



Tinjauan Kritis Kemampuan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dalam Analisis dan Karakterisasi Senyawa Obat

Iqbal Nugroho^{1*}, Nabila Putri², Jessica Evelyn Praditya Adji³, Sofi Rohmah Nur⁴, Nadya Anindhita Sekarningrum⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Negeri Semarang

Abstract

Received: 08 Agustus 2024

Revised: 17 Agustus 2024

Accepted: 28 Agustus 2024

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan kritis terhadap kemampuan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dalam analisis dan karakterisasi senyawa obat. FTIR telah menjadi teknik spektroskopi yang sangat penting dalam penelitian farmasi dan industri obat, memberikan wawasan mendalam tentang struktur molekuler, identifikasi senyawa, dan pengukuran kualitas obat. Tinjauan literatur ini mencakup identifikasi senyawa obat melalui sidik jari spektrum, karakterisasi struktur molekuler, pengukuran kualitas dan kemurnian obat, serta batasan dan tantangan yang perlu diatasi. Kami juga mengeksplorasi pengembangan terkini dalam metodologi FTIR dan integrasinya dengan teknik analisis lainnya. Hasilnya menunjukkan bahwa FTIR telah berhasil diterapkan dalam berbagai konteks farmasi, dari penelitian pengembangan obat hingga pengontrolan kualitas produksi. Dengan memahami kelebihan, batasan, dan terobosan terkini, tinjauan ini memberikan pandangan yang komprehensif tentang peran kritis FTIR dalam analisis senyawa obat.

Keywords: FTIR, senyawa obat, spektroskopi inframerah, identifikasi, karakterisasi, kualitas obat, kemurnian obat, metode analisis, teknologi terkini, farmasi.

(*) Corresponding Author:

balnugroho25@gmail.com, nlaputri190704@gmail.com,
jessicaevelynadji2@gmail.com, sofirohmahnur@gmail.com,
nadyanindhitas@gmail.com

How to Cite: Nugroho, I., Putri, N., Adji, J., Nur, S., & Sekarningrum, N. (2024). Tinjauan Kritis Kemampuan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dalam Analisis dan Karakterisasi Senyawa Obat. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(15), 332-344. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13777154>

PENDAHULUAN

Dalam era perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat, teknik analisis dan karakterisasi senyawa obat menjadi hal yang sangat penting dalam pengembangan dan penelitian ilmiah. Salah satu metode yang telah menjadi tulang punggung dalam dunia analisis senyawa kimia adalah Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) (Berthomieu & Hienerwadel, 2009). FTIR merupakan teknik spektroskopi yang memiliki kemampuan unik dalam mendeteksi dan mengidentifikasi senyawa berdasarkan pada interaksi gelombang inframerah dengan molekul. Kajian kritis terhadap kemampuan FTIR dalam analisis dan karakterisasi senyawa obat menjadi suatu aspek yang mendalam dan strategis dalam mengungkap sifat-sifat kimiawi dan fisik dari senyawa tersebut (Guntarti & Prativi, 2017).

FTIR telah menjadi pilihan utama dalam dunia ilmiah, industri farmasi, dan bidang keamanan pangan, karena kemampuannya untuk memberikan informasi yang luas tentang struktur molekuler suatu senyawa (Syarif et al., 2022). Spektrum FTIR merekam respons molekul terhadap radiasi inframerah dan memberikan jejak khas berdasarkan pada getaran dan rotasi atom-atom penyusun molekul. Oleh

karena itu, FTIR bukan hanya sekadar alat analisis, tetapi juga merupakan pintu gerbang untuk memahami sifat-sifat dasar suatu senyawa dan menggambarkan karakteristik unik yang melekat pada molekul tersebut (Kandori & Mizutani, 2022).

Dalam konteks analisis senyawa obat, FTIR menjadi senjata utama untuk mengungkapkan komposisi dan struktur molekuler dari zat-zat aktif. Penggunaan teknik ini dalam karakterisasi senyawa obat memungkinkan peneliti dan ilmuwan farmasi untuk menentukan keaslian, kestabilan, dan kualitas dari suatu obat. Dalam beberapa dekade terakhir, pengembangan obat-obatan semakin berkembang pesat, dan kebutuhan akan teknik analisis yang akurat dan dapat diandalkan menjadi semakin mendesak. FTIR muncul sebagai jawaban atas kebutuhan ini, memberikan solusi analisis yang efisien, cepat, dan informatif (Altharawi et al., 2019).

Meskipun FTIR memiliki banyak kelebihan, seperti kemampuan untuk bekerja dengan sampel dalam berbagai bentuk fisik, analisis non-destruktif, dan sensitivitas yang tinggi, namun, kajian kritis terhadap teknik ini juga perlu dilakukan. Keakuratan hasil analisis FTIR sangat tergantung pada faktor-faktor tertentu seperti pemilihan kondisi eksperimental, persiapan sampel, dan interpretasi spektrum (Merriman et al., 2022). Oleh karena itu, penting untuk memahami batasan dan potensi teknik ini dalam konteks spesifik aplikasinya dalam analisis senyawa obat.

Dalam tulisan ini, kami akan melakukan tinjauan kritis terhadap kemampuan FTIR dalam konteks analisis dan karakterisasi senyawa obat. Kami akan mengeksplorasi kelebihan dan kelemahan teknik ini, serta mempertimbangkan perkembangan terkini dan peningkatan metodologi yang dapat meningkatkan kinerja FTIR dalam dunia ilmu farmasi. Selain itu, kita akan merinci beberapa studi kasus yang menggambarkan penerapan FTIR dalam analisis senyawa obat spesifik. Dengan menggabungkan berbagai sudut pandang ini, kita dapat mendapatkan gambaran yang lebih lengkap tentang peran FTIR dalam memahami dan mengungkap sifat-sifat senyawa obat yang kompleks.

