

DOI: <https://doi.org/10.21009/JRSKT.102.06>

Validasi Metode Analisis Fosfor pada Sayuran dengan Pereduksi Stannous Chloride menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis

Aulia Natasya^{1,*}, Baiq Amelia Riyandari²

¹ Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta, Jalan Pemuda No. 10, Rawamangun 13220, Jakarta, Indonesia

² Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Islam Negeri Mataram, Jalan Gajah Mada No. 100 Jempong Baru, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*Email: aulianatasya@gmail.com

Received: 07 November 2024

Revised: 24 November 2024

Accepted: 10 December 2024

Online: 20 Desember 2024

Published: 30 Desember 2024

**Jurnal Riset Sains dan
Kimia Terapan**

p-ISSN: 2302 - 8467

e-ISSN: 2303 – 0720



Abstrak

Analisis fosfor dalam sayuran secara spektrofotometri UV-Vis telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan mendapatkan kondisi optimum untuk analisis fosfor secara spektrofotometri UV-Vis, mendapatkan informasi pereduksi yang optimal dan pengaplikasian metode analisis fosfor yang memenuhi parameter validasi metode. Penelitian diawali dengan menentukan kondisi optimum analisis fosfat dengan spektrofotometri UV-Vis menggunakan pereaksi ammonium molibdat dan direduksi dengan timah (II) klorida dalam lingkungan asam menggunakan asam klorida (HCl). Selanjutnya metode analisis divalidasi berdasarkan parameter validasi metode. Reaksi molibdenum biru menghasilkan senyawa kompleks heterofosfomolibdat yang memiliki panjang gelombang maksimum 729 nm. Hasil validasi metode analisis fosfat yang direduksi dengan timah (II) klorida memiliki linieritas metode dengan $R^2=0,9983$ pada rentang 0 – 0,05 mg L⁻¹. Absorptivitas molar sebesar $2,093 \times 10^5$ L mol⁻¹ cm⁻¹. Serta batas deteksi sebesar $1,41 \times 10^{-3}$ mg L⁻¹ dan batas kuantisasi sebesar $4,28 \times 10^{-3}$ mg L⁻¹. Nilai presisi dinyatakan sebagai persen standar deviasi relatif %RSD pada jagung, brokoli dan buncis masing-masing sebesar 1,93%, 1,37% dan 1,25%. Perolehan kembali didapatkan pada masing-masing sampel sayuran berkisar 99,36% - 109,50%. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan fosfat yang terkandung dalam sayuran jagung, brokoli dan buncis tidak melebihi baku mutu menurut Persatuan Ahli Gizi Indonesia (PERSAGI).

Kata kunci: Fosfor, timah (II) klorida, spektrofotometri UV-Vis

Abstract

Phosphorus analysis in vegetables using UV-Vis spectrophotometry has been carried out. This research aims to obtain optimum conditions for phosphorus analysis using UV-Vis spectrophotometry, obtaining optimal reducing information and application of phosphorus analysis methods that meet method validation parameters. The research began by determining the optimum conditions for phosphate analysis using UV-Vis spectrophotometry using reagents ammonium molybdate and reduced with tin (II) chloride in an acidic environment using hydrochloric acid (HCl). Next, the analysis method is validated based on the method validation parameters. The molybdenum blue reaction produces a heterophosphomolybdate complex compound which has a maximum wavelength 729 nm. The validation results of the analytical method for phosphate reduced with tin (II) chloride have method linearity with $R^2=0.9983$ in the range $0 - 0.05 \text{ mg L}^{-1}$. The molar absorptivity is $2.093 \times 10^5 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. And the detection limit is $1.41 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$ and a quantitation limit of $4.28 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$. Precision values are expressed as percent relative standard deviation %RSD in corn, broccoli and beans respectively 1.93%, 1.37% and 1.25%. The recovery obtained for each vegetable sample ranged from 99.36 % - 109.50%. There are no phosphates contained in corn, broccoli and green beans exceeds quality standards according to the Persatuan Ahli Gizi Indonesia (PERSAGI)

