

Validation of an FTIR-ATR Method for Gabapentin Analysis in Capsules

Asri Ranti Nuraeni*, Reni Mulyani, Devi Indah Anwar

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi, Indonesia;

Article History

Received : August 08th, 2026Revised : September 19th, 2026Accepted : September 30th, 2026

*Corresponding Author: **Asri Ranti Nuraeni**, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi, Indonesia;
Email:
asrirantinuraeni01@ummi.ac.id

Abstract: Gabapentin analysis in capsule dosage forms requires an analytical procedure capable of providing reliable identification and quantitative performance with relatively simple sample preparation. This study aimed to evaluate the analytical characteristics of an attenuated total reflectance Fourier transform infrared (FTIR-ATR) procedure for gabapentin analysis in capsules. Gabapentin BPFI was prepared at concentrations of 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, and 1.2% using methanol extraction and analyzed directly by FTIR-ATR. Method performance was evaluated based on linearity, precision, accuracy, limit of detection (LOD), limit of quantitation (LOQ), and spectral similarity. The calibration curve produced the regression equation $y = 77.244x + 2.7113$ with an R^2 value of 0.9961, indicating a strong linear relationship over the tested concentration range. Precision at 1.0% concentration yielded a relative standard deviation (RSD) of 0.316%, while accuracy showed a mean recovery of 98.58%. The calculated LOD and LOQ were 0.0994% and 0.3013%, respectively. Spectral comparison between the capsule sample and gabapentin BPFI showed a similarity of 78.047%, with characteristic absorption patterns of gabapentin retained in the sample spectrum. These results indicate that the FTIR-ATR procedure demonstrated satisfactory linearity, repeatability, and recovery within the evaluated experimental conditions. However, further evaluation of specificity, independent sample preparation precision, and matrix-based recovery is required before the procedure can be considered fully validated for quantitative quality-control applications.

Keywords: Analytical validation; Capsule matrix; FTIR-ATR; Gabapentin; Spectral similarity.

Pendahuluan

Kontrol kualitas dalam industri farmasi merupakan aspek penting untuk menjamin mutu, keamanan, dan efektivitas sediaan obat yang beredar di masyarakat. Oleh karena itu, analisis bahan baku maupun produk jadi memerlukan metode analitik yang andal, efisien, dan sesuai dengan tujuan penggunaannya. *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) merupakan salah satu teknik spektroskopi yang banyak digunakan untuk identifikasi senyawa dan karakterisasi gugus fungsi dalam berbagai bahan farmasi (Jimmi, 2022). Selain untuk identifikasi, FT-IR juga telah dikembangkan untuk analisis kuantitatif karena mampu menghasilkan respons analitik dengan waktu pengukuran relatif singkat, preparasi sederhana, dan penggunaan bahan

kimia yang relatif rendah (Fahelalbom *et al.*, 2022).

Prinsip analisis FT-IR didasarkan pada interaksi radiasi inframerah dengan molekul yang menghasilkan vibrasi ikatan kimia pada bilangan gelombang tertentu. Pola absorpsi yang dihasilkan dapat memberikan informasi karakteristik suatu senyawa, termasuk pada daerah sidik jari (*fingerprint region*) yang dapat digunakan sebagai informasi pendukung identifikasi. Pada teknik FT-IR konvensional, analisis sampel padat umumnya dilakukan melalui preparasi pelet kalium bromida (KBr). Tahapan tersebut memerlukan proses penggerusan dan pengempaan sampel sehingga dapat meningkatkan waktu preparasi serta berpotensi menimbulkan variasi akibat homogenitas partikel, kondisi KBr, dan proses preparasi sampel.

Salah satu modifikasi FT-IR yang dapat mengurangi kompleksitas preparasi tersebut adalah *Attenuated Total Reflectance* (ATR). Teknik FTIR-ATR memanfaatkan fenomena *total internal reflection* pada kristal dengan indeks bias tinggi sehingga spektrum dapat diperoleh melalui kontak sampel dengan permukaan kristal ATR. Pendekatan ini memungkinkan analisis sampel dengan preparasi yang lebih sederhana dibandingkan metode pelet KBr. Keunggulan tersebut dapat meningkatkan efisiensi analisis dan mengurangi penggunaan bahan tambahan pada tahap preparasi (Fahelbom *et al.*, 2022). Namun, FTIR-ATR juga memiliki keterbatasan karena interaksi radiasi dengan sampel terutama terjadi pada lapisan permukaan yang relatif dangkal. Oleh sebab itu, homogenitas sampel, kualitas kontak antara sampel dan kristal ATR, serta kondisi akuisisi dan pengolahan spektrum dapat memengaruhi respons yang diperoleh.

Penggunaan FTIR-ATR untuk analisis farmasi telah dilaporkan pada berbagai jenis senyawa dan matriks. Wahyuningsih dan Dessidianti (2022) menunjukkan bahwa FTIR-ATR dapat digunakan untuk identifikasi bahan kimia obat melalui karakteristik gugus fungsi parasetamol pada daerah sidik jari. Pada analisis kuantitatif, Rahayu *et al.*, (2024) mengombinasikan FT-IR dengan pemodelan kemometrik *Partial Least Square* (PLS) untuk menetapkan kadar deksametason dan metamizol secara simultan, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0,999 dan 0,998. Hasil tersebut menunjukkan bahwa data spektral FT-IR dapat dimanfaatkan untuk analisis kuantitatif apabila didukung oleh prosedur analitik dan pemodelan yang sesuai.

Penerapan FTIR-ATR pada analisis kuantitatif juga dilaporkan oleh Isnaini (2024) dalam penetapan kadar senyawa pada sampel padat, dengan linearitas sebesar $R^2 = 0,9978$, LOD sebesar 0,29%, dan *recovery* sebesar 100,3%. Penelitian Rahmasari dan Alfarizi (2023) juga melaporkan penerapan FTIR-ATR pada penetapan kadar sefadroksil. Sementara itu, Winingsih *et al.* (2016) menggunakan FTIR-ATR dengan kristal ZnSe untuk penetapan kadar kuersetin dan memperoleh *recovery* sebesar 100–102% dengan *Relative Standard Deviation* (RSD) sebesar 1,72%. Berbagai penelitian tersebut menunjukkan potensi FTIR-ATR untuk identifikasi maupun analisis kuantitatif, tetapi kinerja metode tetap perlu dievaluasi berdasarkan karakteristik analitik yang sesuai dengan tujuan penggunaannya dan matriks yang dianalisis.

