



Prediksi Unsur Hara Sampel Tanah Menggunakan *Near Infrared Spectroscopy*

Prediction of Soil Macro Nutrients Using Near Infrared Spectroscopy

Opal Priya Wening, Risvan Kuswurjanto

Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), Pasuruan

Email: opalpriyawening@gmail.com

ABSTRAK

Dalam upaya mengoptimalkan produktivitas tebu, penentuan karakteristik dan konsentrasi unsur hara tanah perlu dilakukan menggunakan metode analisa yang sesuai. Metode analisa ini diperlukan terutama untuk menganalisa perlakuan lahan serta ketepatan dosis dan jenis pemupukan. Salah satu metode alternatif analisis kandungan sampel secara cepat, efektif, ramah lingkungan, dan tidak merusak sampel adalah menggunakan *near infrared spectroscopy* (NIRS). Sampel yang digunakan dalam percobaan ini berasal dari Laboratorium Tanah di P3GI (Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia). Parameter yang dianalisa yaitu pH, nitrogen (N, %), fosfat (P_2O_5 , ppm), dan kalium (K_2O , ppm). Sebanyak 64 sampel tanah digunakan untuk kalibrasi dan 30% untuk validasi. Spektrum NIRS diperoleh dari FOSS XDS *rapid content analysis* (400 – 2.400 nm, *reflectance mode*) dan data statistik diolah menggunakan *vision software* dengan model yang dibangun berdasarkan *partial least square* (PLS). Hasil evaluasi dari penelitian menunjukkan bahwa model yang dibangun untuk memprediksi parameter pH ($R^2 = 0,951$; $r^2 = 0,511$; SEP = 1,428; RPD = 1,440; *consistency* = 22,321%; dan $\Delta = 0,1776$) dan nitrogen $R^2 = 0,767$; $r^2 = 0,665$; SEP = 0,025; RPD = 1,749; *consistency* = 97,745%; dan $\Delta = 0,0131$) performanya masih cukup baik, sedangkan lainnya masih kurang. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, NIRS memiliki potensi sebagai metode analisa kualitas tanah namun model yang dibangun masih perlu ditingkatkan keakuratannya.

Copyright © 2023 by Authors, Published by ISRJ Group. This is an open access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Kata kunci: tanah, produktivitas, NIRS, PLS

ABSTRACT

In order to optimize sugarcane productivity, determination characteristic and concentration of soil nutrition needs a suitable analysis method. The analysis method requires to analyse land treatments, fertilization dosage and type. One of the alternative methods of analyzing sample content that are fast, effective, environmentally friendly, and not destroying the sample is using near-infrared spectroscopy (NIRS). The samples used in this experinet were from the Soil Laboratory at ISRI (Indonesian Sugar Research Institute). Parameters analysed were pH, nitrogen (N, %), phosphate (P_2O_5 , ppm), and potassium (K_2O , ppm). About 64 samples were used for calibration and 30% of them was for validation. NIRS spectrum was

obtained from FOSS XDS rapid content analysis (400 – 2.400 nm, reflectance mode) and statistical data were processed using vision software with a model built based on partial least squares (PLS). The evaluation results from this study showed that the model built to predict pH parameters ($R^2 = 0,951$; $r^2 = 0,511$; $SEP = 1,428$; $RPD = 1,440$; consistency = 22,321%; and = 0,1776) and nitrogen $R^2 = 0,767$; $r^2 = 0,665$; $SEP = 0,025$; $RPD = 1,749$; consistency = 97,745%; and = 0,0131) performance was quite good, while others were not good. Based on the evaluation results, NIRS has potential use for a soil analysis, but the built model's accuracy needs to be improved.

Keywords: soil, productivity, NIRS, PLS

PENDAHULUAN

Informasi tentang karakteristik dan konsentrasi unsur hara tanah merupakan salah satu faktor kunci yang secara langsung dapat mempengaruhi pertumbuhan, perkembangan, dan produktivitas dari tanaman (Yamani, 2012; Xiao & He, 2019). Secara ideal, tanaman akan memiliki produktivitas optimal apabila ketersediaan unsur hara dalam tanah tercukupi. Tingkat kesuburan tanah dapat ditentukan dengan status keberadaan unsur hara tanah baik makro maupun mikro. Aplikasi pupuk yang kurang tepat baik secara waktu aplikasi maupun dosisnya akan menyebabkan terjadinya penurunan produktivitas, berimplikasi terhadap jumlah yang tidak efisien secara ekonomi, bahkan berdampak negatif untuk lingkungan (Mulyono, 2009; Wang *et al.*, 2018). Verifikasi penentuan karakteristik dan konsentrasi unsur hara tanah serta ketepatan dosis dan jenis pemupukan dapat dilakukan dengan melakukan analisa kandungan unsur hara tanah.