Keywords: *Phospor, tin (II) chloride, UV-Vis Spectrophotometry*

Pendahuluan

Fosfor terdapat dalam bentuk senyawa organik (tumbuhan dan hewan) atau pun senyawa anorganik (tanah, air dan pupuk) (Zhang et al., 2022). Fosfor yang terdapat dalam tumbuhan dapat berasal dari sayuran (Qin et al., 2022). Sayuran merupakan produk tanaman herba yang dapat dimakan baik dalam keadaan mentah (lalapan segar) (Feng et al., 2022) atau setelah diolah menjadi berbagai macam bentuk masakan. Sayuran merupakan salah satu sumber mineral, serat, dan vitamin yang dibutuhkan manusia (Hess et al., 2019). Dalam menanam sayuran diperlukan nutrisi yang cukup memadai dan seimbang agar sayuran dapat tumbuh dengan baik (Iqbal et al., 2023). Nutrisi tersebut berasal dari pupuk, baik pupuk anorganik maupun organik (Alzamel et al., 2022). Secara garis besar, tanaman memerlukan 2 jenis unsur hara untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan yang optimal (Raddatz et al., 2020). Dua jenis unsur hara tersebut yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro (Kumar et al., 2021). Di alam fosfor tidak terdapat dalam keadaan bebas, tetapi umumnya dalam bentuk senyawa fosfat (Kolodiazhnyi, 2021). Fosfat terdapat dalam berbagai bentuk dalam air seperti dalam bentuk ortofosfat yang mudah diserap oleh tanaman (Dey et al., 2023). Namun, jika jumlah fosfat dalam air berlebih akan menyebabkan polusi yang berdampak pada kualitas tanah dan tanaman (Mng'ong'o et al., 2022). Sumber alami polusi fosfat perairan didapatkan dari penggunaan detergen dalam industri dan pemupukan dari

pertanian karena penggunaan pupuk yang berlebih dapat meningkatkan akumulasi fosfor di dalam sayuran (Flint et al., 2023). Masuknya fosfor kedalam tubuh manusia melalui rantai makanan (Forber et al., 2020). Jika kadar fosfor berlebih di dalam tubuh manusia maka dapat menyebabkan hiperfosfatemia (Anand & Aoyagi, 2023), yaitu kondisi fosfat yang terlalu tinggi dalam darah.

Berdasarkan uraian diatas, analisis fosfor diperlukan untuk menjamin keamanan pangan. Kompleks heterofosfomolibdat berwarna biru yang dihasilkan dari reaksi ammonium molibdat dengan fosfat dalam suasana asam lalu direduksi dengan sebuah reduktor merupakan metode yang banyak digunakan (Habibah et al., 2018) karena memiliki waktu kestabilan yang cukup baik di rentang panjang gelombang 500 – 800 nm.

Metode

Alat

Neraca analitik, labu ukur, pipet ukur, spektrofotometri UV-Vis

Bahan

Ammonium heptamolybdate tetrahydrate, potassium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4), asam klorida p.a, timah (II) klorida, aquabidest, jagung, brokoli dan buncis.

Prosedur

Pembuatan larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate: Ditimbang sebanyak 0,0989 gram ammonium molibdat di larutkan dalam 25 mL aquabidest hingga tanda batas. Pembuatan larutan asam klorida: Asam klorida pekat diencerkan dengan aquabidest sampai mendapatkan konsentrasi asam klorida 2 M. Pembuatan larutan timah (II) klorida: Dibatik larutan SnCl_2 dengan cara melarutkan Kristal SnCl_2 sebanyak 0,0135 gram dimasukkan kedalam labu ukur 25 mL dan dilarutkan dengan asam klorida sampai tanda batas. Pembuatan larutan baku induk fosfat 10 mg L^{-1} : Kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4) ditimbang sebanyak 0,01 gram kemudian di oven selama 2 jam pada suhu 105°C kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 1000 mL dan dilarutkan dengan aquabidest sampai tanda batas. Larutan induk fosfat tersebut akan dijadikan sebagai larutan induk dalam pembuatan larutan standar fosfat dengan berbagai macam konsentrasi.