Gabapentin merupakan obat antikonvulsan yang digunakan dalam penanganan epilepsi dan nyeri neuropatik. Senyawa ini merupakan analog siklik dari *gamma-aminobutyric acid* (GABA) dengan karakteristik struktur yang memungkinkan terjadinya perubahan bentuk selama kondisi tertentu. Monografi gabapentin dalam Farmakope Indonesia menetapkan spektroskopi inframerah sebagai salah satu metode identifikasi, dengan perbandingan terhadap baku pembanding yang sesuai. Penelitian Hsu *et al.*, (2010) menunjukkan bahwa gabapentin dapat mengalami transformasi polimorfik dan pembentukan gabapentin laktam melalui perubahan struktur selama kondisi tertentu. Karakteristik tersebut menunjukkan pentingnya pengendalian kondisi analisis dan evaluasi spektral dalam karakterisasi gabapentin.

Meskipun penerapan FTIR-ATR telah dilaporkan pada berbagai senyawa farmasi, penelitian mengenai penerapannya secara khusus untuk evaluasi karakteristik analitik gabapentin dalam matriks sediaan kapsul masih terbatas. Analisis sediaan kapsul juga memiliki tantangan karena respons FTIR tidak hanya berasal dari zat aktif, tetapi dapat dipengaruhi oleh eksipien yang terdapat dalam matriks sediaan. Dengan demikian, kesesuaian spektrum gabapentin dengan baku pembanding tidak secara langsung membuktikan bahwa prosedur tersebut memiliki selektivitas kuantitatif yang memadai. Evaluasi terhadap linearitas, presisi, akurasi, LOD, dan LOQ diperlukan untuk memperoleh gambaran awal mengenai kinerja prosedur, sedangkan aspek seperti presisi dari preparasi independen, *matrix-based recovery*, dan selektivitas perlu dipertimbangkan secara khusus apabila prosedur akan dikembangkan sebagai metode penetapan kadar kuantitatif.

Berdasarkan kondisi tersebut, *research gap* penelitian ini terletak pada masih terbatasnya evaluasi karakteristik analitik FTIR-ATR untuk analisis gabapentin pada matriks sediaan kapsul setelah tahap ekstraksi dan preparasi sampel. Oleh karena itu, kebaruan penelitian tidak terletak pada penggunaan FTIR-ATR untuk identifikasi gabapentin, tetapi pada evaluasi awal karakteristik analitik prosedur FTIR-ATR yang diterapkan pada sediaan kapsul. Pendekatan ini penting untuk menilai sejauh mana respons spektral yang diperoleh dapat mendukung pengembangan prosedur analitik untuk tujuan kuantitatif.

Validasi metode analisis pada prinsipnya dilakukan untuk menunjukkan bahwa suatu prosedur analitik sesuai dengan tujuan penggunaannya (*fit for intended purpose*). ICH

Q2(R2) menempatkan karakteristik seperti spesifisitas atau selektivitas, akurasi, presisi, dan rentang sebagai bagian dari evaluasi kinerja prosedur analitik, sedangkan ICH Q14 menekankan pengembangan prosedur berdasarkan pemahaman ilmiah terhadap faktor yang dapat memengaruhi kinerja metode. Dengan demikian, hasil pengujian karakteristik analitik perlu diinterpretasikan sesuai dengan cakupan desain penelitian dan tidak digunakan untuk menyatakan validasi penuh apabila parameter yang diperlukan belum dievaluasi secara komprehensif.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik analitik prosedur FTIR-ATR untuk analisis gabapentin dalam sediaan kapsul melalui pengujian linearitas, presisi, akurasi, batas deteksi (*Limit of Detection*/LOD), dan batas kuantitasi (*Limit of Quantitation*/LOQ), serta mengevaluasi kesesuaian spektral gabapentin baku pembanding dan sampel kapsul. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai kinerja prosedur FTIR-ATR dan menjadi dasar untuk pengembangan serta validasi lebih lanjut sebelum digunakan sebagai prosedur penetapan kadar kuantitatif gabapentin dalam sediaan kapsul.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama tujuh bulan, Januari–Juli 2026, di laboratorium kimia suatu perusahaan farmasi di Sukabumi, Jawa Barat. Analisis dilakukan menggunakan spektrofotometer FTIR-ATR yang tersedia di laboratorium tersebut. Untuk menjaga keterlacakan dan reproduktibilitas metode, informasi mengenai jenis laboratorium, sistem mutu yang diterapkan, serta spesifikasi instrumen yang relevan dicantumkan sejauh tidak bertentangan dengan ketentuan kerahasiaan institusi.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi neraca analitik (Shimadzu AP225WD), gelas ukur 100 mL, gelas kimia 100 mL, batang pengaduk, spektrofotometer FTIR-ATR (Agilent Cary 630), vortex (Heidolph), *water bath* (Memmert), oven (Memmert), sentrifus (Hermle Z206A), dan cawan porselen. Bahan yang digunakan terdiri atas sediaan kapsul gabapentin, baku pembanding gabapentin BPFI (Baku Pembanding Farmakope Indonesia), metanol 99,99% (CH_3OH) p.a., etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), dan tisu bebas serat.

Prosedur Penelitian

Identifikasi Gabapentin BPFI secara FTIR-ATR

Preparasi Alat

Sebelum digunakan, permukaan kristal berlian pada instrumen FTIR-ATR dibersihkan menggunakan tisu bebas serat yang telah dibasahi etanol, termasuk bagian *pressure tip*, untuk menghilangkan residu dan kontaminan dari pengukuran sebelumnya. Selanjutnya, spektrum latar belakang (*background*) direkam untuk memastikan kondisi instrumen layak digunakan. *Background* yang memenuhi kriteria ditandai dengan pola spektrum yang relatif tidak beraturan dan nilai transmittansi yang mendekati 100%.

Identifikasi Standar Gabapentin BPFI

Pressure arm pada instrumen dibuka sehingga permukaan penekan terangkat dari kristal berlian. Gabapentin BPFI kemudian diletakkan pada permukaan kristal berlian hingga area kristal tertutup secara merata. *Pressure arm* diturunkan dan diputar hingga terdengar bunyi *klik* sebagai tanda bahwa penekan telah terkunci. Spektrum gabapentin BPFI direkam menggunakan FTIR-ATR (Agilent Cary 630) melalui perangkat lunak instrumen. Spektrum yang diperoleh kemudian disimpan ke dalam *library* instrumen melalui menu *Data Handling* dan *Add to Library* dengan label “Gabapentin BPFI”. Spektrum tersebut digunakan sebagai spektrum pembanding untuk identifikasi sampel.

