

VERIFIKASI METODE ANALISIS PENETAPAN KADAR KAPTOPRIL SEDIAAN TABLET MENGGUNAKAN KCKT PDA DALAM Mendukung REGIONALISASI LABORATORIUM BPOM

Laily Fauziah*, Tuti Amalia As

BPOM di Bengkulu, Indonesia

*Corresponding author's email: laily.fauziah@pom.go.id

DOI: 10.33088/jp.v5i1.1254

ABSTRACT

Captopril is an angiotensin-converting enzyme inhibitor used in the treatment of hypertension and heart failure. Given its widespread use, the availability of reliable and validated analytical methods is crucial for ensuring the quality, safety, and efficacy of pharmaceutical preparations containing captopril. Captopril analytical methods have been reported using various techniques such as HPLC and UV-Vis spectrophotometry. However, before these methods are routinely used in the laboratory, analysis method verification is required to ensure that the adopted method meets the analytical performance requirements under the conditions and equipment used. This study aimed to verify the analysis method of captopril in tablet using HPLC with PDA detector at the BPOM Bengkulu Laboratory. Verification was carried out using HPLC with PDA detector at a wavelength of 220 nm, 25 cm x 4.6 mm L1 column, mobile phase mixture of methanol, water, and phosphoric acid (550; 450; 0.4) and a flow rate of 1 ml/min. The verification results showed that the standard solution was detected at a retention time of approximately 4 min. The specificity test, the standard and tested sample produced peaks at identical retention times and spectra. The precision test provided a RSD of 1.10%, the linearity test provided correlation coefficient 0.9991 and $Vx0$ 1,56%, and the accuracy test (recovery) of 97.55%. In general, it can be concluded that the results of the verification of the analytical method for determining of assay captopril in tablet dosage form meet the requirements and can be used in routine testing in the laboratory.

Keywords: Captopril, Verification, HPLC

ABSTRAK

Kaptopril merupakan obat golongan *Angiotensin-Converting Enzyme Inhibitor* yang digunakan dalam terapi hipertensi dan gagal jantung. Mengingat penggunaannya yang luas, ketersediaan metode analisis yang andal dan tervalidasi sangat penting untuk menjamin mutu, keamanan, dan khasiat sediaan farmasi yang mengandung kaptopril. Metode analisis kaptopril telah dilaporkan menggunakan berbagai teknik, seperti KCKT dan spektrofotometri UV-Vis. Namun, sebelum metode tersebut digunakan secara rutin di laboratorium diperlukan proses verifikasi metode untuk memastikan bahwa metode yang diadopsi memenuhi persyaratan kinerja analitik sesuai kondisi dan peralatan yang digunakan. Tujuan penelitian ini adalah verifikasi metode analisis Kaptopril dalam sediaan tablet menggunakan KCKT dengan detektor PDA di Laboratorium BPOM Bengkulu. Verifikasi dilakukan menggunakan KCKT dengan detektor PDA pada panjang gelombang 220 nm, kolom L1 25 cm x 4,6 mm, menggunakan fase gerak campuran methanol; air; asam fosfat (550; 450; 0,4) dan laju alir 1 ml /menit. Hasil verifikasi menunjukkan larutan baku terdeteksi pada waktu retensi sekitar 4 menit. Uji spesifitas, baku Kaptopril dan sampel yang diuji menghasilkan puncak pada waktu retensi dan spektrum yang identik. Uji presisi memberikan % RSD sebesar 1.10 % , uji linieritas memberikan nilai koefisien korelasi $r = 0.9991$ dan $Vx0 = 1,56\%$, Uji akurasi (recovery) 97,55%. Secara umum disimpulkan bahwa hasil verifikasi metode analisa penetapan kadar Kaptopril dalam sediaan tablet memenuhi syarat dan dapat digunakan dalam pengujian rutin di Laboratorium.