Permasalahan yang seringkali dihadapi adalah data karakteristik unsur hara tidak dapat diperoleh dalam waktu cepat. Hal ini dikarenakan karena metode analisa kimia (konvensional) membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasilnya. Selain itu metode analisa tanah menggunakan jumlah sampel yang terbatas, memerlukan biaya yang tinggi dan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan akibat penggunaan bahan kimia (Nanni &

Demattê, 2006). Data karakteristik tanah dari hasil analisis seharusnya segera diketahui untuk dapat digunakan sebagai acuan perlakuan lahan serta ketepatan dosis dan jenis pemupukan untuk optimalisasi produktivitas tanaman.

Metode alternatif yang sedang berkembang untuk mengetahui konsentrasi atau nilai unsur hara tanah secara cepat, efektif, ramah lingkungan, dan tanpa merusak bahan (*non-destructive*) adalah menggunakan instrumen dengan metode *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS). Metode ini tidak merusak bahan (*non-destructive*), biaya efisien, tidak menggunakan bahan kimia, ramah lingkungan, hasil yang diperoleh cepat, dan secara bersamaan dapat mengidentifikasi banyak komponen/parameter dalam satu spektrum. Prinsip kerja NIRS adalah menggunakan penyerapan cahaya oleh bahan organik yang berada pada wilayah tampak *near infrared* (400 - 2.500 nm) dari spektrum elektromagnetik (Cañasveras *et al.*, 2012; Viscarra Rossel *et al.*, 2010). Bahan organik akan menyerap frekuensi tertentu saat disinari oleh radiasi tampak *near infrared*, kemudian memberi respon berupa pantulan (*reflectance*), serapan (*absorbance*), dan terusan (*transmittance*) (Munawar *et al.*, 2016). Detektor akan memonitor cahaya yang dipantulkan, kemudian transformasi menjadi komponen pada frekuensi spektrum.

Beberapa studi yang telah dilakukan untuk menganalisa tanah menggunakan NIRS, diantaranya pengukuran kadar bahan

organik dapat dilakukan dengan NIRS (Kooistra *et al.*, 2001; Debaene *et al.*, 2010). Selain itu pengukuran makro dan *trace* mineral magnesium (Debaene *et al.*, 2010), kelembaban (Vaknin *et al.*, 2011), kelepungan (Martínez-España *et al.*, 2018; Debaene *et al.*, 2010), komponen besi (Waruru *et al.*, 2016), kontaminasi (Pb, Zn, dan Cu) (Guo *et al.*, 2017; Mohamed *et al.*, 2018; Moros *et al.*, 2009; Peltre *et al.*, 2011; Soriano-Disla *et al.*, 2019), stok karbon (Bellon-Maurel & McBratney, 2011), fraksi fosfat (Niederberger *et al.*, 2015), pH (Pinheiro *et al.*, 2017), serta karakteristiknya (Guo *et al.*, 2017; Peltre *et al.*, 2011) juga telah berhasil dilakukan dengan NIRS. Meskipun demikian, penelitian terkait NIRS masih perlu dilakukan dan dikembangkan sebagai perbaikan spektrum pantulan yang dihasilkan serta keakuratan hasil prediksi. Penelitian ini akan bertujuan dan berfokus pada pemanfaatan metode NIRS untuk menganalisis kandungan unsur hara sampel tanah terutama parameter pH dan makro (N, P, dan K).

METODE

Waktu dan Tempat

Koleksi (*scan*) dan pengolahan data pada penelitian ini dilakukan selama 3 bulan, yaitu bulan Januari – Maret tahun 2022. Tempat penelitian di Laboratorium Pengujian Tanah; Laboratorium Jasa, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), Pasuruan.

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah yang di ambil dari berbagai wilayah Indonesia dan diperoleh dari Laboratorium Pengujian Tanah, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI). Bahan lainnya adalah bahan kimia untuk analisa metode kimia secara konvensional dalam menentukan nilai parameter yang diteliti. Alat yang

digunakan adalah alat untuk mengukur *reflectance* sampel tanah menggunakan NIRS FOSS XDS *Rapid Content Analyzer*, *sample cell (solid)*, dan pengolahan statistik menggunakan program *Vision Software (windows infrasoftware international, versi 4.10.0.15326)* untuk pengolahan statistik. Selain itu, alat yang digunakan untuk analisa metode kimia secara konvensional yaitu mesin penggiling tanah tipe *dish mill*, labu ukur, neraca analitik, cawan petri, pipet, gelas ukur, ayakan 200 mesh, oven, pH meter, dan beberapa alat lainnya.