Tinjauan Pustaka

Pengantar tentang Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Salah satu metode analisis paling signifikan yang kini tersedia adalah spektroskopi inframerah, yang dapat memeriksa hampir semua materi di hampir semua situasi. Peralatan yang disebut Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FT-IR) mengukur getaran molekul yang distimulasi oleh cahaya inframerah dalam rentang bilangan gelombang tertentu. Dibandingkan sejumlah metode tradisional, spektroskopi inframerah memberikan manfaat. Teknik ini tidak merusak, cepat dan mudah digunakan, tepat, sederhana secara mekanis, dan dapat digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif rutin. Teknik spektroskopi tidak mahal dan tidak memerlukan perlakuan awal sampel yang memakan waktu atau penggunaan ekstrak kimia yang dapat berbahaya bagi lingkungan (Santos et al., 2019). Metode spektroskopi Fourier Transform Inframerah (FTIR) adalah teknik spektroskopi yang banyak digunakan yang memanfaatkan metodologi transformasi Fourier untuk analisis dan deteksi spektrum. Ini adalah pendekatan kontemporer terhadap spektroskopi inframerah (Pilling et al., 2015). Interaksi antar komponen kimia dalam matriks sampel yang kompleks menghasilkan spektrum FTIR. Dengan

rentang pita serapan yang unik untuk setiap molekul, spektrum FTIR memberikan banyak informasi struktur molekul yang dapat digunakan untuk membedakan bahan mentah yang sebanding. (Nurfitriyana et al., 2022).

Aplikasi FTIR dalam Analisis Senyawa Obat

Identifikasi Senyawa Obat: Tanpa menyebabkan kerusakan pada material, Fourier Transformed Inframerah (FTIR) adalah alat atau perangkat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi molekul, menemukan gugus fungsi, dan memeriksa campuran sampel yang diselidiki. Bagian inframerah spektrum gelombang elektromagnetik mencakup panjang gelombang dari 14000 cm^{-1} hingga 10^{-1} (Rojas-Flores et al., 2022).

Inframerah dekat ($14000\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$) sensitif terhadap getaran nada tambahan; inframerah medium ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) berhubungan dengan transisi energi vibrasi molekul dan memberikan informasi tentang gugus fungsi dalam molekul tersebut; dan inframerah jauh ($400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$) digunakan untuk menganalisis molekul yang mengandung atom berat, seperti senyawa anorganik, namun memerlukan teknik khusus. Daerah-daerah ini dipisahkan berdasarkan panjang gelombang (Zabelin et al., 2015). Biasanya analisis senyawa dilakukan pada daerah IR sedang. Fondasi kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. Ketika cahaya inframerah memasuki sampel melalui celah ini, ia mengontrol berapa banyak energi yang ditransfer ke sampel. Setelah itu, sebagian cahaya infra merah memasuki sampel melalui permukaannya dan diserap olehnya, melewati detektor. Setelah itu, sinyal yang diukur diteruskan ke komputer, di mana puncaknya dicatat (Deng et al., 2023).

Instrumen yang berguna untuk identifikasi kualitatif dan kuantitatif bahan kimia, khususnya bahan organik, adalah spektrofotometer FTIR. Spektroskopi FTIR bersama dengan analisis kualitatif biasanya digunakan untuk menentukan dengan tepat gugus fungsi yang ada dalam suatu bahan kimia untuk dideskripsikan. Kandungan analit dalam sampel sering kali dipastikan dengan analisis kuantitatif menggunakan spektroskopi FTIR. Pendekatan Fourier transform inframerah (FTIR) dapat menilai kadar hormon baik secara subyektif dan kuantitatif tanpa memerlukan reagen atau radioaktivitas. Untuk melakukan analisis gugus fungsi pada sampel, pita serapan spektrum inframerah dibandingkan dengan spektrum bahan kimia referensi yang dikenali (Sari et al., 2018).

Karakterisasi Struktur Molekuler: FTIR tidak hanya memberikan informasi tentang keberadaan senyawa obat, tetapi juga memungkinkan karakterisasi struktur molekul. Dengan menganalisis puncak-puncak spektrum, peneliti dapat menentukan jenis ikatan kimia, seperti ikatan rangkap ganda, ikatan hidrogen, dan ikatan fungsional lainnya. Hal ini sangat penting dalam memahami sifat kimia senyawa obat dan memprediksi perilaku fisikokimia mereka. Interaksi antar komponen kimia dalam matriks sampel yang kompleks menghasilkan spektrum FTIR. Dengan rentang pita serapan yang unik untuk setiap molekul, spektrum FTIR memberikan banyak informasi struktur molekul yang dapat digunakan untuk membedakan bahan mentah yang sebanding (Rafi et al., 2016).

Pengukuran Kualitas dan Kemurnian Obat: FTIR digunakan secara luas dalam industri farmasi untuk mengukur kualitas dan kemurnian obat. Dengan mendeteksi impuritas atau senyawa tambahan dalam sampel, FTIR membantu

memastikan bahwa produk obat memenuhi standar keamanan dan kualitas yang ditetapkan oleh badan pengatur. Hal ini sangat krusial dalam konteks pengembangan obat untuk memastikan efikasi dan keamanan produk tersebut (Wang et al., 2019).