Hasil dari Pembuatan larutan standar fosfat: Pembuatan larutan standar fosfat dengan variasi konsentrasi 0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 dan 0,05 mg L^{-1} dilakukan dalam labu ukur 25 mL menggunakan rumus pengenceran. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum: Untuk penentuan panjang gelombang maksimum digunakan larutan standar fosfor 6 ppm, 4 ppm dan 2 ppm dimasukkan kedalam labu ukur dan ditambahkan pereaksi larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate, larutan asam klorida dan larutan timah (II) klorida, dikocok dan didiamkan selama 10 menit lalu diukur serapannya secara spektrofotometri visible pada panjang gelombang 400 – 800 nm sehingga diperoleh panjang gelombang maksimum. Optimasi waktu kestabilan senyawa kompleks heterofosfomolibdat: Larutan induk fosfat dimasukkan kedalam labu ukur kemudian ditambahkan pereaksi ammonium heptamolybdate tetrahydrate, larutan asam klorida, larutan timah (II) klorida dan diencerkan dengan aquabidest sampai tanda batas dan dihomogenkan. Campuran tersebut dibuat kedalam 6 labu dan dilakukan variasi waktu mulai dari (0 ; 5 ; 10 ; 15 ; 20 dan 25) menit. Dilakukan *scanning* pada panjang gelombang maksimum. Pengaruh Konsentrasi Larutan Ammonium heptamolybdate tetrahydrate: Dalam sejumlah labu ukur dimasukkan larutan berikut, larutan asam klorida, larutan baku fosfat dan larutan timah (II) klorida. Dilakukan variasi konsentrasi (0,0008; 0,0016; 0,0024; 0,0032; 0,0040 dan 0,0048) M larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate diencerkan sampai tanda batas dengan

aquabidest dan dihomogenkan lalu didiamkan selama 10 menit. Dimasukkan kedalam kuvet dan dilakukan *scanning* dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Pengaruh Konsentrasi Asam Klorida: Sejumlah labu ukur dimasukkan larutan berikut, larutan baku fosfat, larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate, larutan timah (II) klorida, larutan asam klorida, dilakukan variasi konsentrasi (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 ; 1,1 dan 1,3) M larutan asam klorida dan diencerkan dengan aquabidest sampai tanda batas dan dihomogenkan lalu diamkan selama 10 menit. Dimasukkan ke dalam kuvet dan dilakukan *scanning* dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Penentuan Konsentrasi Optimum Pereduksi SnCl_2 dalam Suasana Asam: Larutan baku fosfat, larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate, larutan asam klorida, larutan timah (II) klorida dimasukkan kedalam labu ukur, lalu ditambahkan konsentrasi larutan SnCl_2 dengan variasi (0,0006 ; 0,0012 ; 0,0018 ; 0,0024 ; 0,0030 ; 0,0036 ; 0,0042 ; 0,0048 dan 0,0054) M dan diencerkan hingga tanda batas. Campuran tersebut dihomogenkan dan didiamkan selama 10 menit. Dimasukkan kedalam kuvet dan dilakukan *scanning* dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan adalah jagung, brokoli dan buncis yang masih segar. Sampel sayuran dicuci dengan air yang mengalir untuk menghilangkan kotoran seperti tanah, selanjutnya masing – masing sampel dipotong kecil – kecil lalu ditimbang sebanyak 10 gram. Kemudian, sampel dimasukkan kedalam tanur untuk diabukan pada suhu 600°C selama 12 jam, sampai bebas karbon dan didinginkan. Abu dimasukkan kedalam gelas kimia 250 mL dan ditambahkan 40 mL HCl dan 4 tetes HNO_3 pekat, kemudian dipanaskan pada waterbath selama 30 menit pada suhu 70°C dan didinginkan.