Metode Penelitian

Tahap Persiapan Sampel

Sampel tanah dari lahan selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C. Setelah kering, sampel digiling menggunakan mesin *dish mill* dan diayak menggunakan ukuran 200 mesh sehingga didapatkan sampel tanah yang halus dan bersih dari akar atau jaringan tanaman, kerikil, serta kotoran lainnya.

Tahap Pengujian Metode Kimia Secara Konvensional

Setiap sampel tanah dilakukan analisa dengan parameter: pH, nitrogen (N), fosfat (P₂O₅), dan kalium (K₂O) menggunakan metode kimia secara konvensional yang digunakan di Laboratorium Pengujian Tanah, P3GI.

Tahap Pengujian Metode NIRS

Setiap sampel tanah ditimbang sebanyak ±50,00 gr dan diletakkan pada *sampler cell (solid)*, kemudian di *scan* dengan vis-NIR dengan panjang gelombang 400 – 2.400 nm menggunakan instrumen NIRS FOSS XDS *Rapid Content Analyzer* mode pantulan (*reflectance mode*). Keseluruhan analisis proses dan statistik dianalisa menggunakan program *Vision Software (windows infrasoftware international, versi 4.10.0.15326)* kemometrik *package*. Data dari hasil pantulan kemudian

dikonversi sehingga didapatkan data spektrum absorbansi.

Tahap Kalibrasi, Validasi, dan Evaluasi

Data hasil analisis sampel kalibrasi secara konvensional dimasukkan ke program *Vision Software* sesuai dengan kode sampel kalibrasi spektrum NIRS. Model dikembangkan dengan menggunakan metode silang (*cross-method*) antara sampel kalibrasi dan validasi. Pembuatan model untuk sampel tanah mengacu pada penelitian Devianti *et al.* (2019) dengan menggunakan persamaan statistik *Partial Least Square* (PLS) dengan *full spectra* (400 – 2.400 nm). Kemudian, untuk menentukan dan mengevaluasi dari performa model yang dihasilkan, maka membandingkan antara kedua metode (konvensional & NIRS) yang sudah dilakukan dibandingkan dan divalidasi sehingga menghasilkan koefisien korelasi.

Parameter yang dievaluasi antara lain: R^2 , r^2 , *error (standard error calibration (SEC), standard error of cross-validation (SECV), & standard error prediction (SEP)), residual predictive deviation (RPD), consistency*, dan selisih prediksi (Δ) (Rinnan *et al.*, 2009; Sari *et al.*, 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan ketepatan dosis dan jenis pemupukan digunakan sebagai upaya untuk dapat memaksimalkan produktivitas tanaman yang dapat dilakukan dengan analisa kandungan unsur hara sampel tanah, terutama parameter pH dan makro (nitrogen, fosfat dan kalium). Penggunaan instrumen NIRS merupakan salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil analisa tanah yang lebih cepat dan efisien.

Tabel 1. Data set karakteristik sampel tanah
Tabel 1. Soil sample characteristic data set

<i>Properties</i>	pH		Nitrogen <i>Nitrogen</i>		Fosfat <i>Phosphate</i>		Kalium <i>Potassium</i>	
	-		%		ppm		ppm	
	CA	VA	CA	VA	CA	VA	CA	VA
Rerata <i>Mean</i>	5,45	6,58	0,13	0,11	21,83	3,46	218,32	223,55
Minimal <i>Minimum</i>	3,07	3,12	0,01	0,06	0,03	0,47	62,00	62,00
Maksimum <i>Maximum</i>	8,15	8,38	0,33	0,22	303,00	136,00	816,00	600,00
Standar deviasi (SD) <i>Deviation standard (DS)</i>	1,43	2,06	0,05	0,04	47,49	38,97	150,79	129,01

Keterangan: CA = calibration; VA = validation

Data Set untuk Kalibrasi dan Validasi

Sampel tanah yang digunakan sebagai data set adalah 64 sampel untuk kalibrasi dan 30% dari jumlah sampel kalibrasi untuk