Tantangan dan Batasan FTIR dalam Analisis Senyawa Obat

Sensitivitas Terhadap Pengotor dan Larutan: Salah satu batasan utama FTIR adalah sensitivitasnya terhadap pengotor dan larutan. Adanya senyawa pengotor atau pelarut tertentu dapat memengaruhi akurasi hasil analisis. Oleh karena itu, persiapan sampel yang cermat dan pemilihan kondisi eksperimental menjadi kunci untuk mengoptimalkan kinerja FTIR (Yang et al., 2022).

Resolusi Terbatas pada Spektrum ATR (Attenuated Total Reflectance): Pada aplikasi FTIR dengan teknik ATR, resolusi spektrum dapat terbatas. Meskipun teknik ini memiliki keuntungan dalam penggunaan sampel tanpa persiapan yang kompleks, namun, dapat mengorbankan resolusi pada beberapa pita spektrum, terutama pada daerah dengan intensitas rendah (De Luca et al., 2023).

Interpretasi Spektrum yang Kompleks: Spektrum FTIR seringkali kompleks dan memerlukan keahlian khusus untuk interpretasi yang akurat. Berbagai puncak spektrum dapat tumpang tindih, dan variasi dalam kondisi eksperimental dapat menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam spektrum. Oleh karena itu, pengguna FTIR harus memahami secara mendalam teori dasar dan memiliki pengalaman praktis yang cukup (Sosulin & Feldman, 2022).

Salah satu kelemahan potensial spektroskopi FTIR adalah spektrum serapan molekul yang tumpang tindih dalam sampel mungkin membuat interpretasi visual dan langsung menjadi sulit. Untuk mengurangi hal ini, pendekatan kemometri harus digunakan (Gad et al., 2013).

Pengembangan Terkini dalam Metodologi FTIR untuk Analisis Senyawa Obat

Menggunakan Teknik Multivariate Analysis: Untuk mengatasi kompleksitas interpretasi spektrum FTIR, metode analisis multivariate, seperti Principal Component Analysis (PCA) dan Partial Least Squares (PLS), telah diterapkan. Teknik ini memungkinkan reduksi dimensi data dan identifikasi pola tersembunyi, mempermudah interpretasi hasil analisis (Rollando et al., 2023).

Pemanfaatan Sinyal Penguat (Enhanced Signals) dengan Teknik Surface-Enhanced Infrared Absorption (SEIRA): Pengembangan teknologi SEIRA telah memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan sensitivitas FTIR. SEIRA menggunakan substrat khusus yang dapat meningkatkan intensitas sinyal inframerah, memungkinkan deteksi senyawa dalam konsentrasi yang lebih rendah (Gao et al., 2022).

Integrasi dengan Teknik Lain: Kombinasi FTIR dengan teknik analisis lain, seperti chromatography dan mass spectrometry, telah memberikan pendekatan holistik dalam karakterisasi senyawa obat. Integrasi ini memberikan keunggulan tambahan dalam memahami sifat-sifat senyawa secara komprehensif (Hong et al., 2021).

Studi Kasus dalam Penerapan FTIR pada Analisis Senyawa Obat

Identifikasi Senyawa Antibiotik: Sebuah penelitian pada senyawa antibiotik menggunakan FTIR berhasil mengidentifikasi komponen-komponen aktif dengan

akurasi tinggi. Hasil ini memberikan dasar untuk pengembangan obat antimikroba yang lebih efektif (Fauziah et al., 2022).

Pemantauan Reaksi Kimia dalam Produksi Obat: FTIR digunakan untuk memantau reaksi kimia dalam skala industri selama produksi obat-obatan. Pemantauan secara real-time memungkinkan pengendalian proses yang lebih baik dan mengoptimalkan rendemen produk (Lin, 2021).

Analisis Senyawa Kompleks dalam Sediaan Farmasi: Dalam formulasi sediaan farmasi yang kompleks, FTIR membantu dalam analisis senyawa-senyawa yang terlibat, memastikan konsistensi dan kestabilan produk (Haaren et al., 2023).

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) telah membuktikan diri sebagai alat analisis yang sangat efektif dalam konteks analisis dan karakterisasi senyawa obat. Dengan kemampuannya untuk memberikan informasi yang mendalam tentang struktur molekuler, identifikasi senyawa, dan pemantauan kualitas produk farmasi, FTIR menjadi landasan penting dalam industri obat dan penelitian ilmiah (Setiabudi et al., 2012).

Meskipun demikian, pemahaman akan tantangan dan batasan FTIR menjadi kunci untuk mengoptimalkan penerapannya. Pengembangan metodologi dan integrasi dengan teknik analisis lainnya merupakan langkah-langkah penting untuk meningkatkan sensitivitas dan akurasi FTIR dalam analisis senyawa obat.

Dengan adanya terobosan terkini, seperti penggunaan teknik multivariate analysis dan pemanfaatan sinyal penguat dengan SEIRA, FTIR terus berkembang sebagai alat yang semakin handal dan dapat diandalkan. Studi kasus yang mencakup berbagai aplikasi FTIR dalam berbagai konteks farmasi memberikan bukti konkret tentang peran kritis teknik ini dalam mendukung pengembangan dan pemahaman senyawa obat.

Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang ini tidak hanya penting untuk terus meningkatkan kemampuan FTIR, tetapi juga untuk memahami lebih dalam tentang kompleksitas senyawa obat yang menjadi fokus analisis. Sebagai bagian integral dari rantai pengembangan obat, FTIR tetap menjadi alat yang tak tergantikan dalam menyediakan wawasan yang mendalam dan menyeluruh tentang sifat-sifat molekuler dari senyawa obat yang menjadi titik pusat perhatian ilmuwan dan peneliti farmasi.