Validasi Metode Analisis Fosfor

Pembuatan Kurva Standar (Linearitas): Dibuat larutan standar fosfat dengan berbagai macam konsentrasi (0 ; 0,01 ; 0,02 ; 0,03 ; 0,04 dan 0,05) mg L^{-1} , dimasukkan kedalam labu ukur. Kemudian, dilakukan penambahan larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate, larutan asam klorida dan larutan timah (II) klorida. Selanjutnya, larutan dihomogenkan dan dibiarkan bereaksi selama 10 menit. Kemudian, larutan dimasukkan kedalam kuvet dan absorbansi larutan dibaca pada panjang gelombang maksimum. Selanjutnya, data absorbansi dari masing – masing larutan standar dibuat kurva hubungan antara konsentrasi dan absorbansi menggunakan ms. Excel sehingga didapatkan persamaan garis regresi linear $y = ax + b$ dan nilai koefisien korelasi (R^2) yang menunjukkan linearitas kurva baku tersebut.

Sensitivitas

Penentuan sensitivitas metode analisis dapat ditentukan berdasarkan nilai kemiringan (slope) kurva standar yang diperoleh. Sensitivitas metode analisis dinyatakan dalam parameter absorptivitas molar (ϵ).

Limit of Detection (LOD) dan Limit of Quantification (LOQ)

Penentuan *Limit of Detection* (LOD) dan *Limit of Quantification* (LOQ) dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan blangko pada analisis fosfor sebanyak 10 pengulangan pada hari yang sama dan ditentukan standar deviasinya (SD).

Presisi

Penentuan presisi dilakukan dengan pengukuran sampel jagung, buncis dan kubis sebanyak 5 kali pengulangan pada hari yang sama dan ditentukan *Relative Standard Deviation* (RSD). Presisi analisis

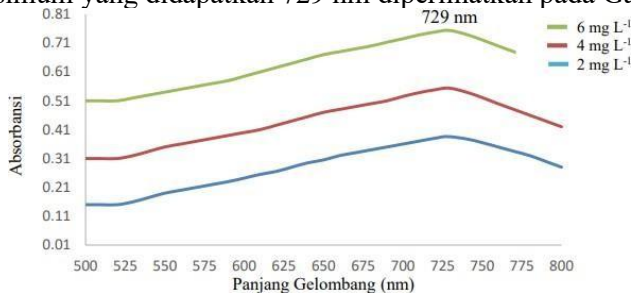
fosfor dilakukan dengan mereaksikan sampel dengan larutan asam klorida, larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate dan larutan timah (II) klorida. dimasukkan kedalam labu ukur dan diencerkan dengan aquabidest hingga tanda batas. Campuran larutan didiamkan selama 10 menit dan diukur absorbansi pada panjang gelombang maksimum.

Akurasi

Penentuan akurasi metode analisis dilakukan dengan metode spiking (adisi standar). Metode adisi dilakukan dengan menambahkan sejumlah larutan standar yang diketahui konsentrasinya ke dalam sampel jagung, buncis dan brokoli. Konsentrasi yang ditambahkan sebanyak 0,01 – 0,05 mg L⁻¹ konsentrasi analit yang sebenarnya di dalam sampel. Akurasi metode analisis fosfor dilakukan dengan mereaksikan sampel dengan larutan standar fosfat 0,01 ; 0,02 ; 0,03; 0,04 dan 0,05 mg L⁻¹. Selanjutnya larutan diperlakukan sesuai prosedur metode analisis fosfor. Analisis Sampel Menggunakan Metode Stannous Chloride dengan Spektrofotometer UV-Vis: Setelah Sampel dipreparasi dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aquabidest sampai tanda batas. Kemudian, larutan sampel dimasukkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan ammonium heptamolybdate tetrahydrate, larutan asam klorida dan larutan timah (II) klorida. Selanjutnya larutan dikocok dan dibiarkan bereaksi selama 10 menit. Kemudian larutan dimasukkan kedalam kuvet dan diukur absorbansi larutan dengan spektrofotometer UVVis dibaca pada panjang gelombang maksimum.