Kata Kunci: Kaptopril, Verifikasi, KCKT

PENDAHULUAN

Tugas dan fungsi Badan Pengawas Obat dan Makanan (Badan POM) dalam pengawasan Obat dan Makanan selama beredar adalah untuk memastikan Obat dan Makanan yang beredar memenuhi standar dan persyaratan keamanan, khasiat/manfaat, dan mutu produk yang ditetapkan serta tindakan penegakan hukum (Presiden, 2017).

Beragam tantangan yang dihadapi Badan POM dalam melaksanakan fungsi pengawasan obat dan makanan di seluruh wilayah Indonesia menuntut adanya penguatan kapasitas dan kapabilitas laboratorium pengujian. Oleh karena itu, Badan POM terus berinovasi di bidang pengujian laboratorium melalui penerapan kebijakan regionalisasi dan spesialisasi laboratorium, yang telah mulai dijalankan sejak tahun 2022.

Regionalisasi laboratorium pengujian bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan pengujian laboratorium di lingkungan Badan POM. Dalam implementasinya, sistem regionalisasi dibagi ke dalam delapan region berdasarkan kedekatan geografis, yaitu Region Medan, Pekanbaru, Semarang, Samarinda, Makassar, Manado, Surabaya, dan Jayapura. Setiap region terdiri atas beberapa unit pelaksana teknis, meliputi Balai Besar POM (BBPOM), Balai POM (BPOM), dan Loka POM.

Dalam pengujian komoditi obat, kebijakan regionalisasi laboratorium diterapkan melalui pembagian kelas terapi pada masing-masing Laboratorium Unit Pelaksana Teknis (UPT) dalam suatu wilayah regional. Pembagian kelas terapi tersebut ditetapkan berdasarkan ketersediaan peralatan laboratorium UPT BBPOM/BPOM. Sebagai bagian dari Region Medan, Balai POM di Bengkulu memiliki keunggulan dan peran strategis dalam pelaksanaan pengujian rutin sampel obat, khususnya pada kelas terapi sistem kardiovaskular, sensorik, serta

kelas terapi lainnya. Balai POM di Bengkulu dipercaya untuk menerima dan melakukan pengujian sampel komoditi obat yang berasal dari seluruh UPT yang tergabung dalam Region Medan, hal tersebut mencerminkan kapasitas laboratorium, kompetensi teknis, serta kehandalan sistem mutu yang dimiliki.

Secara umum penguatan kapasitas dan kapabilitas laboratorium dapat dilakukan melalui bertambahnya kemampuan uji melalui ruang lingkup, peningkatan ketersediaan peralatan laboratorium yang digunakan untuk pengujian, tersedianya pengujian yang kompeten untuk melakukan pengujian sesuai ruang lingkup serta penggunaan metode analisis terverifikasi mengacu pada standar nasional dan internasional yang berlaku. (BPOM, 2025).

Kaptopril merupakan salah satu obat yang termasuk dalam kelas terapi sistem kardiovaskular. Pada tahun 2025, proporsi sampel kaptopril sediaan tablet yang diuji di Laboratorium BPOM Bengkulu mencapai 12,19% dari total seluruh sampel obat yang diperiksa. Tingginya proporsi pengujian tersebut mencerminkan intensitas peredaran kaptopril di wilayah cakupan pengawasan Region Medan dan secara ilmiah menuntut dilakukannya verifikasi metode analisis yang komprehensif. Verifikasi metode menjadi krusial untuk memastikan kesesuaian metode terhadap kondisi operasional laboratorium, serta menjamin validitas dan keterandalan data analitik yang dihasilkan dalam pengawasan mutu obat.

Tujuan Verifikasi Metode Analisis adalah untuk memastikan bahwa metode analisis yang digunakan mampu memberikan hasil yang akurat, presisi, andal, dan konsisten sesuai dengan tujuan pengujian serta memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Serta untuk membuktikan bahwa metode yang sudah baku atau tervalidasi tetap sesuai saat diterapkan di laboratorium tertentu, dengan mempertimbangkan kondisi, peralatan, dan analisis yang digunakan. (BPOM, 2025).