Metode Penelitian

Identifikasi Sumber Informasi:

Basis Data Akademis: Pencarian literatur dimulai dengan mengakses basis data akademis seperti PubMed, ScienceDirect, Wiley Online Library, dan database ilmiah lainnya. Kata kunci seperti "FTIR in drug analysis," "applications of FTIR in pharmaceuticals," dan "FTIR spectroscopy characterization" digunakan untuk mendapatkan artikel-artikel terkait.

Perpustakaan Digital Universitas: Sumber literatur dari perpustakaan digital universitas juga diakses untuk mendapatkan akses ke buku, tesis, dan disertasi yang relevan dengan tinjauan kritis FTIR dalam analisis dan karakterisasi senyawa obat.

Jurnal Ilmiah Farmasi: Jurnal-jurnal ilmiah farmasi yang terakreditasi dan berkualitas, digunakan untuk mengeksplorasi penelitian terkini dalam aplikasi FTIR dalam analisis senyawa obat.

Seleksi Kriteria Penelitian:

Relevansi: Sumber literatur yang dipilih harus memiliki relevansi langsung dengan penggunaan FTIR dalam analisis senyawa obat. Artikel yang membahas aplikasi FTIR di berbagai tahap pengembangan obat, dari identifikasi hingga karakterisasi, menjadi prioritas.

Kebaruan Informasi: Artikel-artikel yang memberikan pemahaman baru atau pembaruan terkait dengan teknik FTIR, peningkatan metodologi, atau aplikasi terbaru diutamakan untuk memastikan kebaruan dan relevansi tinjauan literatur.

Analisis Literatur:

Klasifikasi Tema: Sumber literatur diklasifikasikan berdasarkan tema, seperti identifikasi senyawa, karakterisasi struktur molekuler, pengukuran kualitas dan kemurnian obat, serta batasan dan tantangan dalam aplikasi FTIR.

Pemahaman Terhadap Metodologi: Pemahaman mendalam terhadap metodologi yang digunakan dalam penelitian-penelitian terkait menjadi fokus analisis. Perbandingan metode eksperimental, penggunaan kontrol, dan analisis data menjadi bagian integral dalam menggambarkan keandalan hasil penelitian.

Penyusunan Tinjauan Literatur:

Struktur Berbasis Tema: Tinjauan literatur disusun berdasarkan tema-tema utama yang muncul dari hasil analisis. Setiap tema diuraikan secara terpisah untuk memberikan gambaran yang komprehensif.

Sintesis Informasi: Informasi dari berbagai sumber disintesis untuk menyajikan pemahaman menyeluruh tentang kemampuan FTIR dalam analisis senyawa obat. Perspektif penelitian yang berbeda diberikan ruang untuk memperkaya tinjauan.

Evaluasi dan Pembaruan:

Evaluasi Kontinu: Tinjauan literatur terus dievaluasi selama penulisan untuk memastikan keakuratan informasi dan ketepatan analisis. Bila ditemukan penelitian terkini yang relevan, literatur akan diperbarui untuk memasukkan temuan terbaru.

Peninjauan Ulang: Keseluruhan tinjauan literatur di review ulang untuk memastikan konsistensi, ketepatan, dan kelengkapan informasi yang disajikan. Koreksi atau pembaruan dilakukan jika ditemukan kekurangan.

Pemilihan Studi Kasus:

Diversifikasi Aplikasi: Studi kasus dipilih untuk mencerminkan diversifikasi aplikasi FTIR dalam analisis senyawa obat. Studi kasus yang mencakup identifikasi senyawa, karakterisasi struktur molekuler, dan aplikasi di industri farmasi memberikan gambaran yang holistik.

Keterkaitan dengan Tema Utama: Setiap studi kasus dikaitkan dengan tema utama yang diuraikan dalam tinjauan literatur, sehingga memberikan ilustrasi konkret tentang penerapan FTIR dalam konteks analisis senyawa obat.

Dengan menggunakan metode penelitian ini, tinjauan literatur dihasilkan dengan merinci dan mensintesis informasi dari berbagai sumber untuk memberikan pemahaman yang mendalam tentang kemampuan FTIR dalam analisis dan karakterisasi senyawa obat. Pendekatan ini memastikan bahwa tinjauan literatur mencakup landasan teoritis yang kuat, penelusuran literatur yang komprehensif, serta sintesis informasi yang relevan dan mutakhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemampuan FTIR dalam Identifikasi Senyawa Obat

Penerapan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dalam identifikasi senyawa obat telah menjadi suatu langkah penting dalam penelitian farmasi. Analisis FTIR memungkinkan penentuan sidik jari spektrum unik dari suatu senyawa, yang dapat dibandingkan dengan basis data referensi untuk identifikasi yang akurat (Lee et al., 2019). Hasil literatur menunjukkan bahwa FTIR telah berhasil mengidentifikasi berbagai jenis senyawa obat, termasuk antibiotik, analgesik, dan antiinflamasi.

Studi kasus pada identifikasi senyawa antibiotik mengungkapkan bahwa FTIR dapat membedakan berbagai kelas antibiotik berdasarkan pada puncak-puncak spektrum inframerahnya. Keunggulan utama dari teknik ini terletak pada kemampuannya untuk mengidentifikasi senyawa secara cepat dan tanpa memerlukan persiapan sampel yang rumit. Identifikasi yang akurat ini menjadi kunci dalam pengembangan obat baru dan juga dalam pengendalian kualitas produk farmasi yang sudah ada.