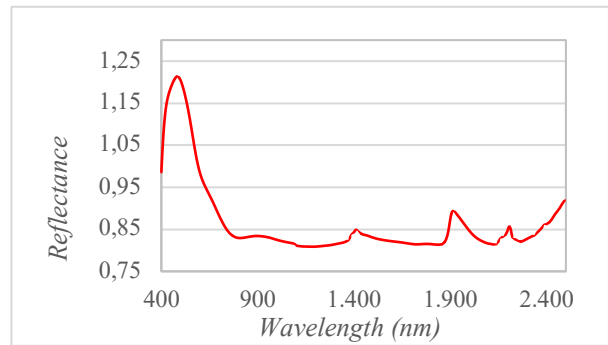
validasi. Pengukuran dan analisa sampel tanah kalibrasi dilakukan menggunakan metode konvensional dan NIRS, sedangkan sampel tanah validasi (untuk prediksi)

menggunakan metode NIRS. Hasil pengukuran metode konvensional dari karakteristik pH dan unsur hara makro sampel tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil *data set* yang terdapat pada Tabel 1, sebaran data kalibrasi-validasi semua parameter dalam kondisi hampir identik sehingga bisa dikatakan penyusunan data sudah baik.

Spektrum Sampel Tanah

Hasil *scan* karakteristik spektrum tanah original (berbentuk bubuk halus dan bersih) menggunakan metode NIRS dengan panjang gelombang *full spectra* 400 – 2.400 nm dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil dari karakteristik spektrum menunjukkan keberadaan komponen kimia dari tanah akibat interaksi ikatan molekul O-H, C-H,

C-O, dan N-H. Selain karena faktor kimia, puncak, serta lembah, spektrum juga dipengaruhi oleh sifat fisik bahan (Blanco & Villarroya, 2002).



Gambar 3. Karakteristik spektrum sampel tanah mode pantulan (refleksi)
 Figure 3. *Spectrum characteristics of the reflectance mode soil sample*

Tabel 2. Performa statistik pada kalibrasi-prediksi sampel tanah dari kedua metode
 Table 2. *Statistical performance on soil sample calibration-validation of both methods*

Evaluasi performa <i>Performance evaluation</i>		Parameter <i>Parameter</i>			
		pH <i>pH</i>	Nitrogen <i>Nitrogen</i>	Fosfat <i>Phosphate</i>	Kalium <i>Potassium</i>
<i>Number of PLS</i>		9	9	9	9
Kalibrasi <i>Calibration</i>	N	53	58	58	58
	R ²	0,951	0,767	0,754	0,938
	SEC	0,319	0,025	23,916	37,269
	SECV	1,663	0,030	24,772	108,388
	SEL	0,323	0,031	26,941	37,415
	CV _{SEL}	5,938	24,662	123,436	17,138
<i>Mean difference</i>		0,032	-0,003	-2,684	-2,996
Prediksi <i>Prediction</i>	N	18	18	18	18
	r ²	0,511	0,665	0,625	0,453
	SEP	1,428	0,025	23,622	100,088
	RPD	1,440	1,749	1,650	1,289
	<i>Consistency, %</i>	22,321	97,745	101,245	37,236

Tabel 3. Nilai rerata prediksi analisis pH dan unsur hara makro dengan metode NIRS
 Table 3. Prediction value of pH and macro nutrients analysis with NIRS method

Metode analisis <i>Analysis method</i>	Hasil rerata <i>Mean result</i>			
	pH <i>pH</i>	Nitrogen <i>Nitrogen</i>	Fosfat <i>Phosphate</i>	Kalium <i>Potassium</i>
Konvensional <i>Conventional</i>	5,5320	0,1370	11,6770	227,2900
NIRS (prediksi) <i>NIRS (prediction)</i>	5,7096	0,1239	22,5181	232,3196
Δ	-0,1776	0,0131	-10,8411	-5,0296
Δ^2	0,0315	0,0002	117,5297	25,2966

Hasil Pengolahan Statistik dan Prediksi

Penentuan dan pengembangan model ditentukan dengan mengolah data kalibrasi-validasi menggunakan *cross-validation* dan statistik PLS *full spectra* (400 – 2.400 nm). Faktor PLS yang digunakan yaitu bernilai 9. Nilai ini digunakan sebagai upaya untuk menghindari *overfitting* dari model yang dibangun (Cozzolino *et al.*, 2005). Hasil dari pengolahan data berupa performa statistik dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil dari pengembangan model kemudian di *test* dan dilihat selisih nilai reratanya sebagai evaluasi prediksi metode NIRS yang dapat dilihat pada Tabel 3. Keseluruhan hasil pengolahan tersebut perlu dievaluasi dengan parameter: R^2 , r^2 , *error* (SEC, SECV, dan SEP), RPD, *consistency*, dan selisih prediksi (Δ).

