

PREDIKSI CEPAT KADAR AIR TANAH MENGGUNAKAN NEAR INFRARED REFLECTANCE SPECTROSCOPY

Syahrul⁽¹⁾, S. Pratiwi⁽¹⁾, Agus A. Munawar⁽¹⁾

Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Indonesia.

Email: syahrul@unsyiah.ac.id

Kandungan air dalam tanah bersifat dinamis dan memainkan peranan penting dalam produksi tanaman. Sehingga, hal tersebut menjadi salah satu penentu pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penentuan kadar air tanah secara berkala, akurat dan cepat sangat diperlukan. Metode yang paling umum dan akurat serta merupakan metode langsung (*direct technique*) untuk menentukan kadar air tanah adalah metode gravimetri. Namun, metode ini harus dilakukan di laboratorium sehingga penerapannya membutuhkan waktu, tenaga dan biaya yang banyak untuk mendapatkan satu nilai kadar air tanah. Salah satu metode tidak langsung yang saat ini belum banyak digunakan untuk memprediksi kadar air tanah adalah metode pantulan infra merah dekat atau *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS). Studi ini bertujuan untuk menguji aplikasi teknologi NIRS sebagai metode cepat dalam memprediksi kadar air tanah serta menentukan metode koreksi spektrum yang terbaik untuk prediksi tersebut. Spektrum NIR dalam rentang wavenumber 4000 – 10000 cm⁻¹ untuk 20 sampel tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) yang berasal dari 20 titik di Aceh Besar. Metode koreksi spektrum infrared yang digunakan adalah *Standard Normal Variate* (SNV), *Peak Normalization* (PN) dan *Savitzky-Golay Smoothing* dengan metode kalibrasinya adalah *Principal Component Regression* (PCR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa koreksi spektrum PN memberikan hasil prediksi paling baik dengan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,921, korelasi (r) sebesar 0,960, nilai error sebesar 1,473 dan nilai RPD sebesar 3,656 yang tergolong *Very Good Performance* (sangat baik). Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa teknologi NIRS mampu memprediksi kadar air tanah dengan selisih antara nilai kadar air tanah aktual dengan nilai prediksi sebesar 1,031%.

Kata kunci: Tanah, NIRS, Kadar air, Prediksi.

PENDAHULUAN

Kandungan air dalam tanah bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh iklim yang ada. Iklim adalah salah satu faktor paling penting untuk menentukan pertumbuhan tanaman (Fageria dkk, 1997). Unsur-unsur iklim seperti radiasi matahari dan curah hujan memainkan peranan penting dalam produksi tanaman. Sehingga, kandungan air dalam tanah juga menjadi penentu pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penentuan kadar air tanah secara berkala, akurat dan cepat sangat diperlukan dalam menginterpretasi hasil penelitian yang berhubungan dengan kebutuhan air tanaman. Metode yang paling umum dan akurat serta merupakan metode langsung (*direct technique*) untuk menentukan kadar air tanah adalah metode gravimetri. Namun, metode ini harus dilakukan di laboratorium sehingga penerapannya membutuhkan waktu, tenaga dan biaya yang banyak untuk mendapatkan satu nilai kadar air tanah. Salah satu metode tidak langsung yang saat ini belum banyak dipakai di Indonesia untuk memprediksi kadar air tanah

adalah metode pantulan infra merah dekat atau *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS).

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi dan Energi, Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh dan di Laboratorium Fisika Tanah, Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni-Juli 2017.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah *self developed Fourier Transform-Near Infrared Reflectance* (FT-NIR) dan perangkat lunak terintegrasi *The Unscramble 10.1*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah yang berasal dari 20 titik di wilayah Kabupaten Aceh Besar.

Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan dan Alat Penelitian

Tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) dari 20 titik yang berbeda di Kabupaten Aceh Besar diambil bagian atasnya (*top soil*) dengan kedalaman 0-30 cm. *Self developed* FT-NIR dengan rentang panjang gelombang 1000 – 2500 nm digunakan untuk mengakuisisi spektrum pantulan *infrared* dari sampel tanah. Metode gravimetri digunakan sebagai metode pengukuran kadar air tanah di Laboratorium Fisika Tanah Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala.

