibandingkan dengan data spektra normal dengan nilai R^2 tertinggi adalah 0.54 lebih tinggi sebelum dilakukan *scalling data.* Signifikansi pada hasil analisis multivarate dan R^2 dan perbedaan nilai wavenumber dan absorbance dapat dijadikan sebagai acuan karakteristik spektra untuk melakukan ketelusuran CPO. Hasil dari penelitian ini dapat menggunakan uji Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) untuk membuat model cluster dari spektra FTIR Crude Palm Oil (CPO).

DAFTAR PUSTAKA

Alatas, A. (2015). Trend Produksi dan Ekspor Minyak Sawit (CPO) Indonesia. *AGRARIS: Journal of Agribusiness and Rural Development Research*, *1*(2), 114–124. https://doi.org/10.18196/agr.1215

Albuquerque, T. G., Costa, H. S., & Oliveira, M. B. P. P. (2019). An Overview of Portuguese Olive Oils and Table Olives with Protected Designation of Origin. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *121*(5). https://doi.org/10.1002/ejlt.201800129

Alshuiael, S. M., & Al-Ghouti, M. A. (2020). Multivariate analysis for FTIR in understanding treatment of used cooking oil using activated carbon prepared from olive stone. *PLoS ONE*, *15*(5). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232997

Arslan, F. N., Akin, G., Karuk Elmas, Ş. N., Yilmaz, I., Janssen, H. G., & Kenar, A. (2019). Rapid detection of authenticity and adulteration of cold pressed black cumin seed oil: A comparative study of ATR–FTIR spectroscopy and synchronous fluorescence with multivariate data analysis. *Food Control*, *98*(2019), 323–332. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.055

Chinomso, M. F., Yusuf, S. D., Umar, I., & Mundi, A. A. (2022). Analysis of Savitzky-Golay Filter for Electrocardiogram De-Noising Using Daubechies Wavelets. EDUCATUM

Journal of Science, Mathematics and Technology, 9(2), 113–128. https://doi.org/10.37134/ejsmt.vol9.2.13.2022

Goggin, K. A., & Murphy, D. (2018). Monitoring the traceability, safety and authenticity of imported palm oils in Europe. Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 25. https://doi.org/10.1051/ocl/2018059. Article A603.

Joni, Setiawan, R. P. A., & Siregar, K. (2023). Analisis Karakteristik Tandan Kosong Sawit Menggunakan Metode FT-IR dan Pirolisis-GCMS. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, *7*(2), 377–385. https://doi.org/10.33379/gtech.v7i2.2251

Lee, B. J., Zhou, Y., Lee, J. S., Shin, B. K., Seo, J. A., Lee, D., Kim, Y. S., & Choi, H. K. (2018). Discrimination and prediction of the origin of Chinese and Korean soybeans using Fourier transform infrared spectrometry (FT-IR) with multivariate statistical analysis. *PLoS ONE*, *13*(4), 1–16. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196315

Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscope of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, *4*(1), 97–118. https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806

Nawangsih, W. S., Manumono, D., & Ambarsari, A. (2023). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Volume Ekspor CPO Indonesia ke India, Tiongkok, dan Eropa (Belanda dan Italia). *Agrotechnology, Agribusiness, Forestry, and Technology 1*(2), 1033–1042. https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/644

Ramli, U. S., Tahir, N. I., Rozali, N. L., Othman, A., Muhammad, N. H., Muhammad, S. A., Ahmad Tarmizi, A. H., Hashim, N., Sambanthamurthi, R., Singh, R., Abd Manaf, M. A., & Ahmad Parveez, G. K. (2020). Sustainable palm oil—The role of screening and advanced analytical techniques for geographical traceability and authenticity verification. *Molecules*, *25*(12), 1–26. https://doi.org/10.3390/molecules25122927

Raturandang, R., Wenas, D. R., Mongan, S., & Bujung, C. (2022). Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, *3*(1), 28–33. https://doi.org/10.53682/fista.v3i1.167

Rozali, N. L., Azizan, K. A., Singh, R., Syed Jaafar, S. N., Othman, A., Weckwerth, W., & Ramli, U. S. (2023). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy approach combined with discriminant analysis and prediction model for crude palm oil authentication of different geographical and temporal origins. *Food Control*, *146*(May 2022), 109509. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109509

Samsi, A. N., & Asthutiirundu. (2022). Utilization and benefits of palm oil in fisheries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *974*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012122

Shapaval, V., Brandenburg, J., Blomqvist, J., Tafintseva, V., Passoth, V., Sandgren, M., & Kohler, A. (2019). Biochemical profiling, prediction of total lipid content and fatty acid profile in oleaginous yeasts by FTIR spectroscopy. *Biotechnology for Biofuels*, *12*(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/s13068-019-1481-0

Uncu, O., Ozen, B., & Tokatli, F. (2020). Authentication of Turkish olive oils by using detailed pigment profile and spectroscopic techniques. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*(5), 2153–2165. https://doi.org/10.1002/jsfa.10239

Valand, R., Tanna, S., Lawson, G., & Bengtström, L. (2020). A review of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, *37*(1), 19–38. https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1675909

Van Duijn, G. (2013). Traceability of the palm oil supply chain. *Lipid Technology*, *25*(1), 15–18. https://doi.org/10.1002/lite.20130025