Validasi Metode Analisis

Penentuan Linearitas

Linearitas ditentukan menggunakan lima tingkat konsentrasi gabapentin BPFI, yaitu 0,4%; 0,6%; 0,8%; 1,0%; dan 1,2%. Standar gabapentin BPFI ditimbang secara saksama masing-masing sebanyak 40, 60, 80, 100, dan 120 mg, kemudian dimasukkan ke dalam lima tabung sentrifugasi yang berbeda. Masing-masing standar ditambahkan 10 mL metanol dan dihomogenkan menggunakan vortex selama 10 menit. Selanjutnya, larutan disentrifugasi pada kecepatan 2.500 rpm selama 20 menit. Supernatan yang diperoleh dipisahkan dan diuapkan menggunakan *water bath* pada suhu 100°C selama 4 jam. Residu kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama ± 5 menit hingga diperoleh serbuk kering.

Masing-masing konsentrasi standar diletakkan secara langsung pada permukaan kristal berlian ATR hingga permukaan kristal tertutup secara merata. Spektrum masing-masing konsentrasi direkam sebanyak satu kali pengukuran. Data respons instrumen selanjutnya

dianalisis menggunakan persamaan regresi linear $y = a + bx$ untuk memperoleh kurva kalibrasi. Linearitas dinyatakan memenuhi kriteria apabila diperoleh nilai koefisien korelasi (r) $\geq 0,990$ (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020).

Penentuan Presisi dan Akurasi

Sebanyak 100 mg gabapentin BPFI ditimbang secara saksama dan dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi. Selanjutnya, ditambahkan 10 mL metanol, kemudian campuran dihomogenkan menggunakan vorteks selama 10 menit dan disentrifugasi pada kecepatan 2.500 rpm selama 20 menit. Supernatan dipisahkan dan diuapkan menggunakan *water bath* pada suhu 100°C selama 4 jam, kemudian residu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama ± 5 menit hingga diperoleh serbuk.

Serbuk gabapentin diletakkan pada permukaan kristal berlian ATR secara merata, kemudian *pressure arm* diturunkan dan dikunci. Spektrum sampel direkam dengan FTIR-ATR. Pengukuran dilakukan sebanyak enam kali replikasi.

Data respons dari enam replikasi dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear $y = a + bx$ yang diperoleh dari pengujian linearitas untuk menentukan konsentrasi terukur. Presisi dan akurasi dihitung berdasarkan hasil keenam pengukuran.

Presisi ditentukan berdasarkan nilai *Relative Standard Deviation* (%RSD) dari enam hasil pengukuran. Metode dinyatakan memenuhi kriteria presisi apabila nilai %RSD $\leq 2,0\%$ (ICH, 2023).

Akurasi ditentukan berdasarkan persentase *recovery*, yaitu perbandingan antara konsentrasi rata-rata hasil pengukuran dengan konsentrasi sebenarnya. Kriteria keberterimaan akurasi ditetapkan pada rentang *recovery* 98,0–102,0% (ICH, 2023).

Uji LOD dan LOQ

Nilai *Limit of Detection* (LOD) dan *Limit of Quantitation* (LOQ) ditentukan berdasarkan simpangan baku respons dan kemiringan (*slope*) kurva kalibrasi yang diperoleh dari pengujian linearitas. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

$$\text{LOD} = 3,3 \left(\frac{SD}{S} \right), \quad \text{LOQ} = 10 \left(\frac{SD}{S} \right),$$

Keterangan :

SD = Standar deviasi residual dan kurva kalibrasi

S = Slope dari kurva kalibrasi

Analaisis Sampel Sediaan Gabapentin Kapsul

Sebanyak 10 kapsul gabapentin dibuka dan seluruh isi kapsul ditimbang hingga diperoleh bobot total 1,58 g. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi dan ditambahkan 10 mL metanol 99,99%. Campuran dihomogenkan menggunakan vorteks selama 10 menit, kemudian disentrifugasi pada kecepatan 2.500 rpm selama 20 menit. Supernatan dipisahkan dan diuapkan menggunakan *water bath* pada suhu 100°C selama 4 jam. Residu selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama ± 5 menit hingga diperoleh serbuk.

Serbuk sampel kemudian dianalisis menggunakan FTIR-ATR dengan prosedur pengukuran yang sama seperti pada identifikasi gabapentin BPFI. Spektrum sampel dibandingkan dengan spektrum gabapentin BPFI yang telah disimpan dalam *library* untuk memastikan kesesuaian karakteristik spektrum gabapentin (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020).

Hasil dan Pembahasan

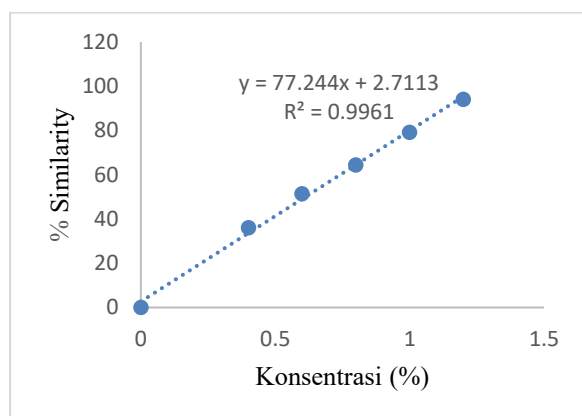
Validasi Metode Analisis

Validasi metode menurut *International Council for Harmonisation* (ICH) merupakan proses pembuktian dengan uji laboratorium bahwa suatu metode pengukuran atau analisis sudah sesuai dan dapat diandalkan untuk tujuan penggunaannya. Dalam konteks analisis sediaan gabapentin kapsul berbasis spektroskopi *Fourier Transform Infrared with Attenuated Total Reflectance* (FTIR-ATR), penerapan pedoman ICH menjadi landasan utama untuk memastikan bahwa penyimpangan operasional maupun efek matriks sampel dapat diminimalkan, sehingga data yang dihasilkan memenuhi standar mutu farmasi. Pembuktian keandalan metode analitik ini dievaluasi secara terukur melalui serangkaian parameter utama sesuai panduan ICH Q2 (R2), yang meliputi:

Linearitas

Pengujian linearitas dilakukan untuk menilai kemampuan metode analisis FTIR-ATR dalam menghasilkan respons instrumen yang berbanding lurus secara proporsional terhadap variasi konsentrasi analit dalam sampel pada kisaran rentang tertentu (Rahmasari dan Alfarizi 2023). Penelitian ini, respons linier dievaluasi

dengan mengukur nilai % *Similarity* terhadap deret konsentrasi standar gabapentin pada rentang 0.4% – 1.2%. Hasil kurva kalibrasi disajikan pada Gambar 4.