Penting untuk dicatat bahwa keberhasilan identifikasi dengan FTIR juga sangat tergantung pada kualitas spektrum referensi yang digunakan. Seiring dengan perkembangan teknologi, basis data referensi terus diperbarui dan diperluas untuk mencakup senyawa-senyawa obat yang baru dikembangkan. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan juga penelitian meningkatkan ketepatan dan keandalan identifikasi senyawa obat menggunakan FTIR.

Karakterisasi Struktur Molekuler dengan FTIR

FTIR tidak hanya mampu mengidentifikasi senyawa obat, tetapi juga memberikan wawasan mendalam tentang struktur molekuler. Puncak-puncak pada spektrum FTIR dapat diatribusikan kepada ikatan kimia dan fungsi molekuler tertentu (Liu et al., 2018). Sebagai contoh, analisis FTIR pada senyawa obat yang mengandung ikatan rangkap ganda atau gugus fungsi tertentu dapat memberikan informasi tentang keberadaan dan tipe ikatan tersebut.

Dalam literatur, telah dilaporkan bahwa FTIR telah berhasil dalam karakterisasi struktur molekuler senyawa obat kompleks seperti polimer obat. Karakterisasi ini sangat relevan dalam pengembangan formulasi obat yang inovatif dan efektif. Melalui analisis FTIR, peneliti dapat memahami interaksi antar molekul dalam formulasi, yang pada gilirannya mempengaruhi sifat fisikokimia dan efektivitas obat.

Pentingnya karakterisasi struktur molekuler dengan FTIR juga terlihat dalam studi kasus pengembangan obat generik (Zhang et al., 2006). Dalam proses pengembangan obat generik, penting untuk memastikan kesamaan struktur molekuler antara obat generik dan obat referensi. FTIR membantu memvalidasi kesamaan ini dengan memberikan gambaran yang mendalam tentang ikatan dan struktur molekuler.

FTIR dalam Pengukuran Kualitas dan Kemurnian Obat

Instrumen yang memanfaatkan konsep spektroskopi adalah FT-IR. Spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier disebut spektroskopi, dan digunakan untuk analisis dan deteksi hasil spektrum. Karena

spektroskopi inframerah mempunyai spektrum yang sangat rumit dengan beberapa puncak, spektroskopi inframerah dapat digunakan untuk mendeteksi zat kimia. Selain itu, frekuensi masing-masing gugus fungsi menyerap radiasi infra merah bervariasi. Jenis kelompok fungsional yang dapat mengungkap keseluruhan susunan obat telah diidentifikasi berdasarkan penelitian sebelumnya (Silviyah et al., 2014).

Batasan dan Tantangan FTIR dalam Analisis Senyawa Obat

Walaupun FTIR memiliki kelebihan yang mencolok, namun, seperti setiap metode analisis lainnya, FTIR juga memiliki batasan dan tantangan tertentu. Salah satu batasan utama adalah sensitivitas terhadap pengotor dan larutan. Kontaminan atau pelarut tertentu dapat mengubah pita spektrum atau menyebabkan interferensi, mempengaruhi akurasi hasil analisis. Oleh karena itu, persiapan sampel yang cermat dan kontrol terhadap kondisi eksperimental menjadi kunci untuk mengatasi batasan ini (Kumar & Krishnan, 2012).

Resolusi terbatas pada spektrum dalam teknik Attenuated Total Reflectance (ATR) juga merupakan tantangan yang perlu diperhatikan (Santos et al., 2019). Meskipun ATR memiliki keuntungan dalam penggunaan sampel tanpa persiapan yang rumit, namun resolusi spektrum dapat terpengaruh, terutama pada daerah dengan intensitas rendah. Ini memerlukan keseimbangan yang baik antara kemudahan penggunaan dan ketelitian hasil analisis.

Interpretasi spektrum yang kompleks juga menjadi tantangan, terutama ketika berurusan dengan senyawa obat yang kompleks atau campuran. Perbedaan dalam kondisi eksperimental atau variasi dalam persiapan sampel dapat menghasilkan perbedaan signifikan dalam spektrum, yang memerlukan pemahaman mendalam dan pengalaman praktis untuk interpretasi yang akurat (Al-Mashhadani & Al-Mashhadani, 2023).

Peningkatan Metodologi dan Teknologi Terkini

Pentingnya terus-menerus meningkatkan kemampuan FTIR dalam analisis senyawa obat tercermin dalam perkembangan terkini dalam metodologi dan teknologi. Salah satu pendekatan yang muncul adalah pemanfaatan teknik multivariate analysis, seperti Principal Component Analysis (PCA) dan Partial Least Squares (PLS) (Wang et al., 2019). Pendekatan ini membantu mengatasi kompleksitas interpretasi spektrum dan memungkinkan identifikasi pola tersembunyi dalam data.

Selain itu, pengembangan teknologi Surface-Enhanced Infrared Absorption (SEIRA) telah membawa inovasi signifikan. SEIRA menggunakan substrat khusus yang dapat meningkatkan intensitas sinyal inframerah, memungkinkan deteksi senyawa dalam konsentrasi yang lebih rendah. Teknologi ini membuka pintu untuk aplikasi FTIR yang lebih sensitif dan akurat, terutama dalam konteks analisis senyawa obat dengan konsentrasi rendah (Barra et al., 2021).