2. Akuisisi Spektrum Infrared untuk Sampel Tanah

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian adalah *self developed* FT-NIR. Menurut Zulfahrizal dkk (2017) kalibrasi *background/reference* bisa di atur tiap jam. Pengendali kerja alat untuk pembuatan *workflow* dan menjalankan *workflow* menggunakan *software termo intregation®* dan *running* alat dilakukan oleh *termo operation®*. *Workflow* dibuat untuk mengatur alat agar bekerja untuk mengakuisisi spectrum *diffuse reflectance*, memindai sampel 32 kali, lalu merata-ratakan hasil pemindaian dalam dua bentuk file *.spa dan *.csv. Adapun selang gelombang yang dipakai antara 1000-2500 nm. Instrumen tersebut memiliki panjang gelombang 1000-2500 nm.

3. Penentuan Kadar Air

Perhitungan kadar air tanah dengan metode Gravimetri menggunakan rumus di bawah ini.

$$W_{md} = \frac{BTA - BTKO}{BTKO} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

BTA = Berat tanah awal (gram) atau berat basah
 BTKO = Berat tanah kering oven (gram).
 (Hillel, 1980).

4. Metode Koreksi Spektrum Infrared

Sebelum digunakan untuk analisa data (membangun model prediksi), spektrum NIR untuk semua sampel tanah terlebih dahulu dilakukan koreksi spektrum. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan berbagai macam *noise* pada spectrum sampel tanah agar hasil prediksi lebih akurat. Metode yang akan digunakan dalam koreksi spectrum ini adalah *Standard Normal Variate* (SNV), *Peak Normalization* (PN) dan *Savitzky-Golay Smoothing*.

5. Model Prediksi Kadar Air

Kadar air tanah diprediksi berdasarkan spektrum NIR yang dihasilkan melalui proses kalibrasi model (pembangunan model). Metode kalibrasi yang akan digunakan adalah metode *Principal Component Regression* (PCR). Justifikasi model (akurasi dan keandalannya) dilihat berdasarkan parameter statistic yaitu: koefisien korelasi (r) antara hasil prediksi dengan hasil pengukuran standar di laboratorium untuk kadar air tanah, *Root Mean Square Error Calibration* (RMSEC) dan *Residual Predictive Deviation* (RPD). Koefisien korelasi, RMSEC dan RPD dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$r = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_m)^2}} \dots\dots\dots(2)$$

$$RMSEC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$RPD = \frac{SD}{RMSEC} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- r = Koefisien korelasi
- \hat{y}_i = Nilai kadar kadar air tanah hasil prediksi ke-i
- y_i = Nilai kadar air tanah hasil pengukuran aktual ke-i
- n = Jumlah observasi dan pengukuran pada data set
- y_m = Nilai kadar air
- RMSEC = *Root mean square error calibration*
- RPD = *Residual Predictive Deviation*
- SD = Nilai standard deviasi pada pengukuran aktual

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Deskripsi Wilayah Penelitian

Kabupaten Aceh Besar terletak pada 5,05° - 5,75° Lintang Utara dan 94,99° - 95,93° Bujur Timur. Sebelah Utara berbatasan dengan Selat Malaka dan Kota Banda Aceh, sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Aceh Jaya, sebelah Timur dengan Kabupaten Pidie, dan sebelah Barat berbatasan dengan Samudera Indonesia. Luas wilayah Kabupaten Aceh Besar adalah 2.903,50 km², sebagian besar wilayahnya berada di daratan

dan sebagian kecil berada di kepulauan. Sekitar 10% desa di Kabupaten Aceh Besar merupakan desa pesisir (BPS, 2016). Umum nya jenis tanah yang terdapat di Kabupaten Aceh Besar berupa

tanah jenis Podsolik Merah Kuning yaitu sekitar 31,55 persen dari seluruh jenis tanah yang ada di kabupaten ini.