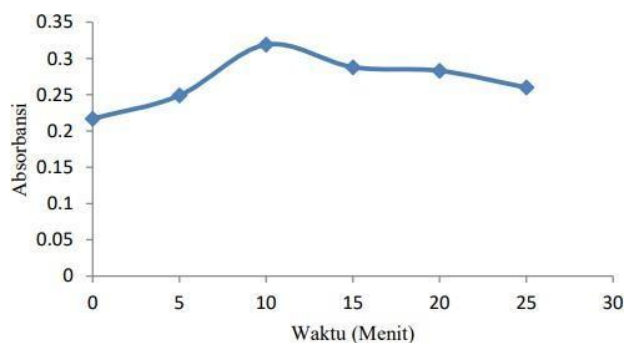
Hasil dan Pembahasan

Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan mengukur absorbansi senyawa kompleks heterofosfomolibdat. Pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang 500 – 800 nm dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada 3 konsentrasi yang berbeda. Hasil penentuan panjang gelombang maksimum yang didapatkan 729 nm diperlihatkan pada Gambar 1.



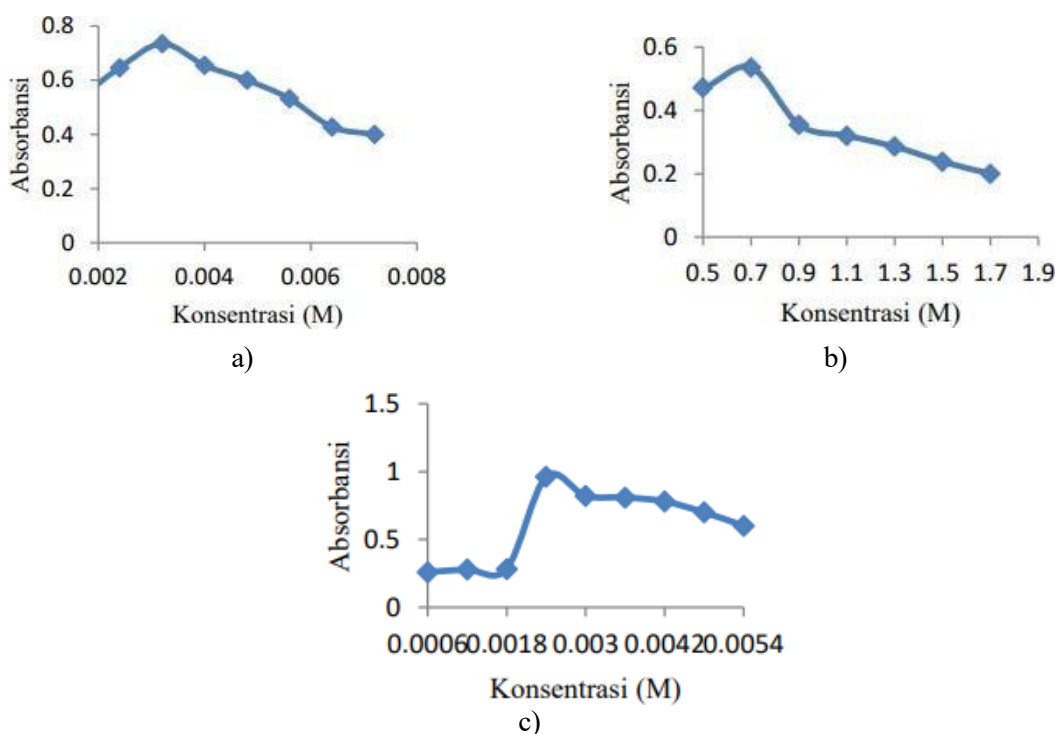
Gambar 1. Spektrum panjang gelombang maksimum senyawa kompleks heterofosfomolibdat

Waktu kestabilan senyawa kompleks heterofosfomolibdat didapatkan pada menit ke 10 yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Waktu kestabilan senyawa kompleks heterofosfomolibdat

Hasil optimasi konsentrasi pada larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate, larutan asam klorida dan larutan timah (II) klorida yang didapatkan masing-masing sebesar 0,0032 M ; 0,7 M dan 0,0024 M yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. a) Grafik optimasi konsentrasi larutan ammonium heptamolybdate tetrahydrate; b) Grafik optimasi konsentrasi larutan asam klorida; c) Grafik optimasi konsentrasi larutan timah (II) klorida.