Evaluasi Performa: Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi (R^2 dan r^2) merupakan nilai keberterimaan suatu hubungan linier antar variabel dalam menerangkan keragaman nilai peubah tak bebas. Evaluasi performa R^2 menyatakan hubungan untuk sampel kalibrasi, namun untuk r^2 menyatakan sampel validasi. Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4 dapat diketahui bahwa performa koefisien korelasi untuk kalibrasi (R^2) yang memiliki nilai diatas 0,900 yaitu parameter pH (0,951) dan kalium (0,938), sedangkan

untuk nilai dibawah 0,900 yaitu parameter nitrogen (0,767) dan fosfat (0,754). Setelah dilakukan *cross-validation*, performance koefisien korelasi untuk validasi (r^2) pada seluruh parameter hanya memiliki nilai dibawah 0,670. Menurut (Elfadl *et al.*, 2010), nilai koefisien korelasi yang paling baik adalah ketika mendekati 1,000. Hal ini berarti, model yang dibangun dari spektrum absorbansi NIRS *full spectra* kalibrasi (R^2) menggunakan statistik PLS sudah sangat baik untuk parameter pH dan kalium. Sementara itu, untuk model validasi (r^2) pada seluruh parameter belum dapat mendekati standar nilai kuantitatif.

Evaluasi Performa: Error

Error (SEC, SECV, dan SEP) merupakan nilai selisih antara nilai hasil dugaan (prediksi) dan nilai sebenarnya (konvensional). Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa performa *error* (SEC, SECV, & SEP) yang memiliki nilai rendah dan mendekati 0,00 yaitu parameter pH (0,319; 1,663; 1,429) dan nitrogen (0,025; 0,030; 0,025), sedangkan untuk nilai tinggi yaitu terdapat pada parameter fosfat (23,916; 24,772; 23,622) dan kalium (37,269; 108,388; 100,088). Berdasarkan data tersebut, semakin tinggi nilai *error* (menjauhi nilai 0,00) maka model yang dibangun pada saat proses

kalibrasi, kalibrasi-validasi, dan prediksi masih belum baik.

Evaluasi Performa: RPD dan Consistency

RPD merupakan nilai yang dapat menilai kemampuan NIRS dalam memprediksi berbagai parameter sampel. Sedangkan *consistency* merupakan perbandingan nilai *error* antara SEC dan SEP (rasio SEC/SEP). Menurut (Bobelyn *et al.*, 2010), nilai RPD dapat dikelompokkan menjadi empat tipe, yaitu tipe I: model cukup baik & memerlukan perbaikan selama aplikasinya (antara 1,5 – 1,9); tipe II: model dapat memprediksi dengan akurat & bagus (antara 2,0 – 2,5); tipe III: model yang sangat akurat (antara 2,5 – 3,0); serta tipe IV: model yang sangat baik & handal (lebih dari 3,0). *Consistency* dari model dapat dinilai baik apabila berada pada nilai antara 80 – 110% (Nirxal 5.5 Manual, 2013).

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa performa RPD untuk seluruh parameter masih bernilai kurang dari 1,750 sehingga dapat dimasukkan kedalam kelompok model tipe I. Menurut (Saeys *et al.*, 2005), nilai RPD kurang dari 1,500 menunjukkan bahwa data kalibrasi tidak dapat digunakan untuk memprediksi. *Consistency* yang sesuai dengan rekomendasi 80 – 100% hanya terdapat pada parameter Nitrogen (97,745%). Performa RPD dan *consistency* dalam percobaan ini tetap memerlukan perbaikan supaya model yang dibangun dapat tetap konsisten dan mampu mencakup atau mewakili keseluruhan *range* nilai dari suatu parameter.

Evaluasi Performa: Selisih Prediksi

Selisih prediksi (Δ) merupakan nilai yang menunjukkan tingkat perbedaan nilai performa dari setiap hasil parameter antara metode NIR (model dan instrumen) dan metode konvensional. Berdasarkan Tabel 3