Berdasarkan *United States Pharmacopeia* (USP) edisi 43 dan Farmakope Indonesia Edisi VI, penetapan kadar kaptopril dalam sediaan tablet

menggunakan metode KCKT dengan persyaratan kadar kaptopril, C₉H₁₅NO₃S, tidak kurang dari 90,0% dan tidak lebih dari 110,0% dari jumlah yang tertera pada etiket. Keunggulan detektor PDA pada KCKT menawarkan sensitivitas tinggi, dan memungkinkan kuantifikasi analit pada konsentrasi rendah (Abuhejail et al., 2024), sederhana (mudah), keandalan dan kinerja yang baik dan biaya yang relatif rendah. (Vilkickyte et al., 2021). PDA memperluas penggunaan deteksi ultraviolet (UV) dengan memungkinkan spektra dari puncak yang terelusi dapat membantu identifikasi puncak, serta memonitor ko-elusi (keseragaman puncak atau kemurnian) yang membantu dalam pengembangan metode. Detektor ini juga dapat difungsikan untuk detektor UV-Visible dengan banyak panjang gelombang (Swartz, 2010).

METODE PENELITIAN

Bahan Kimia

Bahan kimia yang digunakan adalah methanol grade HPLC (Smart Lab®), Asam Fosfat (Merck®), Air murni, Tablet merek X mengandung kaptopril 50 mg, baku kaptopril (BPFI).

Instrumen

Instrumen yang digunakan HPLC Shimadzu (LC 20AD) dengan detektor PDA (SPD - M20A Prominence). Pemisahan secara kromatografi dijalankan melalui kolom Waters Xbridge® C18 (250 x 4,6 mm) dengan ukuran partikel 5 µm. Laju alir dijaga pada 1,0 ml/menit, volume injeksi yang digunakan sebesar 20 µL dan dideteksi pada panjang gelombang 220 nm.

Pembuatan Fase Gerak

Fase gerak yang digunakan adalah campuran methanol, air dan asam fosfat dengan perbandingan 550: 450: 0,5 yang sebelumnya disaring melalui membran filter 0,45 µm dan

awaudarakan menggunakan ultrasonik degasser.

Pembuatan Larutan Baku Pembanding

Sejumlah Kaptopril BPFI ditimbang secara seksama, kemudian dilarutkan dalam fase gerak hingga diperoleh larutan dengan kadar lebih kurang 1 mg/mL.

Pembuatan Larutan Uji

Tidak kurang dari 10 tablet ditimbang dan digerus hingga diperoleh serbuk halus. Sejumlah serbuk yang setara dengan 25 mg kaptopril ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam labu tentukur 25 mL. Fase gerak ditambahkan hingga sekitar 50% volume labu, selanjutnya disonikasi selama 15 menit. Larutan kemudian diencerkan dengan fase gerak sampai tanda, dikocok secara mekanik selama 15 menit, dan disaring hingga diperoleh larutan dengan kadar kaptopril lebih kurang 1 mg/mL.

Pembuatan Larutan *Spiked Sample*

Dipipet 3,0 mL larutan baku, dimasukkan ke dalam labu tentukur 10 mL, kemudian ditambahkan 5,0 mL larutan uji dan diencerkan sampai tanda dengan fase gerak.

Verifikasi Metode

Berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (PerBPOM) Nomor 10 Tahun 2025 tentang Pedoman Verifikasi Metode Analisis Obat dan Bahan Obat, verifikasi metode analisis penetapan kadar kaptopril dalam sediaan tablet termasuk dalam kategori I, yaitu penetapan kadar komponen utama dalam bahan baku obat atau bahan aktif (termasuk pengawet) dalam sediaan obat jadi. Mengacu pada peraturan BPOM tersebut, karakteristik kinerja analitik yang dievaluasi meliputi parameter spesifisitas, presisi, dan akurasi. Selain itu, dalam penelitian ini dilakukan pula pengujian linieritas sesuai dengan pedoman *United States Pharmacopeia* (USP) dan Farmakope Indonesia edisi VI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, verifikasi metode analisa menggunakan KCKT dengan

Detektor PDA (*Photo Diode Array*). Berbeda dengan detektor UV-Vis konvensional yang hanya memantau satu atau beberapa panjang gelombang secara bergantian, PDA mampu memantau seluruh spektrum panjang gelombang secara simultan pada waktu yang sama.