Tabel 1. Persentase Jenis Tanah di Kabupaten Aceh Besar

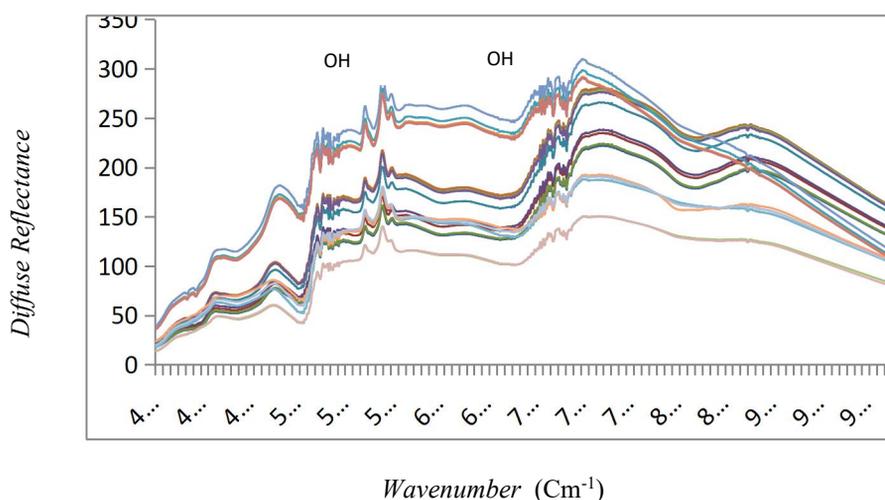
No	Jenis Tanah	Persentase (%)
1	Podsolik Coklat	13,85
2	Podsolik Merah Kuning	31,55
3	Litosal	2,4
4	Latosal	15,88
5	Regosol	4,9
6	Alluvial	11,05
7	Hidromorf Kelabu	7,12
8	Renzina dan Litosal	13,25
9	Lain-lain	-
Jumlah Total		100

Sumber: Badan Pertanahan Nasional Aceh Besar *dalam* BPS Provinsi Aceh, 2015

2. Analisa Kadar Air

Spektrum tanah menampilkan adanya puncak-puncak gelombang yang mewakili keberadaan ikatan kimia tertentu. Puncak-puncak itu muncul akibat vibrasi (getaran atom dalam molekul) pada kelompok ikatan atom seperti O-H, N-H, dan C-H. Jika suatu molekul menyerap radiasi infra merah, maka molekul tersebut akan berpindah dari energy tingkat rendah ke tingkatan yang lebih tinggi. Energi yang diterima sebagian akan diserap dan sisanya akan dipantulkan. Pantulan itu yang

akan diterima oleh detektor sebagai data frekuensi getaran dalam bentuk analog. Selanjutnya data analog akan ditransformasi dengan metode transformasi fourier sehingga menjadi data spectra reflektan (Cen He, 2007). Respon pantulan (*reflectance*) dapat berupa pantulan semu (*diffuse reflectance*) yang mana sinar diserap terlebih dahulu dan kemudian dipantulkan. Pantulan semu (*difuse reflectance*) didapat dari hasil log (1/R), dimana R adalah nilai reflektan (Munawar, 2008).



Gambar 1. Spektrum Awal Tanah

Salah satu kandungan kimia yang terlihat adalah kandungan air pada *wavenumber* 5206-5469 Cm^{-1} , 5735-5985 Cm^{-1} dan 6753-7281 Cm^{-1} seperti terlihat pada Gambar 1. Rentang

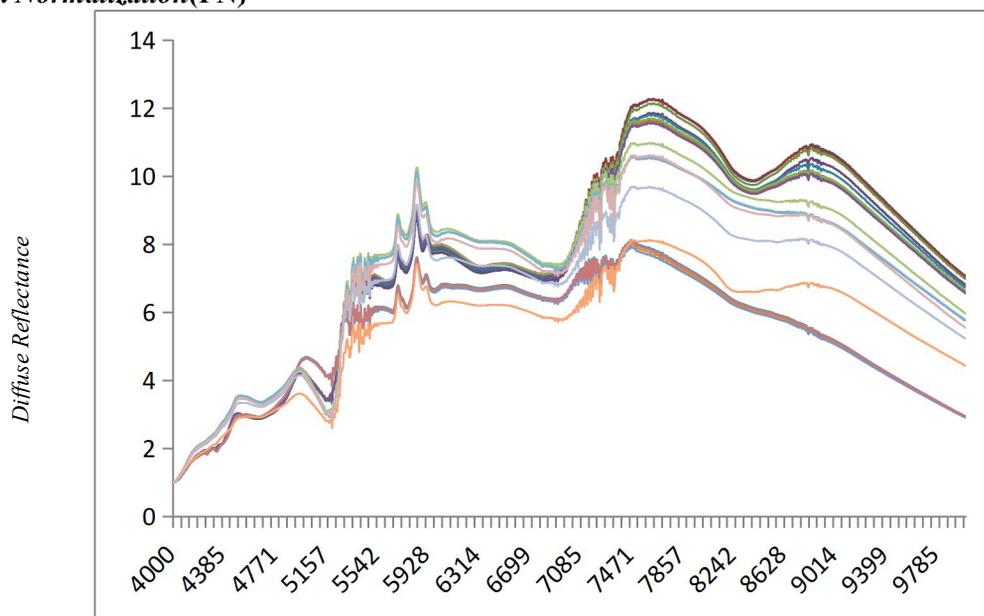
wavenumber tersebut merujuk kepada penelitian An dkk (2012) yang mana informasi kandungan air berada pada panjang gelombang 1450 nm atau 6897 Cm^{-1} dan Yin dkk (2015) dalam