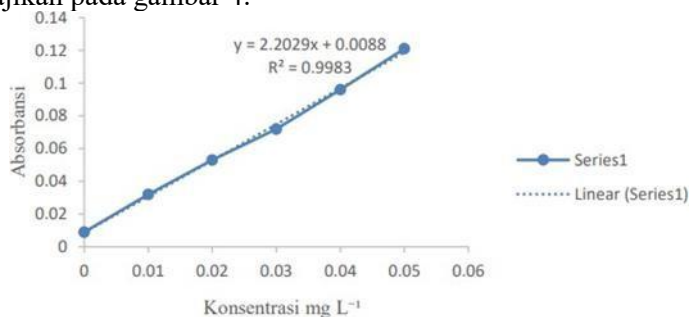
Preparasi Sampel

Sayuran merupakan sampel biologis yang mengandung banyak serat dan matriks. Agar fosfor tersebut bisa dianalisis maka fosfor tersebut harus dilepaskan dahulu dari matriksnya menjadi bentuk bebasnya agar dapat terdeteksi pada saat analisis dengan panjang gelombang yang spesifik. Metode yang digunakan yaitu destruksi kering dengan cara pengabuan yaitu dengan menguapkan senyawa-senyawa organik yang terkandung didalam sampel sehingga hanya tersisa senyawa anorganik. Abu yang didapatkan dilarutkan dengan asam klorida pekat untuk menghilangkan

unsur logam. Larutan dipanaskan dengan waterbath pada suhu 70 selama 30 menit hingga warna menjadi bening. Lalu didapatkan larutan sampel [5].

Linieritas

Linieritas merupakan kemampuan metode analisis yang memberikan respon secara langsung atau adanya hubungan antara konsentrasi dan absorbansi (Harmita, 2004). Linieritas dihasilkan dari kurva kalibrasi, kurva kalibrasi diperoleh dari suatu persamaan garis linier $y = mx + b$. Dalam penelitian persamaan garis linier didapatkan $y = 2,2029x + 0,0088$ dengan koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 yakni 0,9983 yang disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Kurva kalibrasi senyawa kompleks heterofosfomolibdat

Sensitivitas

Jumlah terkecil analit yang terdapat didalam sampel yang masih di deteksi oleh alat dan memberikan respon yang signifikan jika dibandingkan dengan blanko. Sedangkan batas kuantisasi merupakan konsentrasi terkecil analit yang terdapat didalam sampel yang masih memenuhi kriteria cermat dan seksama. Penentuan LOD dan LOQ dilakukan dengan pengukuran absorbansi larutan blanko tanpa analit sebanyak 10 kali pengulangan. Hasil yang didapatkan pada perhitungan LOD dan LOQ masing-masing sebesar $1,41 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$ dan $4,28 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$. Kedua nilai LOD dan LOQ dihitung menggunakan statistika melalui garis regresi linier yang didapat dari kurva kalibrasi. Kedua nilai tersebut menunjukkan batas terkecil analit yang masih dapat dideteksi oleh instrumen spektrofotometer UV-Vis.

Presisi

Pada penelitian ini presisi yang dilakukan adalah repeatability (keterulangan) dimana metode dilakukan berulang kali oleh analis yang sama, kondisi sama, dan dihari yang sama. Pada penelitian ini dilakukan 5 kali pengulangan. Repeatability dinyatakan dengan %RSD untuk melihat ketelitian dari metode.

Tabel 1. Hasil penentuan presisi fosfat

Sampel	X	$\bar{X}$	$(Xi - \bar{X})^2$	SD	RSD (%)
Jagung	0,300	0,308	$6,4 \times 10^{-5}$	$5,96 \times 10^{-3}$	1,93
	0,315		$4,9 \times 10^{-5}$		
	0,312		$1,6 \times 10^{-5}$		
	0,305		9×10^{-6}		
	0,310		4×10^{-6}		
Brokoli	0,370	0,377	$4,9 \times 10^{-5}$	$5,17 \times 10^{-3}$	1,37
	0,374		9×10^{-6}		
	0,380		9×10^{-6}		
	0,379		4×10^{-6}		
	0,383		$3,6 \times 10^{-5}$		
Buncis	0,359	0,358	1×10^{-6}	$4,47 \times 10^{-3}$	1,25
	0,353		$2,5 \times 10^{-5}$		
	0,365		$4,9 \times 10^{-5}$		
	0,357		1×10^{-6}		
	0,356		4×10^{-6}		

Dari data perhitungan didapatkan %RSD pada sampel jagung, brokoli dan buncis masing-masing sebesar 1,93 %; 1,37 %; dan 1,25%.