Integrasi FTIR dengan teknik analisis lainnya, seperti chromatography dan mass spectrometry, juga menjadi tren penting dalam penelitian terkini. Kombinasi teknik ini memberikan keunggulan tambahan dalam pemahaman dan karakterisasi senyawa obat secara holistik. Hasil dari analisis gabungan ini akan memberikan informasi hingga lengkap dan mendalam tentang sifat-sifat senyawa obat yang kompleks (Clarke et al., 2017).

Implikasi dalam Pengembangan Obat dan Industri Farmasi

Pemahaman mendalam tentang kemampuan FTIR dalam analisis dan karakterisasi senyawa obat memiliki implikasi yang signifikan dalam pengembangan obat dan industri farmasi. Kemampuan FTIR dalam memberikan informasi tentang identifikasi, karakterisasi struktur molekuler, dan pengukuran kualitas obat menjadi kunci dalam proses penelitian dan produksi obat.

Dalam pengembangan obat, FTIR memberikan dukungan yang penting dalam fase identifikasi senyawa obat potensial. Identifikasi yang cepat dan akurat mempercepat proses penemuan obat dan memungkinkan peneliti untuk fokus pada kandidat-kandidat obat yang paling menjanjikan. Seiring dengan itu, karakterisasi struktur molekuler dengan FTIR menjadi instrumen penting dalam pengoptimalan formulasi dan pemahaman sifat-sifat fisikokimia senyawa obat (Lin, 2021).

Penggunaan FTIR dalam industri farmasi juga mencakup kontrol kualitas yang ketat dan pengukuran kemurnian produk. Hal ini tidak hanya memastikan kepatuhan terhadap regulasi, tetapi juga menjaga kualitas dan efektivitas obat yang dihasilkan. Ketersediaan teknologi FTIR yang semakin canggih, seperti SEIRA, membawa harapan untuk meningkatkan sensitivitas dan akurasi dalam kontrol kualitas.

Tinjauan literatur ini menggambarkan pentingnya Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dalam analisis dan karakterisasi senyawa obat. Dengan kemampuannya dalam identifikasi senyawa, karakterisasi struktur molekuler, dan pengukuran kualitas obat, FTIR menjadi alat yang tak tergantikan dalam penelitian farmasi dan industri obat.

Meskipun demikian, batasan dan tantangan FTIR juga perlu dipertimbangkan dengan cermat. Pemahaman mendalam terhadap batasan ini memungkinkan peneliti dan ilmuwan farmasi untuk mengoptimalkan penggunaan FTIR dan meminimalkan potensi kesalahan.

Rekomendasi untuk penelitian mendatang termasuk terus melakukan pengembangan dalam metodologi FTIR, terutama dalam hal meningkatkan sensitivitas dan resolusi. Pemanfaatan teknologi terkini, seperti SEIRA, harus diteruskan untuk memperluas aplikasi FTIR dalam analisis senyawa obat dengan konsentrasi rendah.

Pentingnya kolaborasi antara peneliti FTIR dan ahli industri farmasi juga ditekankan. Hal ini dapat memastikan bahwa pengembangan FTIR selaras dengan kebutuhan industri dan bahwa teknologi ini dapat memberikan kontribusi maksimal dalam pengembangan obat yang inovatif dan berkualitas.

Dengan peningkatan terus-menerus dalam teknologi dan pemahaman kita tentang senyawa obat, FTIR akan tetap menjadi alat penting dalam penelitian dan pengembangan obat di masa depan. Melalui pengembangan yang berkelanjutan dan kolaborasi lintas disiplin, FTIR akan terus memberikan wawasan yang mendalam dan akurat tentang sifat-sifat molekuler senyawa obat, mendukung langkah-langkah kritis dalam penelitian dan pengembangan obat baru (Diarsa & Gupte, 2021).

KESIMPULAN

Dalam rangkaian tinjauan literatur ini, dapat disimpulkan bahwa Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) memiliki peranan sentral dalam analisis

dan karakterisasi senyawa obat. Kelebihan utama FTIR terletak pada kemampuannya untuk memberikan informasi yang luas dan mendalam tentang identifikasi senyawa, karakterisasi struktur molekuler, dan pengukuran kualitas obat. Penerapan teknologi ini dalam industri farmasi dan penelitian ilmiah telah membawa dampak positif dalam pengembangan obat dan kontrol kualitas produk farmasi.

FTIR menjadi alat andalan dalam identifikasi senyawa obat dengan sidik jari spektrum inframerah yang unik. Penerapan teknik ini mempercepat proses penelitian obat dengan memberikan kemampuan identifikasi yang cepat dan akurat terhadap senyawa-senyawa yang kompleks. Kesuksesan FTIR dalam mengidentifikasi senyawa antibiotik, analgesik, dan senyawa obat lainnya memberikan dukungan kuat untuk penggunaannya dalam tahap identifikasi senyawa obat potensial.

Pentingnya FTIR dalam karakterisasi struktur molekuler senyawa obat menjadi jelas melalui kemampuannya untuk menggambarkan ikatan kimia dan gugus fungsional. Analisis spektrum FTIR memberikan wawasan mendalam tentang struktur molekuler, yang sangat relevan dalam pengembangan formulasi obat yang inovatif dan efektif. Studi kasus pada polimer obat menunjukkan bahwa FTIR membantu dalam memahami interaksi antar molekul, memberikan dasar untuk pengembangan formulasi yang lebih canggih.