penelitiannya menemukan panjang gelombang yang relevan untuk kelembaban atau kadar air tanah terletak pada 1800 nm atau 5556 Cm^{-1} dan 1940 nm atau 5155 Cm^{-1} .

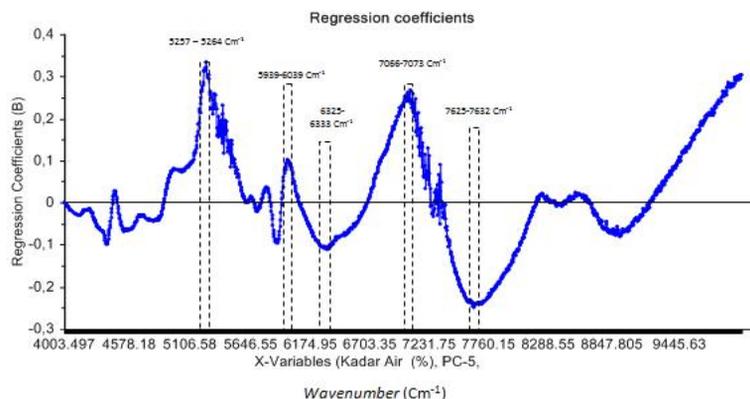
Adakalanya spektrum yang dihasilkan mengandung informasi yang tidak berguna (*noise*) dimana gangguan ini dihasilkan karena adanya celah cahaya yang mengenai obyek lain selain tanah itu sendiri, panasnya alat dan lain sebagainya. Penyerapan radiasi gelombang inframerah oleh molekul penyusun bahan menyebabkan ikatan tunggalnya bergetar (*vibrasi*). Getaran ini

menyebabkan pita penyerapan naik sesuai kombinasi gugus fungsi kimianya. Spektra NIR dapat menjadi kompleks karena seringkali pita spektra yang dihasilkan memunculkan puncak yang tumpang tindih sehingga penentuan pita spektra tunggalnya menjadi sulit. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan penghalusan (*smoothing*) atau penyaringan data spektra. Kemudian An dkk (2012) juga menyatakan bahwa reflektansi spektral tanah perlu direratakan karena gangguan *noise* putih bisa melemah setelah pengolahan *smoothing* pada tingkat tertentu.

3. Metode Koreksi Spektrum Peak Normalization(PN)



Gambar 2. Spektrum Kadar Air Tanah dengan Peak Normalization (PN)



Gambar 3. Loading Plot Metode Koreksi Spektrum Peak Normalization (PN)

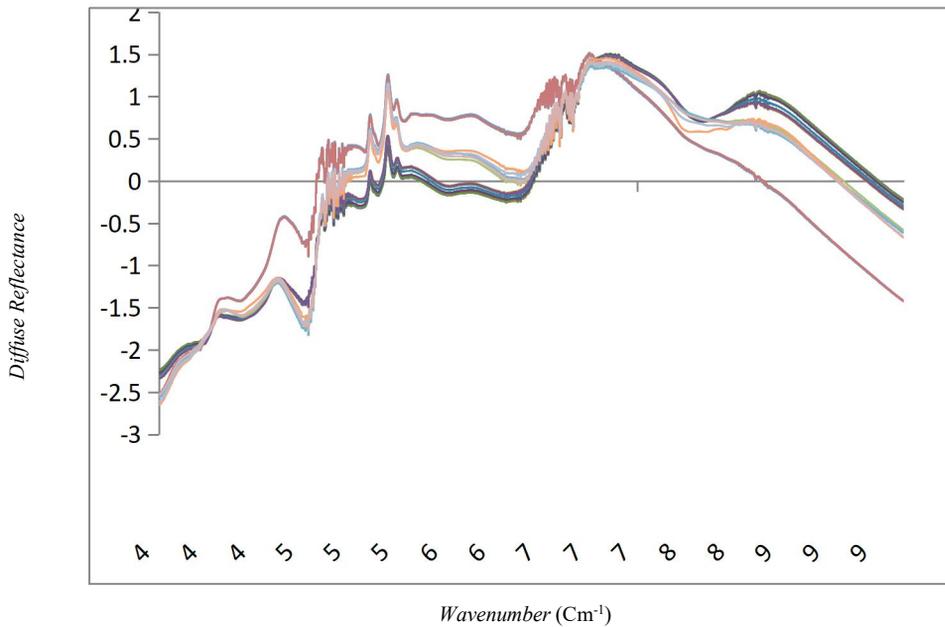
Kandungan kadar air tanah terletak pada *wavenumber* 5257-5264 Cm^{-1} atau sama dengan