Gambar 1. Hasil uji linearitas

Berdasarkan kurva kalibrasi yang dihasilkan pada Gambar 4, metode FTIR-ATR memberikan korelasi linier yang sangat baik antara konsentrasi gabapentin (%) dan respons % *Similarity*. Hubungan tersebut ditunjukkan oleh persamaan garis regresi linier:

$$y = 77.244x + 2.7113$$

Perolehan nilai R^2 sebesar 0.9961 telah memenuhi kriteria keberterimaan validasi metode analitik menurut panduan ICH Q2(R2) yang menetapkan batas R^2 0.990. Nilai koefisien determinasi yang mendekati angka satu ini mengonfirmasi bahwa sebesar 99.61% variasi pada nilai respons % *Similarity* murni dipengaruhi oleh variasi konsentrasi gabapentin dalam sediaan, sedangkan 0.39% sisanya merupakan kontribusi dari faktor galat acak (*random error*) atau variabilitas instrumen (Isnaini dan Suhandy, 2021). Nilai kemiringan (*slope*) sebesar 77.244 mencerminkan sensitivitas respons instrumen yang tinggi terhadap perubahan konsentrasi analit. Sementara itu, nilai intersep sebesar 2.7113 menggambarkan besarnya respons latar belakang (*background signal*) ketika konsentrasi analit berada pada titik mendekati nol.

Nilai R^2 gabapentin (0.9961) berada dalam rentang keberterimaan yang sebanding dengan sebagian besar studi pada Tabel 1 Bab II. Dibandingkan dengan metode FTIR berbasis pelarut transmisi seperti pada tablet parasetamol mendapatkan nilai $r = 0.9947$ (Saragih *et al.* 2024) dan pada simetikon dalam suspensi yaitu nilai $r = 0.997$ (Musfiroh *et al.*, 2019). Hasil penelitian ini relatif setara hingga sedikit lebih baik, menunjukkan bahwa preparasi ekstraksi analit

gabapentin dari matriks kapsul tidak menurunkan kualitas hubungan linier secara berarti. Namun demikian, nilai ini masih berada di bawah performa FTIR-ATR pada senyawa sintetik murni dengan matriks sederhana, seperti pada sirup kering cefadroxil mendapatkan nilai $r = 0.999$ (Rahmasari dan Alfarizi 2023), pada injeksi natrium seftriakson $R^2 = 0.9992$ (Azhar *et al.* 2019), dan pada tablet ibuprofen dengan nilai $r = 0.99999$ yang menggunakan FTIR transmisi dengan pelarut metanol (Zuhairiah *et al.* 2020)

Linearitas penelitian ini jauh lebih unggul dibandingkan yang menggunakan FTIR-ATR kristal ZnSe pada kuersetin dalam matriks teh hitam $r = 0.93$ dinyatakan belum memenuhi syarat (Winingsih *et al.* 2016), yang mengindikasikan bahwa kompleksitas matriks bahan alam (herbal) jauh lebih mengganggu hubungan linier dibandingkan matriks eksipien sediaan kapsul sintetik seperti gabapentin. Perbandingan ini menegaskan bahwa jenis matriks sampel dan instrumen (FTIR-ATR dengan FT-IR transmisi) memengaruhi hasil linearitas, di luar faktor karakteristik analit.

Keberhasilan linearitas yang diperoleh pada penelitian ini secara teoretis bertumpu pada tiga faktor utama. Pertama, hubungan proporsional antara respons instrumen dan konsentrasi analit pada dasarnya mengikuti kaidah Hukum Beer-Lambert ($A = \epsilon \cdot b \cdot c$), yang menyatakan bahwa besaran serapan radiasi inframerah berbanding lurus dengan konsentrasi analit selama panjang lintasan optik (*pathlength*) dan absorptivitas molar bersifat konstan (Skoog *et al.* 2018). Luaran instrumen pada penelitian ini berupa nilai % *Similarity* dari algoritma pencocokan spektral dan bukan absorbansi mutlak, nilai tersebut tetap merupakan turunan langsung dari intensitas pita serapan karakteristik gabapentin, sehingga proporsionalitasnya terhadap konsentrasi tetap mengikuti prinsip dasar tersebut.

Kedua, teknik ATR secara *inheren* memberikan konsistensi panjang lintasan optik efektif melalui kedalaman penetrasi gelombang evanescent (*depth of penetration, dp*) yang ditentukan oleh indeks bias kristal, sudut datang radiasi, dan panjang gelombang bukan oleh ketebalan sampel di atas nilai kritis tertentu (Mirabella 1993). Dengan demikian, selama kontak antara permukaan sampel dan kristal ATR konsisten, variasi *pathlength* efektif antar pengukuran dapat ditekan, berbeda dengan teknik transmisi pelet KBr yang *pathlength* nya sangat bergantung pada keseragaman ketebalan dan kepadatan pelet. Ketiga, pemilihan rentang konsentrasi kerja yang relatif sempit (0.4–1.2%)

dengan lima titik kalibrasi yang terdistribusi merata turut menekan penyimpangan non-linear akibat efek kejenuhan detektor maupun *self-absorption* pada konsentrasi tinggi, sebagaimana direkomendasikan ICH (2023) bahwa rentang kalibrasi yang proporsional dan tidak terlalu lebar akan menghasilkan model regresi dengan kesalahan acak minimal.

Presisi dan Akurasi

Presisi menunjukkan derajat kesesuaian dan keterulangan hasil pengujian ketika suatu metode analisis diterapkan secara berulang pada

sampel homogen dalam kondisi operasional yang sama, dinyatakan sebagai nilai Simpangan Baku Relatif (RSD) (Sri Rahayu *et al.* 2024) Pengujian keterulangan (*repeatability*) dilakukan dengan mengukur konsentrasi standar gabapentin pada tingkat konsentrasi 1.0% sebanyak enam kali pengulangan. Berdasarkan data pengujian pada Tabel 1, diperoleh nilai %RSD sebesar 0.316%. Hasil ini membuktikan bahwa metode analisis yang dikembangkan memiliki tingkat presisi yang sangat baik karena berada di bawah batas maksimum kriteria keberterimaan yang ditetapkan oleh pedoman ICH Q2(R2) yaitu $\%RSD \leq 2.0\%$ (Rahmasari dan Alfarizi 2023).

Tabel 1. Hasil uji presisi

Ulangan ke-	% Konsentrasi Standar	% <i>Similarity</i> (y)	% Konsentrasi Terukur (x)	Simpangan Baku Relatif (%RSD)
1	1.0 %	78.851	0.9857	0.316
2		79.002	0.9875	
3		78.855	0.9857	
4		78.535	0.9816	
5		78.677	0.9834	
6		79.222	0.9905	
Rata-rata		78.857	0.9857	

Dibandingkan dengan Tabel 1 Bab II, nilai presisi ini secara konsisten lebih baik daripada studi FTIR-ATR pada matriks yang lebih kompleks, seperti pada injeksi natrium seftriakson RSD 1.61% (Azhar *et al.* 2019), kuersetin RSD 1.72% (Winingsih *et al.* 2016), pada simetikon RSD 1.71–1.82% (Musfiroh *et al.* 2019), dan pada kafein dalam teh hijau menggunakan FTIR-ATR RSD 2.8369% yang merupakan nilai presisi terendah pada rekapitulasi tersebut (Isnaini 2024). Sebaliknya, dibandingkan studi FTIR transmisi berbasis pelarut metanol pada larutan baku tunggal seperti pada kapsul kloramfenikol RSD 0.005% (Ronauli 2021), pada tablet parasetamol RSD 0.03% (Jenny J 2021), dan pada tablet metronidazol RSD 0.07% (Jimmi, 2022), nilai RSD penelitian ini yaitu 0.316% relatif lebih besar.