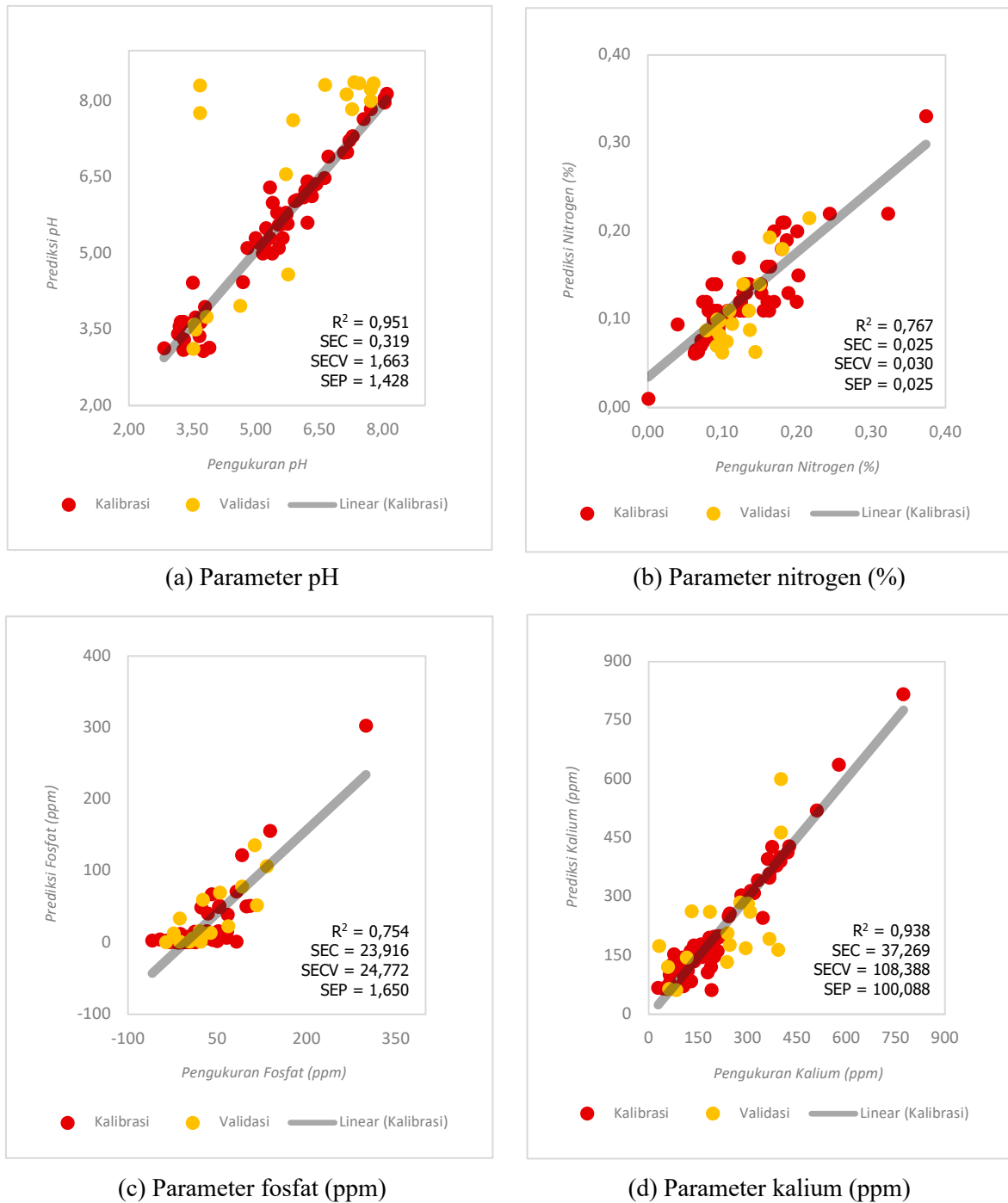
dapat dilihat bahwa selisih prediksi paling kecil terdapat pada parameter pH (0,1776) dan nitrogen (0,0131), sedangkan untuk selisih paling besar yaitu pada parameter kalium (5,0296) dan fosfat (10,8411). Semakin kecil nilai selisih keduanya (mendekati nol) menunjukkan bahwa metode NIRS tersebut dapat digunakan (Yarce & Rojas, 2012).

Perbandingan Data Hasil Evaluasi dengan Literatur

Model yang telah dibangun selanjutnya dievaluasi dengan membandingkan antara hasil yang sudah didapatkan dengan studi literatur. Data nilai setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai R^2 dan SEP memiliki kemiripan yaitu pada jumlah sampelnya < 200 . Terlihat bahwa sampel yang digunakan masih kurang dan membutuhkan jumlah yang lebih banyak lagi supaya nilai data hasil evaluasi NIRS lebih baik.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode NIRS memungkinkan dan memiliki potensi untuk mengetahui beberapa parameter kualitas tanah. Hasil evaluasi performa model untuk parameter pH, nitrogen, fosfat, dan kalsium menunjukkan nilai yang sangat beragam. Koefisien korelasi R^2 yang mendekati nilai standar hanya terdapat pada parameter pH, sedangkan r^2 untuk keseluruhan parameter masih jauh dari nilai standar. *Error* (SEC, SECV, dan SEP), RPD dan *consistency*, serta selisih prediksi (Δ) pada seluruh parameter masih belum baik. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan memperbanyak koleksi data kalibrasi-validasi sampel tanah dan menentukan *range* wilayah panjang gelombang (*non-full spectra*). Upaya tersebut diharapkan dapat memperbaiki model prediksi NIRS supaya dapat lebih baik dan akurat performanya.