terletak pada rentang panjang gelombang 1900-1902 nm dimana pada panjang gelombang tersebut

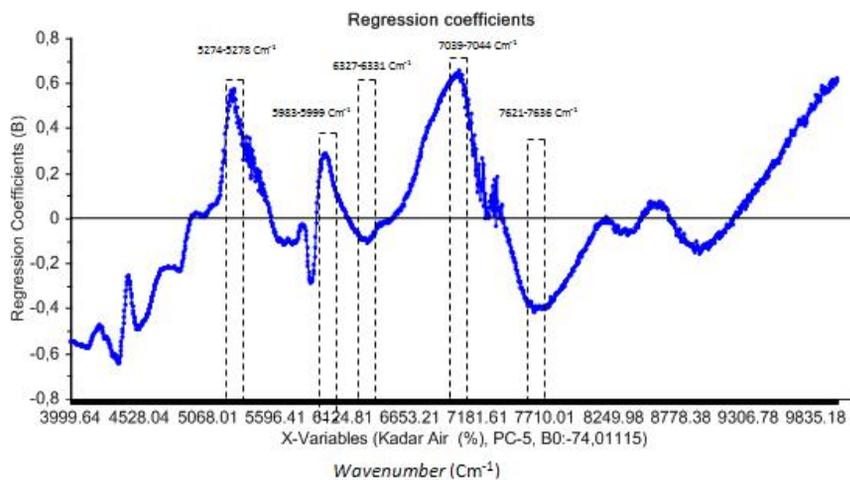
terjadi *stretching* yang mengindikasikan telah terjadi tumbukan yang sangat kuat. Kemudian juga terjadi pada *wavenumber* 5939-6039 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1656-1684 nm. Selanjutnya pada *wavenumber* 6325-6333 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1579-1581 nm. Kandungan air tanah juga terdapat pada *wavenumber* 7065-7073

Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1414-1415 nm dan yang terakhir terletak pada *wavenumber* 7625-7632 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1310-1311 nm. Kelima rentang panjang gelombang tersebut adalah panjang gelombang yang relevan untuk mendeteksi kadar air dalam tanah.

Standard Normal Variate (SNV)



Gambar 4. Spektrum Kadar Air Tanah dengan *Standard Normal Variate* (SNV)

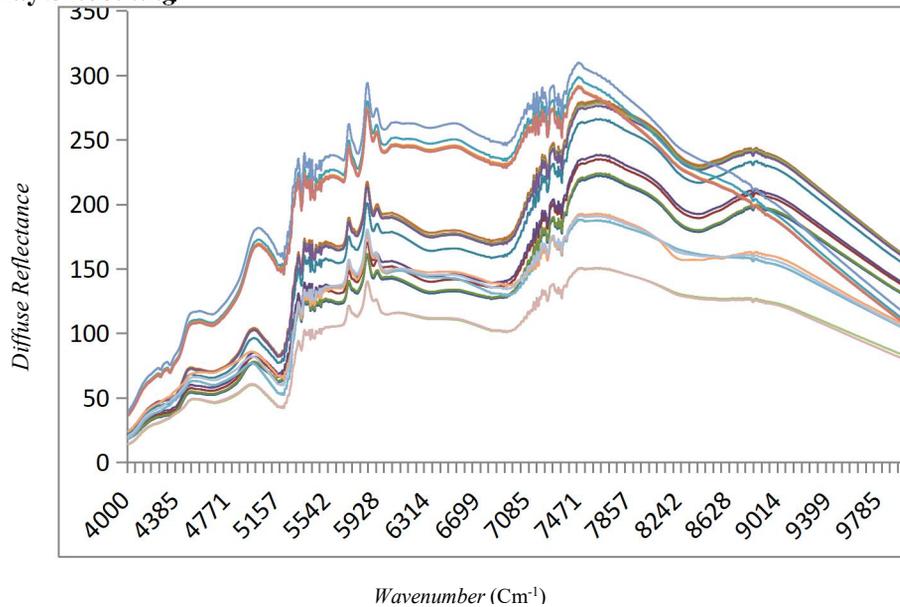


Gambar 5. *Loading Plot* Metode Koreksi Spektrum *Standard Normal Variate* (SNV)