Perbedaan teknik ATR sangat bergantung pada reproduksibilitas kontak fisik antara kristal dan permukaan sampel pada setiap ulangan pengukuran, berbeda dengan pengukuran larutan homogen dalam kuvet transmisi yang variabilitas kontakannya jauh lebih kecil. Dengan demikian, nilai presisi 0.316% tetap tergolong sangat baik khususnya untuk kategori instrumen FTIR-ATR. Tingkat presisi yang sangat baik tersebut dapat dijelaskan melalui beberapa faktor instrumental dan prosedural yang saling mendukung. Pertama, sistem FT-IR modern menerapkan teknik penjumlahan sinyal (*signal co-addition*) dari

puluhan hingga ratusan pemindaian (*scan*) pada setiap pengukuran, yang secara matematis menurunkan derajat derau (*noise*) acak berbanding terbalik dengan akar kuadrat jumlah scan ($S/N \propto \sqrt{n}$), sehingga meningkatkan reproduksibilitas sinyal pada setiap replikasi pengukuran (Skoog *et al.*, 2018).

Kedua, aksesori ATR yang dilengkapi sistem penekan (*pressure applicator*) memastikan tekanan dan luas kontak antara sampel dan permukaan kristal relatif seragam pada setiap ulangan, sehingga variabilitas akibat perbedaan kontak permukaan yang menjadi sumber utama galat acak pada pengukuran ATR (Fahelbom *et al.* 2022) dapat ditekan dibandingkan preparasi manual pelet KBr yang sangat bergantung pada keterampilan operator dalam menggerus dan mengempa sampel.

Ketiga, pengujian keterulangan dilakukan pada kondisi intraday dengan operator, instrumen, dan lingkungan pengukuran yang sama, sehingga variabel perancu eksternal seperti fluktuasi suhu dan kelembapan ruang dapat dikendalikan (Kemenkes, 2020). Kombinasi ketiga faktor tersebut menjelaskan mengapa nilai RSD yang berada di bawah batas keberterimaan 2%.

Akurasi menggambarkan kedekatan antara nilai hasil analisis terukur dengan nilai teoretis sebenarnya, dinyatakan sebagai persentase perolehan kembali (*%recovery*). Konversi

respons dilakukan dengan memasukkan nilai rata-rata % *Similarity* ($y = 78.857\%$) ke dalam persamaan regresi linier hasil uji linearitas ($y = 77.244x + 2.7113$), menghasilkan konsentrasi terukur rata-rata sebesar 0.98578%. Dibandingkan terhadap konsentrasi teoritis (1.0%) diperoleh *recovery* sebesar 98.58%, yang memenuhi rentang keberterimaan (90%–102.0%).

Nilai akurasi pada penelitian ini berada di batas bawah rentang 98-102%. Dibandingkan dengan studi individual pada Tabel 1, capaian *recovery* gabapentin (98.58%) juga sejalan pada ibuprofen 100.00% (Zuhairiah *et al.* 2020), pada metronidazol 100.9% (Jimmi 2022), pada cefadroxil 97.0–105.5% (Rahmasari dan Alfarizi 2023), pada kuersetin 100–102% (Winingsih *et al.* 2016), pada simetikon dalam suspensi dengan % *recovery* 89.15–95.69% yang menggunakan tahap ekstraksi toluen-HCl untuk memisahkan analit dari matriks (Musfiroh *et al.* 2019), serupa secara prinsip dengan tahap ekstraksi metanol yang diterapkan pada penelitian ini untuk memisahkan gabapentin dari eksipien kapsul. %*Recovery* penelitian ini (98.58%) jauh lebih tinggi dan lebih mendekati nilai ideal dibandingkan (Musfiroh *et al.*, 2019), mengindikasikan bahwa efisiensi ekstraksi metanol pada gabapentin lebih baik dan kehilangan analit selama preparasi relatif minimal, sehingga metode FTIR-ATR yang dikembangkan terbukti selektif dan tidak signifikan terpengaruh oleh matrix effect eksipien sediaan kapsul.

Perolehan nilai akurasi yang memenuhi syarat tersebut secara teoretis dijelaskan melalui dua mekanisme utama yang saling melengkapi. Pertama, selektivitas pelarut ekstraksi berperan penting: metanol sebagai pelarut polar protik dengan konstanta dielektrik tinggi ($\epsilon = 33.0$) secara efektif memutus ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatik pada kisi kristal zwitterion gabapentin, sehingga melarutkan analit secara selektif tanpa turut melarutkan eksipien nonpolar atau semipolar seperti magnesium stearat maupun laktosa yang lazim digunakan sebagai bahan pengisi kapsul.

Kedua, pita serapan yang dijadikan dasar kuantifikasi yaitu vibrasi karboksilat pada 1615 cm^{-1} dan 1545 cm^{-1} serta amina terprotonasi berada pada daerah bilangan gelombang yang relatif bebas dari tumpang tindih pita serapan gugus fungsi eksipien umum, sehingga meminimalkan bias positif akibat interferensi spektral matriks (Rohman *et al.* 2014). Kombinasi efisiensi ekstraksi yang tinggi dan spesifisitas pita serapan tersebut secara bersama-sama

menjelaskan mengapa nilai *recovery* penelitian ini mendekati 100% dan konsisten dengan kriteria keberterimaan ICH Q2(R2), sekaligus mengonfirmasi bahwa metode terbebas dari kesalahan sistematik (*systematic error*).

LOD dan LOQ

Parameter Batas Deteksi (LOD) dan Batas Kuantitasi (LOQ) dievaluasi untuk menilai tingkat sensitivitas metode FTIR-ATR yang dikembangkan, dihitung berdasarkan simpangan baku residual (σ) dan kemiringan garis regresi (b) sesuai ICH Q2(R2). Berdasarkan nilai simpangan baku residual sebesar 2.3281 dan kemiringan garis regresi sebesar 77.244, diperoleh nilai LOD sebesar 0.0994% dan LOQ sebesar 0.3013%. Nilai LOQ ini berada di bawah konsentrasi standar terendah pada kurva kalibrasi (0.4%), membuktikan bahwa seluruh rentang konsentrasi analisis (0.4%–1.2%) berada di atas batas kuantifikasi metode sehingga layak diaplikasikan untuk pengujian kadar sediaan rutin.