Gambar 4. *Plot kalibrasi dan validasi beberapa parameter analisa dari metode konvensional (x) dengan NIRS Spectroscopy (y) menggunakan sampel tanah*

Figure 4. *Plot calibration and validation of several analytical parameters from conventional method (x) with NIRS Spectroscopy (y) using soil samples*

Tabel 4. Perbandingan data statistik hasil evaluasi NIRS dengan literatur (R^2 dan SEP)
 Table 4. Comparison of statistical data evaluation for NIRS with literature (R^2 and SEP)

Parameter <i>Parameter</i>		Jumlah sampel <i>Number of samples</i>		R^2		SEP	
		Hasil pengamatan <i>This research</i>	Literatur <i>Literature</i>	Hasil pengamatan <i>This research</i>	Literatur <i>Literature</i>	Hasil pengamatan <i>This research</i>	Literatur <i>Literature</i>
pH <i>pH</i>	-	53	135	0,95	0,91	1,428	0,070
Nitrogen <i>Nitrogen</i>	%	58	135	0,77	0,93	0,025	4,380
Fosfat <i>Phosphate</i>	ppm	58	135	0,75	0,47	23,622	33,370
Kalium <i>Potassium</i>	ppm	58	135	0,93	0,68	100,088	49,490

Sumber: (He *et al.*, 2007)

DAFTAR PUSTAKA

- Bellon-Maurel, V., & McBratney, A. (2011). Near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopic techniques for assessing the amount of carbon stock in soils - critical review and research perspectives. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7), 1398–1410. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.019>
- Blanco, M., & Villarroya, I. (2002). NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 21(4), 240–250. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(02\)00404-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(02)00404-1)
- Bobelyn, E., Serban, A. S., Nicu, M., Lammertyn, J., Nicolai, B. M., & Saeys, W. (2010). Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: Study of the effect of biological variability on spectra and model performance. *Postharvest Biology and Technology*, 55(3), 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.09.006>
- Cañasveras, J. C., Barrón, V., del Campillo, M. C., & Viscarra Rossel, R. A. (2012). Reflectance spectroscopy: a tool for predicting soil properties related to the incidence of Fe chlorosis. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(4), 1133–1142. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012104-681-11>
- Cozzolino, D., Murray, I., Chree, A., & Scaife, J. R. (2005). Multivariate determination of free fatty acids and moisture in fish oils by partial least-squares regression and near-infrared spectroscopy. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, LWT*, 38(8), 821–828. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.10.007>
- Debaene, G., Niedźwiecki, J., & Pecio, A. (2010). Visible and near-infrared spectrophotometer for soil analysis: preliminary results. *Polish Journal of*