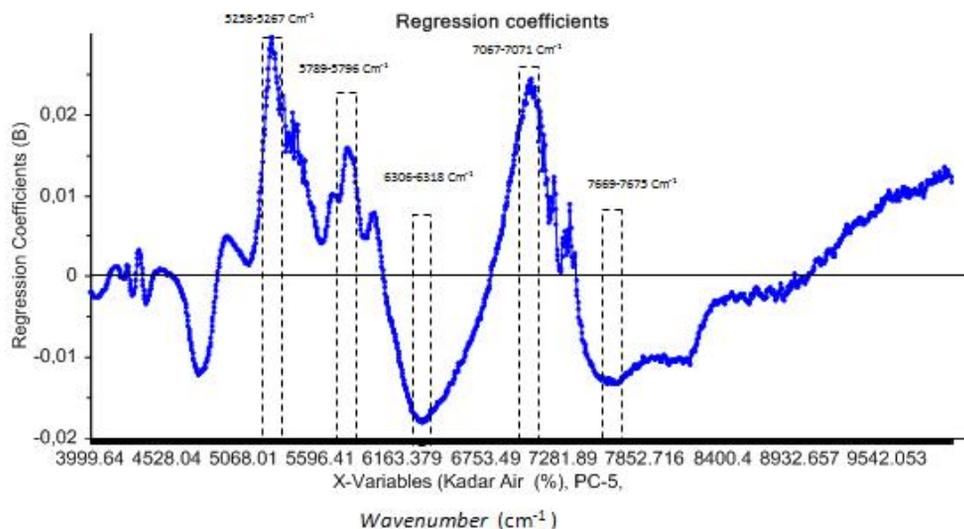
Standard Normal Variate (SNV) menghilangkan variasi dari spektrum yang disebabkan oleh proses *scatter* dan ukuran partikel. Kandungan kadar air tanah terletak pada rentang *wavenumber* 5274-5278 Cm^{-1} atau sama dengan terletak pada panjang gelombang 1895-1896 nm, dimana pada panjang gelombang tersebut terjadi *stretching*. Kemudian juga terjadi pada *wavenumber* 5983-5999 Cm^{-1} atau terletak pada

rentang panjang gelombang 1667-1671 nm. selanjutnya pada *wavenumber* 6327-6331 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1580-1581 nm. Selain itu kandungan kadar air tanah juga terletak pada *wavenumber* 7039-7044 Cm^{-1} atau setara dengan 1420-1421 nm dan yang terakhir terletak pada rentang *wavenumber* 7621-7636 Cm^{-1} atau sama dengan terletak pada rentang panjang gelombang 1310-1312 nm.

Savitzky Golay Smoothing



Gambar 6. Spektrum Kadar Air Tanah dengan Savitzky Golay Smoothing



Gambar 7. Loading Plot Metode Koreksi Spektrum Standard Savitzky Golay Smoothing

Stretching terjadi pada *wavenumber* 5258-5267 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1899-1902 nm, pada *wavenumber* 5789-5796 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1725-1727 nm, kemudian pada *wavenumber* 6306-6318 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1583-1586 nm. Selanjutnya pada *wavenumber* 7067-7071 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1414-1415 nm dan berikutnya pada *wavenumber* 7669-7675 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1303-1304 nm. Puncak tersebut adalah puncak yang dominan lebih tinggi dan lembah tersebut juga adalah lembah yang lebih dalam dibandingkan dengan puncak yang lain dan pada puncak-puncak tersebut terdapat panjang gelombang yang relevan untuk prediksi kadar air tanah. Ketiga *Loading plot* metode spektrum di atas haruslah mempunyai pola grafik yang sama untuk mengindikasikan kebenarannya.