Akurasi

Akurasi dilakukan dengan mengukur kadar sampel dan sampel yang telah ditambahkan larutan standar (*spike*) atau standar adisi.

Tabel 2. Hasil penentuan akurasi fosfat

Sampel	[PO ₄] yang Ditambahkan (mg L ⁻¹)	$\bar{A}$	Ca	Cb	Cs	Perolehan Kembali (%)
Jagung	0	0,290				
	0,01	0,395	0,014	$2,05 \times 10^{-3}$	0,011	108,64
	0,02	0,452	0,022	$2,05 \times 10^{-3}$	0,019	105
	0,03	0,546	0,035	$2,05 \times 10^{-3}$	0,031	106,29
	0,04	0,617	0,045	$2,05 \times 10^{-3}$	0,040	107,37
	0,05	0,686	0,055	$2,05 \times 10^{-3}$	0,049	108,30
Brokoli	0	0,350				
	0,01	0,465	0,024	0,012	0,011	109,09
	0,02	0,523	0,032	0,012	0,019	105,26
	0,03	0,628	0,046	0,012	0,031	109,68
	0,04	0,685	0,055	0,012	0,040	107,50
	0,05	0,760	0,065	0,012	0,049	109,20
Buncis	0	0,335				
	0,01	0,439	0,020	$9,07 \times 10^{-3}$	0,011	99,36
	0,02	0,503	0,029	$9,07 \times 10^{-3}$	0,019	104,89
	0,03	0,600	0,043	$9,07 \times 10^{-3}$	0,031	109,45
	0,04	0,670	0,052	$9,07 \times 10^{-3}$	0,040	109,50
	0,05	0,731	0,061	$9,07 \times 10^{-3}$	0,049	105,98

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan %recovery pada sampel jagung, brokoli dan buncis masing – masing sebesar 107,12%; 108,15% dan 105,87%. Penentuan Kadar Fosfor Dalam Sampel. Setelah metode sudah dinyatakan valid berdasarkan parameter validasi metode, metode dilakukan kedalam pengaplikasian ke dalam sampel sayuran. Metode yang dilakukan dengan cara standar adisi

atau penambahan sampel ke dalam larutan standar yang sudah diketahui konsentrasinya. Konsentrasi fosfat yang ditambahkan sebesar $0,01 - 0,05 \text{ mg L}^{-1}$. Setelah dihitung didapatkan kadar fosfor dalam sampel jagung sebesar $6,034 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$ dan pada sampel brokoli $8,078 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$ dan pada sampel buncis sebesar $7,086 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$.

Kesimpulan

1. Analisis fosfat secara spektrofotometri UV-Vis dalam suasana asam menghasilkan kompleks senyawa heterofosfomolibdat yang memiliki panjang gelombang maksimum 729 nm.
2. Metode analisis fosfat menggunakan pereaksi ammonium molibdat dalam suasana asam secara spektrofotometri UV-Vis telah memenuhi syarat validasi metode analisis.
3. Hasil analisis kandungan fosfat dalam sampel jagung sebesar $6,034 \times 10^{-6} \text{ mg g}^{-1}$, kadar fosfat untuk sampel brokoli sebesar $8,078 \times 10^{-6} \text{ mg g}^{-1}$ dan pada sampel buncis didapatkan kadar fosfat sebesar $7,086 \times 10^{-6} \text{ mg g}^{-1}$. Sehingga kandungan fosfat sayuran tidak melebihi baku mutu keamanan pangan menurut Persatuan Ahli Gizi Indonesia (PERSAGI) tahun 2009.