- Agronomy*, 3, 3–9.
- Elfadl, E., Reinbrecht, C., & Claupein, W. (2010). Development of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) calibration model for estimation of oil content in a worldwide safflower germplasm collection. *International Journal of Plant Production*, 4(4), 259–270.
- Guo, L., Zhao, C., Zhang, H., Chen, Y., Linderman, M., Zhang, Q., & Liu, Y. (2017). Comparisons of spatial and non-spatial models for predicting soil carbon content based on visible and near-infrared spectral technology. *Geoderma*, 285, 280–292. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.010>
- He, Y., Huang, M., García, A., Hernández, A., & Song, H. (2007). Prediction of soil macronutrients content using near-infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58(2), 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.03.011>
- Kooistra, L., Wehrens, R., Buydens, L. M. C., Leuven, R. S. E. W., & Nienhuis, P. H. (2001). Possibilities of soil spectroscopy for the classification of contaminated areas in river floodplains. *ITC Journal*, 3(4), 337–344. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(01\)85041-8](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85041-8)
- Martínez-España, R., Bueno-Crespo, A., Soto, J., Janik, L. J., & Soriano-Disla, J. M. (2018). Developing an intelligent system for the prediction of soil properties with a portable mid-infrared instrument. *Biosystems Engineering*, 177, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.013>
- Mohamed, E. S., Saleh, A. M., Belal, A. B., & Gad, A. A. (2018). Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.02.001>
- Moros, J., Martínez-Sánchez, M. J., Pérez-Sirvent, C., Garrigues, S., & de la Guardia, M. (2009). Testing of the region of murcia soils by near infrared diffuse reflectance spectroscopy and chemometrics. *Talanta*, 78(2), 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.11.041>
- Mulyono, D. (2009). Pengaruh pupuk akar (NPK) dengan pupuk daun (multimikro) dan zat pengatur tumbuh (ethrel) terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman lada. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 11(3)(November), 139–144. <http://ejurnal2.bppt.go.id/index.php/JSTI/article/view/832/665>
- Munawar, A. A., Hörsten, D. V., Mörlein, D., Pawelzik, E., & Wegener, J. K. (2016). Rapid and non-destructive prediction of mango sweetness and acidity using near infrared spectroscopy. In *Lecture Notes in Informatics (LNI). Proceedings - Series of the Gesellschaft Fur Informatik (GI), P-211*, 219–222.
- Nanni, M. R., & Demattê, J. A. M. (2006). Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 393–407. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.0285>
- Niederberger, J., Todt, B., Boča, A., Nitschke, R., Kohler, M., Kühn, P., & Bauhus, J. (2015). Use of near-infrared spectroscopy to assess phosphorus fractions of different plant availability in forest soils. *Biogeosciences*, 12(11), 3415–3428. <https://doi.org/10.5194/bg-12-3415-2015>
- Nircal 5.5 Manual. (2013). Nircal Manual.

- In *Buchi Labortechnik AG, CH Flawil*.
- Peltre, C., Thuriès, L., Barthès, B., Brunet, D., Morvan, T., Nicolardot, B., Parnaudeau, V., & Houot, S. (2011). Near infrared reflectance spectroscopy: a tool to characterize the composition of different types of exogenous organic matter and their behaviour in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(1), 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.09.036>
- Pinheiro, É. F. M., Ceddia, M. B., Clingensmith, C. M., Grunwald, S., & Vasques, G. M. (2017). Prediction of soil physical and chemical properties by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in the Central Amazon. *Remote Sensing*, 9(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs9040293>
- Saeyes, W., Mouazen, A. M., & Ramon, H. (2005). Potential for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Biosystems Engineering*, 91(4), 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemsen g.2005.05.001>
- Soriano-Disla, J. M., Janik, L. J., Forrester, S. T., Grocke, S. F., Fitzpatrick, R. W., & McLaughlin, M. J. (2019). The use of mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for acid sulfate soil analysis. *Science of the Total Environment*, 646, 1489–1502. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.383>
- Vaknin, Y., Ghanim, M., Samra, S., Dvash, L., Hendelsman, E., Eisikowitch, D., & Samocha, Y. (2011). Predicting *Jatropha curcas* seed-oil content, oil composition and protein content using near-infrared spectroscopy—a quick and non-destructive method. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 1029–1034. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.011>
- Viscarra Rossel, R. A., Rizzo, R., Demattê, J. A. M., & Behrens, T. (2010). Spatial modeling of a soil fertility index using visible-near-infrared spectra and terrain attributes. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4), 1293–1300. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0130>
- Wang, K., Zhao, Y., Yang, Z., Lin, Z., Tan, Z., Du, L., & Liu, C. (2018). Concentration and characterization of groundwater colloids from the northwest edge of Sichuan basin, China. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 537, 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.08.032>
- Waruru, B. K., Shepherd, K. D., Ndegwa, G. M., & Sila, A. M. (2016). Estimation of wet aggregation indices using soil properties and diffuse reflectance near infrared spectroscopy: An application of classification and regression tree analysis. *Biosystems Engineering*, 152, 148–164. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemsen g.2016.08.003>
- Xiao, S., & He, Y. (2019). Application of near-infrared spectroscopy and multiple spectral algorithms to explore the effect of soil particle sizes on soil nitrogen detection. *Molecules*, 24(13). <https://doi.org/10.3390/molecules24132486>
- Yamani, A. (2012). Analisis kadar hara makro tanah pada hutan lindung gunung sebatung di Kabupaten Kotabaru. *Jurnal Hutan Tropis*, 12(2), 181–187.
- Yarce, C. J., & Rojas, G. (2012). Near infrared spectroscopy for the analysis of macro and micro nutrients in sugarcane leaves. *Zuckerindustrie*, 137(11), 707–710. <https://doi.org/10.36961/si13611>