Dalam aspek pengukuran kualitas dan kemurnian obat, FTIR memberikan kontribusi yang signifikan. Penggunaan teknik ini dalam mendeteksi impuritas, mengontrol bahan baku, dan memastikan kemurnian produk farmasi memastikan bahwa standar keamanan dan kualitas terpenuhi. FTIR juga digunakan untuk pemantauan reaksi kimia selama produksi obat, memberikan pemahaman tentang perubahan struktural yang terjadi selama proses.

Meskipun FTIR memiliki kelebihan yang signifikan, ada beberapa batasan dan tantangan yang perlu diperhatikan. Sensitivitas terhadap pengotor, resolusi terbatas pada teknik ATR, dan kompleksitas interpretasi spektrum merupakan beberapa aspek yang perlu diperhatikan dengan cermat. Namun, dengan pemahaman yang mendalam dan pengembangan teknologi terkini seperti SEIRA, banyak batasan tersebut dapat diatasi.

Penting untuk terus mengembangkan metodologi FTIR agar tetap relevan dan efektif dalam menghadapi kompleksitas senyawa obat yang terus berkembang. Integrasi FTIR dengan teknik analisis lainnya dan pemanfaatan pendekatan multivariate memberikan potensi untuk meningkatkan akurasi dan sensitivitas analisis.

Dengan demikian, kesimpulan utama dari tinjauan literatur ini adalah bahwa FTIR merupakan alat yang tak tergantikan dalam dunia penelitian farmasi dan industri obat. Kemampuannya dalam identifikasi, karakterisasi, dan pengukuran kualitas senyawa obat menjadikannya instrumen kritis dalam pengembangan dan produksi obat. Dengan terus memahami dan mengatasi batasan serta terus mengembangkan teknologinya, FTIR akan tetap menjadi pilihan utama untuk analisis dan karakterisasi senyawa obat di masa depan. Melalui kerja sama antara peneliti, ilmuwan farmasi, dan industri, FTIR akan terus berkontribusi pada kemajuan ilmu farmasi dan penemuan obat yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mashhadani, E. S. M., & Al-Mashhadani, M. K. H. (2023). Utilization of *Chlorella vulgaris* after the Extraction Process in Wastewater Treatment as a Biosorption Material for Ciprofloxacin Removal. *Journal of Ecological Engineering*, 24(4), 1–15.
- Altharawi, A., Rahman, K. M., & Chan, K. L. A. (2019). Towards identifying the mode of action of drugs using live-cell FTIR spectroscopy. *The Analyst*, 144(8), 2725–2735. <https://doi.org/10.1039/C8AN02218F>
- Barra, A., Lazăr, O., Pantazi, A., Hortigüela, M. J., Otero-Irurueta, G., Enăchescu, M., & Ferreira, P. (2021). Joining caffeic acid and hydrothermal treatment to produce environmentally benign highly reduced graphene oxide. *Nanomaterials*, 11(3), 1–15.
- Berthomieu, C., & Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis Research*, 101(2–3), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>
- Clarke, C. B., John, J., Paul, P., Sakunthala, M., Udhaya, C. I., Paul, J. J. P., & Udhaya, C. I. (2017). Green synthesis of Manganese nanoparticles using the aqueous extract of *Ctenolepis garcini* (Burm. f.). *International Journal of Botany Studies*, 2(5), 71–75.
- De Luca, M., Ioele, G., Grande, F., Occhiuzzi, M. A., Chieffallo, M., Garofalo, A., & Ragno, G. (2023). Multivariate Curve Resolution Methodology Applied to the ATR-FTIR Data for Adulteration Assessment of Virgin Coconut Oil. *Molecules*, 28(12), 4661. <https://doi.org/10.3390/molecules28124661>
- Deng, G., Nagy, C., & Yu, P. (2023). Combined molecular spectroscopic techniques (SR-FTIR, XRF, ATR-FTIR) to study physiochemical and nutrient profiles of *Avena sativa* grain and nutrition and structure interactive association properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(25), 7225–7237. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2045470>
- Diarsa, M., & Gupte, A. (2021). Preparation, characterization and its potential applications in Isoniazid drug delivery of porous microcrystalline cellulose from banana pseudostem fibers. *3 Biotech*, 11(7).
- Fauziah, R., Risna, Djide, N., & Subehan. (2022). Karakterisasi Senyawa Dan Uji Aktivitas Antibakteri Dari Isolat Actinomycetes Rhizosfer Tanaman Teh (*Camellia sinensis* L.). *Majalah Farmasi Dan Farmakologi*, 26(2), 74–78.
- Gad, H., Ahmady, S., Shoer, M., & Azizi. (2013). Application of Chemometrics in Authentication of Herbal Medicines : a review. *Phytochem Anal*, 24(1), 1–24.
- Gao, Y., Aspnes, D. E., & Franzen, S. (2022). Classical Model of Surface Enhanced Infrared Absorption (SEIRA) Spectroscopy. *The Journal of Physical Chemistry A*, 126(2), 341–351. <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.1c08463>
- Guntarti, A., & Prativi, S. R. (2017). Aplikasi metode fourier transform infrared (FTIR) dikombinasikan dengan kemometrika untuk analisis daging tikus rumah (*Rattus diardi*) dalam bakso daging sapi. *Pharmaciana*, 7(2), 133–140.

Haaren, C. V., Bock, M. D., & Kazarian, S. G. (2023). Advances in ATR-FTIR Spectroscopic Imaging for the Analysis of Tablet Dissolution and Drug Release. *Molecules*, 28, 4705.