Perbandingan nilai LOD/LOQ antar penelitian pada Tabel 1 Bab II dilihat berdasarkan satuan hasil (mg/mL, $\mu\text{g/mL}$, ppm, maupun %) yang bergantung pada konsentrasi sampel masing-masing penelitian. Di antara penelitian yang melaporkan LOD dalam satuan persen, pada kafein dalam teh hijau menggunakan FTIR-ATR melaporkan LOD sebesar 0.29% (Isnaini, 2024), nilai yang jauh lebih tinggi (kurang sensitif) dibandingkan LOD gabapentin pada penelitian ini (0.0994%). Hal ini mengindikasikan bahwa pita serapan gugus fungsi gabapentin (vibrasi karboksilat dan amina terprotonasi) memiliki absorptivitas yang lebih kuat pada instrumen FTIR-ATR dibandingkan pita serapan kafein, sehingga menghasilkan sensitivitas deteksi yang lebih baik.

Secara umum, karakteristik hasil bahwa sensitivitas aksesori ATR dipengaruhi langsung oleh efisiensi transmisi energi kristal sekitar 70% (Azhar *et al.*, 2019). Karakteristik sensitivitas makro-persentase ini juga sejalan dengan orde besaran LOD pada cefadroxil yaitu 469.72 $\mu\text{g/mL}$, setara skala sub-persen (Rahmasari dan Alfarizi 2023) dan pada simetikon 378.97 ppm (Musfiroh *et al.*, 2019), yang keseluruhannya menegaskan bahwa metode FTIR/FTIR-ATR memang secara inheren beroperasi pada level sensitivitas mayor. sensitivitas metode yang tercermin dari nilai LOD dan LOQ yang relatif rendah tersebut secara teoretis dapat dijelaskan melalui hubungan matematis $\text{LOD} = 3.3(\sigma/b)$ dan $\text{LOQ} = 10(\sigma/b)$, di mana nilai LOD dan LOQ berbanding terbalik dengan kemiringan (slope, b)

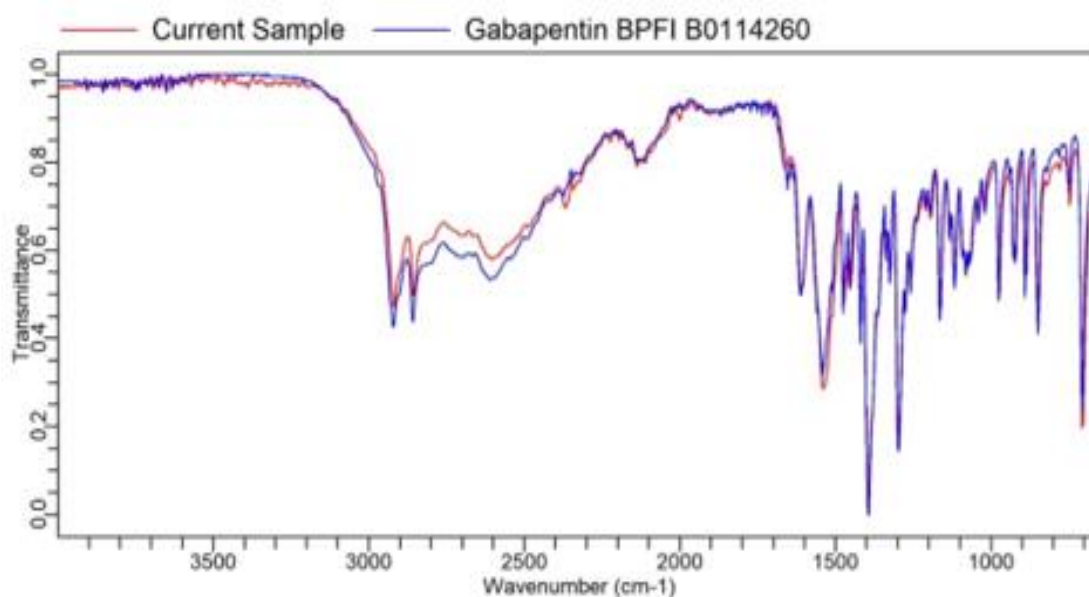
kurva kalibrasi (Ermer dan Miller 2005; Kemenkes, 2020).

Nilai slope yang tinggi pada penelitian ini ($b = 77.244$) menunjukkan sensitivitas respons instrumen yang besar terhadap perubahan konsentrasi analit yang kecil, sehingga menghasilkan nilai LOD/LOQ simpangan baku residual ($\sigma = 2.3281$). Besarnya nilai slope tersebut pada gilirannya berkaitan erat dengan tingginya absorptivitas molar (ϵ) gugus fungsi diagnostik gabapentin, khususnya vibrasi ulur asimetris gugus karboksilat (COO^-) pada 1615 cm^{-1} yang secara inheren merupakan salah satu pita serapan inframerah paling intens pada senyawa asam karboksilat maupun bentuk karboksilat terionisasi (Pavia *et al.* 2014)

Faktor inilah yang turut menjelaskan mengapa sensitivitas deteksi gabapentin pada penelitian ini lebih baik dibandingkan Isnaini (2024) pada kafein, mengingat pita serapan cincin purin kafein cenderung memiliki intensitas relatif lebih lemah serta tumpang tindih dengan pita $\text{C}=\text{O}$ dan $\text{C}=\text{N}$ pada rentang bilangan gelombang yang berdekatan, sehingga menurunkan sensitivitas efektif kuantifikasinya

Hasil Identifikasi Standar Gabapentin BPFI dengan FTIR-ATR

Pengembangan dan validasi metode analisis diawali dengan karakterisasi spektrum inframerah Baku Pembanding Farmakope Indonesia (BPFI) gabapentin serta perbandingannya terhadap sampel uji (*Current Sample*). Pemindaian dilakukan secara langsung menggunakan aksesori *Attenuated Total Reflectance* (ATR) pada rentang bilangan gelombang $4000\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ dengan parameter respons transmisi (*Transmittance*). Pemindaian ini bertujuan untuk memastikan identitas kualitatif serta mengonfirmasi profil pita serapan spesifik dari gugus fungsi gabapentin murni (Gambar 5). Pendekatan identifikasi berbasis penumpukan (*overlapping*) profil spektrum fingerprint ini sejalan dengan metode kualitatif yang diterapkan dalam mengidentifikasi bahan kimia obat parasetamol pada daerah sidik jari $650\text{--}2000\text{ cm}^{-1}$ menggunakan FTIR-ATR, yang juga mengandalkan kemiripan pola pita serapan sebagai dasar konfirmasi identitas senyawa (Wahyuningsih dan Dessidianti, 2022).