Uji Kesesuaian Sistem

Uji Kesesuaian Sistem (UKS) dilakukan untuk memastikan bahwa sistem kromatografi yang digunakan layak dan memadai untuk analisis. Uji ini didasarkan pada prinsip bahwa instrumen, sistem elektronik, prosedur analitis, dan sampel yang dianalisis merupakan satu kesatuan sistem yang harus dievaluasi kinerjanya. UKS dilakukan dengan penyuntikan larutan baku sebanyak lima kali berturut-turut. Sistem dinyatakan memenuhi persyaratan apabila nilai %RSD waktu retensi dan luas area masing-masing kurang dari 2,0%. Apabila nilai persyaratan %RSD melebihi 2,0%, maka evaluasi dilakukan berdasarkan data dari enam kali penyuntikan larutan baku.

Tabel 1. Hasil Uji Kesesuaian Sistem

Parameter	Waktu Retensi	Luas Area
Baku UKS 1	3.943	13656340
Baku UKS 2	3.944	13644944
Baku UKS 3	3.945	13637692
Baku UKS 4	3.945	13643263
Baku UKS 5	3.945	13642851
Rata-Rata	3.944	13645018
%RSD	0.023	0.050

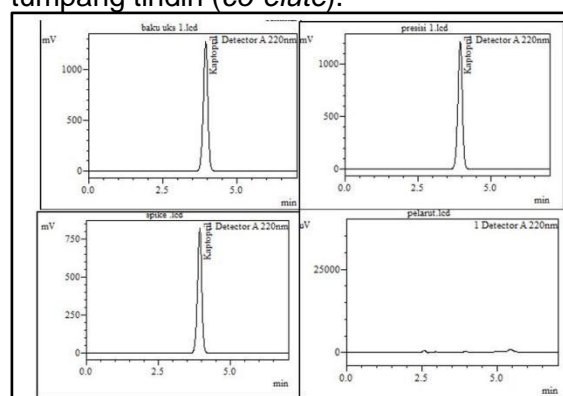
Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata waktu retensi baku kaptopril dari lima kali penyuntikan adalah 3,944 menit dengan nilai %RSD sebesar 0,023%, sedangkan rata-rata luas area yang diperoleh adalah 13.645.018 dengan %RSD sebesar 0,050%. Nilai %RSD waktu retensi dan luas area tersebut memenuhi persyaratan, yaitu kurang dari 2%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kromatografi yang digunakan

telah memenuhi kriteria kesesuaian sistem untuk proses analisis.

Spesifitas/ Selektivitas

Spesifitas dalam penetapan kadar ditunjukkan oleh tidak adanya pengaruh cemaran atau excipien terhadap hasil analisis. Metode KCKT-PDA digunakan untuk menunjukkan bahwa kromatogram larutan uji, larutan baku, dan larutan *spiked* menghasilkan puncak tunggal. Puncak tunggal yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang digunakan dan memenuhi parameter spesifitas.

Dengan detektor PDA, Analisis Kemurnian Puncak (*Peak Purity*), digunakan untuk memastikan suatu puncak kromatogram berasal dari satu senyawa murni atau ada senyawa pengotor yang tumpang tindih (*co-elute*).



Gambar 1. Kromatogram Larutan Baku, Larutan Uji Sampel, Larutan *Spiked* dan Pelarut dengan detektor PDA

Berdasarkan Gambar 1, hasil uji spesifitas menunjukkan bahwa kromatogram larutan baku, larutan spiked sampel, dan larutan uji masing-masing menghasilkan puncak tunggal tanpa adanya puncak lain yang mengindikasikan interferensi senyawa atau zat lain. Larutan *spiked sample* dan larutan uji memiliki waktu retensi yang sama dengan larutan baku, yaitu masing-masing pada menit 4,010 dan 4,018, sehingga memenuhi kriteria penerimaan uji spesifitas.