Daftar Pustaka

- Alzamel, N. M., Taha, E. M. M., Bakr, A. A. A., & Loutfy, N. (2022). Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties, Growth Yield, and Physiochemical Properties of Sunflower Seeds and Oils. *Sustainability*, 14(19), 12928. <https://doi.org/10.3390/su141912928>
- Anand, A., & Aoyagi, H. (2023). Understudied Hyperphosphatemia (Chronic Kidney Disease) Treatment Targets and New Biological Approaches. *Medicina*, 59(5), 959. <https://doi.org/10.3390/medicina59050959>
- Dey, S., Veerendra, G. T. N., Phani Manoj, A. V., & Anjaneya Babu, P. S. S. (2023). Performances of plant leaf biosorbents for biosorption of phosphorous from synthetic water. *Cleaner Materials*, 8, 100191–100191. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100191>
- Feng, Q., Kim, J. H., Omiyale, W., Bešević, J., Conroy, M., May, M., Yang, Z., Wong, S. Y., Tsoi, K. K., Allen, N., & Lacey, B. (2022). Raw and Cooked Vegetable Consumption and Risk of Cardiovascular Disease: A Study of 400,000 Adults in UK Biobank. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.831470>
- Flint, E. M., Ascott, M. J., Gooddy, D. C., Stahl, M. O., & Ben W.J. Surridge. (2023). Watermain Leakage and Outdoor Water Use Are Responsible for Significant Phosphorus Fluxes to the Environment Across the United States. *Global Biogeochemical Cycles*, 37(3). <https://doi.org/10.1029/2022gb007614>
- Forber, K. J., Rothwell, S. A., Metson, G. S., Jarvie, H. P., & Withers, P. J. A. (2020). Plant-based diets add to the wastewater phosphorus burden. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9271>
- Habibah, N., Dhyanaputri, I. G. A. S., Karta, I. W., Sundari, C. D. W. H., & Hadi, M. C. (2018). A simple spectrophotometric method for the quantitative analysis of phosphate in the water samples. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 7(2), 198. <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v7i2.13940>
- Hess, J. M., Cifelli, C. J., Agarwal, S., & Fulgoni, V. L. (2019). Comparing the cost of essential nutrients from different food sources in the American diet using NHANES 2011–2014. *Nutrition Journal*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12937-019-0496-5>

- Iqbal, M., Nazir, F., Maheshwari, C., Chopra, P., Himanshu Chhillar, & Nese Sreenivasulu. (2023). Mineral nutrients in plants under changing environments: A road to future food and nutrition security. *The Plant Genome*, 16(4). <https://doi.org/10.1002/tpg2.20362>
- Kolodiazhyi, O. I. (2021). Phosphorus Compounds of Natural Origin: Prebiotic, Stereochemistry, Application. *Symmetry*, 13(5), 889. <https://doi.org/10.3390/sym13050889>
- Kumar, S., Kumar, S., & Mohapatra, T. (2021). Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.665583>
- Mng'ong'o, M. E., Munishi, L. K., & Ndakidemi, P. A. (2022). Increasing agricultural soil phosphate (P) status influences water P levels in paddy farming areas: Their implication on environmental quality. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100259. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100259>
- Qin, Y., Li, H., Ma, S., Li, K., Zhang, X., Hou, D., Zheng, X., Wang, C., Lyu, P., Xu, S., & Zhang, W. (2022). Recovery and utilization of phosphorus from fruit and vegetable wastewater. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04430-1>
- Raddatz, N., Morales de los Ríos, L., Lindahl, M., Quintero, F. J., & Pardo, J. M. (2020). Coordinated Transport of Nitrate, Potassium, and Sodium. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00247>
- Zhang, J., Sun, Y., Cao, Z., Li, C., Zhu, M., & Zhu, P. (2022). Long-term fertilization impacts on soil phosphorus forms using XANES and NMR spectroscopy. *Archives of Agronomy and Soil Science/Archiv Für Acker- Und Pflanzenbau Und Bodenkunde*, 69(8), 1266–1281. <https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2082417>