Gambar 1. Hasil Spektrum Gabapentin BPFI

Hasil penumpukan (*overlapping*) spektrum pada Gambar 5 menunjukkan pola pita serapan yang saling berimpit secara identik antara Gabapentin BPFI (garis biru) dan sampel uji (garis merah). Konfirmasi gugus fungsi spesifik gabapentin ditunjukkan oleh beberapa puncak absorpsi seperti vibrasi Regangan -NH_3^+ dan C-H Alifatik ($3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$) berupa puncak serapan ganda (*doublet*) pada kisaran 2930 cm^{-1} dan 2860 cm^{-1} . Puncak ini merupakan serapan

khas dari vibrasi regangan asimetris dan simetris ikatan C-H pada cincin alifatik sikloheksana yang berdampingan dengan gugus amina terprotonasi -NH_3^+ . Selanjutnya, vibrasi tekuk Amina dan regangan karboksilat $1650\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ Pita serapan karboksilat (1615 cm^{-1} dan 1545 cm^{-1}) puncak serapan yang tajam dan kuat pada daerah ini mengonfirmasi vibrasi regangan asimetris gugus karboksilat (COO^-) serta tekuk amina (N-H). Keberadaan pasangan puncak ini

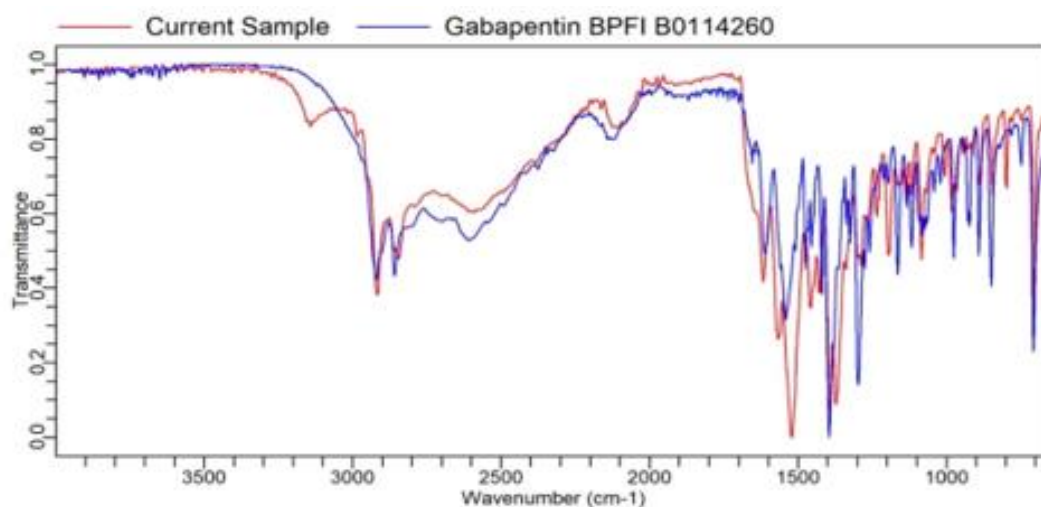
mengindikasikan bahwa gabapentin berada dalam bentuk *zwitterion* yang stabil pada fase padat (Wahyuningsih dan Dessidianti 2022).

Pita serapan dominan pada 1400 cm^{-1} berasal dari tekuk simetris CH_2 (*scissoring*) dan regangan simetris anion karboksilat, sementara daerah sidik jari ($1300\text{--}600\text{ cm}^{-1}$) merekam vibrasi kerangka molekul alifatik dan deformasi ikatan C–N sebagai penanda unik keaslian struktur. Tidak ditemukannya puncak serapan baru pada daerah 1700 cm^{-1} mengindikasikan sampel bebas dari senyawa pengotor hasil degradasi intramolekul seperti gabapentin laktam (Hsu *et al.*, 2010) mengonfirmasi bahwa preparasi sampel pada penelitian ini yang tidak melibatkan tekanan mekanis tinggi khas pelet KBr berhasil menjaga integritas struktur kristal gabapentin, sebagaimana kekhawatiran degradasi laktam yang mendasari pemilihan teknik ATR pada penelitian ini.

Hasil Uji Sampel Sediaan Farmasi Gabapentin Kapsul

Tahap awal dalam analisis kuantitatif sediaan obat jadi menggunakan FTIR-ATR

adalah pemisahan zat aktif (*active pharmaceutical ingredient*/API) dari matriks eksipien (bahan pengisi, pengikat, dan penghancur). Pengukuran inframerah membaca sampel secara non-spesifik, sehingga seluruh vibrasi ikatan kimia baik dari gabapentin maupun bahan tambahan sediaan akan terekam dan berpotensi menjadi interferensi spektrum (Pavia *et al.*, 2014) Berdasarkan monografi resmi gabapentin dalam Farmakope Indonesia Edisi VI, uji identifikasi hanya mencantumkan persyaratan penggunaan serapan inframerah tanpa disertai protokol spesifik tahapan ekstraksi preparatif untuk sediaan kapsul (Kemenkes, 2020). Prosedur ekstraksi pada penelitian ini diadaptasi dari metode ekstraksi sediaan padat risperidon yang tertera pada Farmakope Indonesia, didasarkan pada prinsip eliminasi matriks eksipien melalui perbedaan kelarutan (Ermer dan Miller 2005). Hasil spektrum sampel gabapentin kapsul pada Gambar 6.



Gambar 2. Hasil spektrum sampel gabapentin kapsul

Berdasarkan hasil pemindaian sampel pada Gambar 6, diperoleh nilai persentase kemiripan (% *Similarity*) sebesar 78,047% terhadap spektrum acuan Gabapentin BPFI. Pemilihan metanol sebagai pelarut pengekstraksi didasarkan pada sifatnya sebagai pelarut polar protik dengan konstanta dielektrik relatif tinggi ($\epsilon = 33,0$), sehingga mampu memecah energi kisi kristal *zwitterion* gabapentin secara selektif tanpa melarutkan eksipien hidrofobik atau polimerik sediaan. Pendekatan ekstraksi pelarut tunggal ini sejalan dengan strategi preparasi yang diterapkan pada mayoritas studi FTIR transmisi berbasis

metanol pada Tabel 1 Bab II seperti Jenny J (2021) pada tablet parasetamol, Ronauli (2021) pada kapsul kloramfenikol, Jimmi (2022) pada tablet metronidazol, dan Zuhairiah *et al.* (2020) pada tablet ibuprofen yang seluruhnya turut memanfaatkan pelarut polar untuk mengisolasi analit dari matriks padat sebelum pengukuran spektrum.