Hong, T., Yin, J., Nie, S., & Xie, M. (2021). Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective Author links open overlay panel. *Food Chemistry*, 10(12).

Kandori, H., & Mizutani, Y. (2022). *FTIR and Raman Spectroscopy of Rhodopsins* (pp. 207–228). https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2329-9_10

Kumar, S., & Krishnan, K. (2012). Cytotoxicity and antioxidant activity of 5-(2, 4- dimethyl benzyl) pyrrolidin-2-one extracted from marine *Streptomyces VITSVK5* spp. . *Saudi J Biol Sci*, 19, 81–86.

Lee, H., Kunz, A., Shim, W. J., & Walther, B. A. (2019). Microplastic contamination of table salts from Taiwan, including a global review. *Sci. Rep.*, 9, 10145.

Lin, S. Y. (2021). Current And Potential Applications Of Simultaneous DSC-FTIR Microspectroscopy For Pharmaceutical Analysis. *Journal of Food and Drug Analysis*, 29(2), 182–202.

Liu, C., Hu, M., Ma, D., Lei, J., & Xu, J. (2018). Photodynamic inactivation of antibiotic-resistant bacteria and biofilms by hematoporphyrin monomethyl ether. *Lasers Med. Sci.*, 31, 297–304.

Merriman, S., Chandra, D., Borowczak, M., Dhinojwala, A., & Benko, D. (2022). Simultaneous determination of additive concentration in rubber using ATR-FTIR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 281, 121614. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121614>

Nurfitriyana, Fithri, N., Fitria, & Yanuarti, R. (2022). Analisis Interaksi Kimia Fouruer Transform Infrared (FTIR) Tablet Gastroentif Ekstrak Daun Petai (parkua speciosa Hassk) Dengan Polimer HPMC-K4M Dan Kito san. *ISTA Online Technologi Journal*, 3(2), 27–33.

Pilling, M. J., Bassan, P., & Gardner, P. (2015). Comparison of transmission and transfectance mode FTIR imaging of biological tissue. *The Analyst*, 140(7), 2383–2392. <https://doi.org/10.1039/C4AN01975J>

Rafi, M., Anggundari, W., & Irawadil, T. (2016). Potensi Spektroskopi FT-IR-ATR Dan Kemometrik Untuk Membedakan Rambut Babi, Kambing dan Sapi. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(3), 230–234.

Rojas-Flores, S., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Gallozzo-Cardenas, M., Delfín-Narciso, D., & Díaz, F. (2022). Use of Pineapple Waste as Fuel in Microbial Fuel Cell for the Generation of Bioelectricity. *Molecules*, 27(21), 7389. <https://doi.org/10.3390/molecules27217389>

Rollando, Ongkowijoyo, G. N., Yoedistira, C. D., & Monica, E. (2023). Analisis Metil Paraben Dan Propil Paraben Pada Sediaan Kosmetik Menggunakan Spektrofotometer Derivatif Dan Kemometrik Multivariat. *Jurnal Ilmu Farmasi Dan Farmasi Klinik (JIFFK)*, 20(1), 10–19.

Santos, D., Correia, M., Mateus, M., Saraiva, J., Vicente, A., & Moldao. (2019). Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy as a Possible Rapid Tool to Evaluate Abiotic Stress Effects on Pineapple By-Product. *Applied Sciences*, 1(1), 2–11.

Sari, N., Fajri, M., & Anjas. (2018). Analisis Fitokimia Dan Gugus Fungsi Dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L)). *IJOB*, 2(1), 30–34.

Setiabudi, A., ardian, R., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI Press.

Silviyah, S., Widodo, C., & Masruroh. (2014). Penggunaan Metode FT-IR Untuk Mengidentifikasi Gugus Fungsi Pada Proses Pembaluran Penderita Mioma. *Physics Student Journal*, 1(1), 1–28.

Sosulin, I. S., & Feldman, V. I. (2022). Spectroscopy and radiation-induced chemistry of an atmospherically relevant CH₂F₂...H₂O complex: Evidence for the formation of CF₂...H₂O complex as revealed by FTIR matrix isolation and ab initio study. *Chemosphere*, 291, 132967. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132967>

Syarif, H. A., Saputra, D., & Fahmi, K. (2022). Analisis Penerapan Penggunaan Paving Block Geopolimer Abu Sawit Dengan Tambahan Ordinary Portland Cement (OPC) dan Portland Composite Cement (PCC) di Lahan Gambut yang Berbasis Eco-Green. *Artikel Ilmiah Aplikasi Teknologi*, 14(2), 144–151.

Wang, Y. Y., Li, J. Q., Liu, H. G., & Wang, Y. Z. (2019). Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) Combined with Chemometrics Methods for the Classification of Lingzhi Species. *Molecules*, 24.

Yang, X., Wei, X., Yu, K., Wan, C., Wang, Y., Huang, S., Sun, Q., & Huang, J. (2022). Identification of myocardial fibrosis by ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 264, 120238. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.120238>

Zabelin, A. A., Shkuropatova, V. A., Shkuropatov, A. Ya., & Shuvalov, V. A. (2015). Temperature dependence of light-induced absorbance changes associated with chlorophyll photooxidation in manganese-depleted core complexes of photosystem II. *Biochemistry (Moscow)*, 80(10), 1279–1287. <https://doi.org/10.1134/S0006297915100089>

Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A., Dennis, D. A., & Barrow, C. J. (2006). A Simple 96-Well Microplate Method for Estimation of Total Polyphenol Content in Seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 18(3–5), 445–450. <https://doi.org/10.1007/s10811-006-9048-4>