Similarity kromatogram larutan baku dan larutan uji hampir sama diperoleh nilai sebesar 0,999917 ($\geq 0,999$).

Presisi

Presisi pada metode analisis dinyatakan sebagai tingkat kedekatan antara hasil pengujian individual yang diperoleh dari hasil pengujian berulang terhadap sampel homogen pada kondisi yang sama. Pada penetapan kadar bahan obat atau sediaan obat, evaluasi presisi dilakukan melalui uji rpitabilitas pada sedikitnya satu konsentrasi larutan uji. Pengukuran kadar analit dalam sampel dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar} = \frac{AU}{AB} \times \frac{Bb}{Bu} \times \frac{FU}{FB} \times Br \times \text{Kemurnian}$$

AU merupakan absorbansi larutan uji, AB adalah absorbansi larutan baku, Bb adalah bobot baku, Bu adalah bobot uji, FU dan FB masing-masing merupakan faktor pengenceran larutan uji dan larutan baku, serta Br menyatakan bobot rata-rata uji.

Suatu metode dinyatakan memenuhi kriteria presisi jika deviasi standar relatif (RSD) atau koefisien variasi (CV) $\leq 2\%$. (Menkes, 2020), yang menunjukkan bahwa metode tersebut menghasilkan data yang konsisten dan dapat diandalkan.

Tabel 2. Hasil Uji Presisi Tablet Kaptopril

Uji	Presisi				
	BU(mg)	FU	RT	Luas Area	% Kadar
1	100.8	25	3.947	13136109	98.10
2	101.2	25	3.945	13119794	97.59
3	100.9	25	3.940	12994126	96.94
4	100.8	25	3.938	13257388	99.00
5	100.9	25	3.937	13185839	98.37
6	100.9	25	3.936	12864606	95.97
Rata-Rata %RSD					97.66 1.12

Hasil penetapan kadar menunjukkan bahwa rata-rata kadar sampel uji adalah 97,66%, dengan rentang antara 95,97% hingga 99,00%, sehingga memenuhi persyaratan penetapan kadar Tablet Kaptopril, yang harus mengandung kaptopril

(C₉H₁₅NO₃S) tidak kurang dari 90,0% dan tidak lebih dari 110,0% dari jumlah yang tertera pada etiket (Kementerian Kesehatan RI, 2020). Penetapan presisi dilakukan sebanyak 6 kali pengulangan, dengan nilai %RSD sebesar 1,12%, kurang dari 2%, menunjukkan bahwa metode yang digunakan memiliki presisi yang baik.

Akurasi

Parameter Akurasi dihitung sebagai persentase perolehan kembali dari penetapan sejumlah analit yang ditambahkan dan diketahui jumlahnya ke dalam sampel, atau sebagai selisih antara hasil rata-rata dengan hasil sebenarnya yang diterima dengan batas keberterimaannya.

Dokumen *International Council for Harmonisation* (ICH) merekomendasikan bahwa akurasi ditetapkan dengan menggunakan minimal 9 penetapan meliputi 3 tingkat konsentrasi berbeda yang telah ditetapkan (misalnya 3 konsentrasi dan 3 replikasi untuk masing-masing konsentrasi).

Untuk penetapan kadar Bahan Obat atau sediaan Obat, dilakukan analisis larutan akurasi pada minimum 1 (satu) konsentrasi. Akurasi dapat ditetapkan dengan cara menambahkan sejumlah analit yang diketahui jumlahnya ke sediaan Obat (*spiking*).