Nilai % *Similarity* sampel (78.047%) yang relatif lebih rendah dibandingkan nilai kemiripan internal baku standar Gabapentin BPFI (97.702%) mengindikasikan adanya sisa komponen eksipien matriks yang ikut terekstraksi

dalam jumlah kecil, sehingga sedikit memengaruhi intensitas dan kedalaman pita serapan tertentu. Hasil yang serupa dengan yang dilaporkan pada validasi FTIR-ATR sirup kering cefadroxil, di mana matriks eksipien turut memberi kontribusi minor pada latar belakang spektrum meski tidak mengubah identitas kualitatif senyawa (Rahmasari dan Alfarizi 2023). Walaupun demikian, tidak ditemukannya pergeseran bilangan gelombang (*wavenumber shift*) yang signifikan pada pita-pita fungsi utama mengonfirmasi bahwa struktur kimia gabapentin tetap utuh dan tidak mengalami degradasi maupun pembentukan senyawa laktam selama proses ekstraksi.

Keberhasilan isolasi zat aktif ini turut dikonfirmasi melalui kesesuaian pola daerah sidik jari ($1300\text{--}600\text{ cm}^{-1}$) antara sampel dan baku standar, membuktikan bahwa struktur molekul gabapentin tetap stabil dan terbebas dari interaksi destruktif dengan pelarut maupun efek preparasi mekanis (Hsu *et al.* 2010; Rahmasari dan Alfarizi 2023).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa metode FTIR-ATR yang dikembangkan terbukti memiliki keakuratan dan performa analitik yang memenuhi kriteria standar ICH Q2(R2) berdasarkan seluruh parameter validasi. Kelayakan metode FTIR-ATR terbukti layak dan reliabel untuk diaplikasikan dalam analisis kuantitatif gabapentin. Preparasi sampel menggunakan ekstraksi metanol berhasil mengeliminasi interferensi matriks eksipien tanpa mengubah struktur kimia zat aktif, sehingga metode ini sangat prospektif digunakan sebagai metode alternatif yang cepat dan akurat untuk pengujian identifikasi pada pengawasan mutu (*quality control*) sediaan kapsul gabapentin.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi yang telah membantu dan memfasilitasi penelitian hingga penulisan artikel ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

Referensi

Azhar, R., Saly, A. S., Aprilian, R., Jannah, S., & Kusumaningrum, F. (2019). Pengembangan dan validasi analisis

kuantitatif natrium seftriakson dengan menggunakan metode FTIR-ATR. *PPIS*, 83–90.

Ermer, J., & Miller, J. H. McB. (Eds.). (2005). *Method validation in pharmaceutical analysis: A guide to best practice*. Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/3527604685>

Fahelelbom, K. M., Saleh, A., Al-Tabakha, M. M. A., & Ashames, A. A. (2022). Recent applications of quantitative analytical FTIR spectroscopy in pharmaceutical, biomedical, and clinical fields: A brief review. *Reviews in Analytical Chemistry*, 41, 21–33.

Hsu, C.-H., Ke, W.-T., & Lin, S.-Y. (2010). Progressive steps of polymorphic transformation of gabapentin polymorphs studied by hot-stage FTIR microspectroscopy. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 13, 67–79.

International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use. (2023a). *ICH Q14 guideline: Analytical procedure development*. European Medicines Agency. https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/ich-q14-guideline-analytical-procedure-development-step-5-revision-1_en.pdf

International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use. (2023b). *ICH Q2(R2) guideline: Validation of analytical procedures*. European Medicines Agency. https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/ich-q2r2-guideline-validation-analytical-procedures-step-5-revision-2_en.pdf

Ismail, F., & Kanitha, D. (2020). Identifikasi dan penetapan kadar pentoxyfillin dalam sediaan tablet secara spektrofotometri Fourier transform infrared (FT-IR) dan spektrofotometri UV-visibel. *Jurnal Farmagazine*, 7, 7–?.

Isnaini, N. (2024). Quantitative validation of FTIR UATR method for determining caffeine content in green tea. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, 9, 80–86.

Jenny, J. (2021). Penetapan kadar parasetamol dalam sediaan tablet secara spektrofotometri inframerah. *Herbal Medicine Journal*, 4, 22–29.

- Jimmi, J. (2022). Penetapan kadar metronidazole dalam sediaan tablet secara spektrofotometri infra merah. *Herbal Medicine Journal*, 5, 60–66.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). *Farmakope Indonesia* (Edisi VI). Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Mirabella, F. M. (Ed.). (1993). *Internal reflection spectroscopy: Theory and applications*. Marcel Dekker.
- Musfiroh, I., Hasanah, A. N., Faradiba, G. A., Ayumiati, I., Mutakin, M., & Muchtaridi, M. (2019). Modification of extraction methods on determining simeticone suspension using FTIR method. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 6, 125–133.
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. (2014). *Introduction to spectroscopy* (5th ed.). Cengage Learning.
- Rahmasari, K. S., & Alfarizi, M. B. (2023). Validasi metode dan penetapan kadar sirup kering cefadroxil dengan metode FTIR-ATR. *Sinteza*, 3, 66–73.
- Rohman, A., Nugroho, A., Lukitaningsih, E., & Sudjadi. (2014). Application of vibrational spectroscopy in combination with chemometrics techniques for authentication of herbal medicine. *Applied Spectroscopy Reviews*, 49, 603–613.
- Ronauli. (2021). Penetapan kadar kloramfenikol dalam sediaan kapsul secara spektrofotometri infra merah. *Herbal Medicine Journal*, 4, 23–29.
- Saragih, S., Suprianto, S., & Samran, S. (2024). Analisis parasetamol tablet dengan metode Fourier transform infrared (FTIR). *Jurnal Indah Sains dan Klinis*, 5, 24–30.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). *Principles of instrumental analysis*. Cengage Learning.
- Sri Rahayu, W., Buono, E. C., & Raharjo, A. S. (2024). Analisis cepat kandungan metamizole dan deksametason pada jamu pegal linu dengan metode FTIR kombinasi dengan kemometrik. *Pharmaceutical Journal of Indonesia*, 20, 178–182.
- Wahyuningsih, E., & Dessidianti, R. (2022). Aplikasi FT-IR ATR spektroskopi untuk identifikasi parasetamol pada jamu sediaan serbuk. *Camellia*, 1, 56–60.
- Winingsih, W., Ulfa, M., & Suprijana, O. (2016). Penggunaan FTIR-ATR ZnSe (Fourier transform infrared) untuk penetapan kadar kuersetin dalam teh hitam (*Camellia sinensis* L.). *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 5, 57–63.
- Zuhairiah, Z., Nerdy, N., & Simbolon, R. (2020). Penerapan serta validasi metode spektrofotometri inframerah pada penetapan kadar ibuprofen dalam sediaan tablet. *Herbal Medicine Journal*, 3, 1–9.