Pengukuran dilakukan menggunakan tiga tingkat konsentrasi sampel, yaitu 80%, 100%, dan 120%, dengan hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil % Recovery Tablet Kaptopril

% Recovery	Recovery Analit (mg)	Recovery (%)	Rata-rata Recovery (%)
80	5.71	96.34	96.75
80	5.73	97.14	
80	5.72	96.78	
100	7.63	100.17	100.16
100	7.65	100.00	
100	7.72	100.32	
120	8.08	95.21	95.36
120	8.09	95.14	
120	8.05	95.73	

Metode pengujian dianggap akurat jika perolehannya berada dalam kisaran 95%–

105%. Kisaran tersebut ditentukan oleh persentase bahan aktif farmasi (API) terhadap berat rata-rata tablet adalah 0.10%. (BPOM, 2025). Hasil % recovery yang diperoleh berada di rentang 95.36% sampai dengan 100.16%, sehingga dinyatakan memenuhi persyaratan keberterimaan.

Linearitas

Linearitas merupakan kemampuan metode analitik dalam memperoleh hasil uji yang proporsional dengan konsentrasi analit. Selanjutnya, rentang adalah interval antara konsentrasi analit tertinggi dan terendah dalam sampel yang dapat ditunjukkan oleh metode tersebut secara akurat, tepat, dan linier.

ICH merekomendasikan bahwa linearitas ditetapkan dengan menggunakan minimal 5 konsentrasi yang digunakan secara normal, dan juga direkomendasikan rentang minimum.

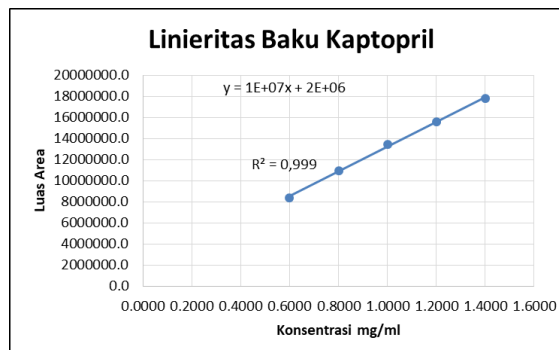
Pada penelitian ini, dibuat lima rentang konsentrasi baku yang diukur linieritasnya yaitu 60%, 80%, 100%, 120% dan 140%.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Linearitas Baku

% Konsentrasi	Konsentrasi (mg/ml)	RT	Luas Area
60	0,6000	3.929	8391109
80	0,800	3.928	10922906
100	1,000	3.926	13458576
120	1,200	3.925	15564752
140	1,400	3.925	17762449

Linearitas metode ditentukan dengan membuat garis regresi linier dari luas area yang diperoleh terhadap konsentrasi kaptopril. Garis tersebut dianggap linier jika koefisien korelasinya $\geq 0,999$ (ICH, 2023), dan $V_{x0} < 5\%$. Berdasarkan hasil pengukuran, metode menunjukkan linieritas yang baik dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,9991 dan

V_{x0} sebesar 1,56% pada rentang konsentrasi 60% hingga 140%, sehingga memenuhi kriteria keberterimaan yang ditetapkan.



Gambar 2. Kurva Linearitas Baku Kaptopril

KESIMPULAN

Secara keseluruhan, hasil verifikasi metode analisis penetapan kadar kaptopril dalam sediaan tablet menggunakan metode KCKT-PDA menunjukkan bahwa metode tersebut memenuhi semua kriteria yang ditetapkan, sehingga layak digunakan untuk pengujian rutin sampel di laboratorium.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Kepala Balai POM di Bengkulu dan staf pengujian atas dukungan, fasilitas dan kesempatan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuhejail, Reem M, Nourah Z. Alzoman and Ibrahim A. Darwish .2024. Development and Validation of a New Eco-Friendly HPLC-PDA Bioanalytical Method for Studying Pharmacokinetics of Seliciclib. *Medicina* 2024, 60, 1686. <https://doi.org/10.3390/medicina60101686>.
- AOAC. 2002. *Guidelines for standard method performance requirements*. Association of Official Analytical Chemist Inc.: Washington DC.
- Budiati, Lilik dan Nurul Ilmiyati.2024. Development of an Analytical Method for Determination of Dexchlorpheniramine Maleate Level in Tablet Preparations by UVDetector High-Performance Liquid

- Chromatography. *ERUDITIO* Vol. 5, No. 1, Desember 2024
DOI:<https://doi.org/10.54384/eruditio.v5i1.203>
- Chepyala, Sumalatha, Srinivas Medidi, dan Jitender Kumar Malik. 2025. Development of a validated RP-HPLC/PDA method for the quantitative estimation of tepotinib in tablet dosage form. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* Vol. 15(01), pp 064-071
- ICH. 2023. ICH Q2(R2) Validation Of Analytical Procedures .ICH International Organization for Standardization.
- ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO - International Organization for Standardization
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/626/2020 tentang Farmakope Indonesia Edisi 6.2020. Jakarta
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/2197/2023 tentang Formularium Nasional. 2023. Jakarta
- Keputusan Kepala Badan POM Nomor 95 tentang Pedoman Sampling dan Pengujian Sediaan Farmasi dan Pangan Olahan. 2025. Jakarta
- Keputusan Kepala Badan POM Nomor 100 tentang Regionalisasi Laboratorium Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2025. Jakarta.
- Keputusan Kepala Badan POM Nomor 161 Standar Kemampuan Laboratorium Unit Pelaksana Teknis di Lingkungan Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2025. Jakarta.
- Peraturan Presiden Nomor 80 tentang Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2017. Jakarta
- Peraturan Badan POM Nomor 10 tentang Pedoman Verifikasi Metode Analisis Obat dan Bahan Obat .2025. Jakarta.
- Pebriana, Ratna Budhi, Olivia Damayanti, Yunda Dewi Agustin, Endang Lukitaningsih, dan Angi Nadya Bestari. 2021. Validation of a high-performance liquid chromatographic method for the assay and dissolution of captopril in mucoadhesive tablet formulation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* Vol. 11(02), pp 066-074.
- Ruttakorn, Kanong, Thana Thanayutsiri, Praneet Opanasopit, Tanasait Ngawhirunpat, Akhayachatra Chinsriwongkul, and Theerasak Rojanarata. 2025. Green HPLC Assay for Captopril Tablets with Integrated Laboratory Waste Management: A Paradigm of Sustainable Pharmaceutical Analysis Workflow Enabled by Agro-Waste-Derived Products. *Pharmaceutical Sciences*. 2025;31(4):379-390.
doi:10.34172/PS.025.42523
- Swartz, M. (2010). HPLC detectors: A brief review. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, 33(9–12), 1130–1150. <https://doi.org/10.1080/10826076.2010.484356>
- United States Pharmacopeial Convention. (2017). *USP NF 1225 Validation Of Compendial Procedures*. DOI: https://doi.org/10.31003/USPNF_M99945_04_01
- United States Pharmacopeial Convention. (2019). *USP NF 1226 Verification Of Compendial Procedures*. DOI: https://doi.org/10.31003/USPNF_M870_03_01
- Vilkickyte, Gabriele dan Lina Raudone. 2021. Optimization, Validation and Application of HPLC-PDA Methods for Quantification of Triterpenoids in *Vaccinium vitis-idaea* L. *Molecules* 2021, 26, 1645. <https://doi.org/10.3390/molecules26061645>.
- Yuwono, M., & Indrayanto, G. 2005. *Validation of Chromatographic Methods of Analysis. Profiles of Drug*

Substances, Excipients and Related Methodology, 32(05), 241–260.

[https://doi.org/10.1016/S0099-5428\(05\)32009-0](https://doi.org/10.1016/S0099-5428(05)32009-0)

Zahara, Zahara, Farida Kurniawati dan Erita Lusianti. 2024. *Analysis of ZnPtO in Anti-dandruff Shampoo by High-Performance Liquid Chromatography - Photo Diode Array*. ERUDITIO Vol. 4, No. 2, Juni 2024. DOI: <https://doi.org/10.54384/eruditio.v4i2>.