4. Pengembangan Model Kalibrasi *Principal Component Regression (PCR)*

Metode regresi *Principal Component Regression (PCR)* adalah metode dengan prinsip kerja yaitu pengurangan variabel variabel prediksi dengan menggunakan komponen utama (*principle component, PC*). Keuntungan dari jenis regresi ini adalah berkurangnya jumlah variabel prediktor yang digunakan untuk kalibrasi daripada jumlah variabel asalnya (Miller, 2010).

Tujuan dari kalibrasi adalah untuk membangun model persamaan matematik. Proses kalibrasi menggunakan 20 sampel tanah. Selanjutnya dibuat acuan pengukuran seperti selang antar sampel, rata-rata dan standar deviasi sampel untuk pengukuran kadar air dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Acuan Pengukuran Data Kalibrasi

Bagian	Jumlah Data	Kadar Air		
		Selang (%)	Rataan	Standar Deviasi
Kalibrasi	20	8,353 - 30,972	16,479	5,385

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Kalibrasi

Metode Koreksi Spektrum	R ²	R	RMSEC	RPD
<i>Standard Normal Variate</i>	0,794	0,891	2,383	2,260
<i>Peak Normalization</i>	0,921	0,960	1,473	3,656
<i>Savitzky-Golay Smoothing</i>	0,686	0,828	2,944	1,829

Tahap kalibrasi dinyatakan baik jika sebuah regresi kalibrasi yang dibangun memberikan hasil dugaan yang baik pula. Hasil kalibrasi yang baik tersebut dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2), koefisien korelasi (r) yang tinggi serta nilai standar error (RMSE) yang lebih rendah dari standar deviasi (SD) data referensi. Standar error didefinisikan sebagai selisih atau beda antara hasil perhitungan atau pengukuran terhadap hasil sebenarnya. Standar error yang diharapkan adalah mendekati nol, tetapi karena metode *near infrared (NIR)* lebih cepat dan bersifat non-destruktif dalam analisis, error sebesar 0.1 dalam analisis NIR dapat diterima. Besarnya standar error hasil analisis menggunakan NIRS diharapkan sebanding dengan standar error pada analisis kimiawi laboratorium (data referensi).

Pada Tabel 3 di atas, metode *Peak Normalization (PN)* menghasilkan nilai RPD sebesar 3,656. Nilai tersebut masuk ke dalam kategori yang sangat baik (*very good performance*). Selanjutnya adalah metode koreksi *Standard Normal Variate*, RPD yang diperoleh sebesar 2,260 yaitu masuk ke dalam kategori prediksi yang baik (*good model performance*) dan yang terakhir adalah metode koreksi *Savitzky-Golay Smoothing* dengan nilai RPD sebesar 1,829. Nilai tersebut masuk ke dalam Prediksi masih kasar (*sufficient performance*).

Metode koreksi PN mampu memprediksi kadar air tanah dengan rata-rata selisih antara nilai kadar air tanah aktual (gravimetri) dengan nilai prediksi NIRS sebesar 1,031% berat. Rincian nilai aktual dan prediksi dengan menggunakan NIRS dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Kadar Air Tanah Secara Gravimetri dan NIRS (*Standard Normal Variate, Peak Normalization dan Savitzky Golay Smoothing*)

No	Sam pel	Gravimetri	NIRS (% Berat)					
			<i>Standard Normal Variate (SNV)</i>		<i>Peak Normalization (PN)</i>		<i>Savitzky Golay Smoothing</i>	
			Prediksi	Selisih Nilai Aktual dengan Prediksi	Prediksi	Selisih Nilai Aktual dengan Prediksi	Prediksi	Selisih Nilai Aktual dengan Prediksi
1	BB1	13,000	14,621	1,621	13,444	0,444	15,592	2,592
2	BB2	13,200	12,450	-0,75	12,907	-0,293	12,785	-0,415
3	BB3	8,353	7,637	-0,716	8,226	-0,127	7,602	-0,751
4	UP	16,804	15,995	-0,809	16,615	-0,189	15,258	-1,546
5	L1	17,786	19,647	1,861	18,291	0,505	18,053	0,267
6	L2	13,680	18,073	4,393	14,852	1,172	16,480	2,8
7	L3	18,889	16,847	-2,042	16,431	-2,458	19,701	0,812
8	L4	13,523	16,847	3,324	16,431	2,908	19,701	6,178
9	L5	30,972	25,545	-5,427	29,602	-1,37	20,686	-10,286
10	L6	24,790	23,312	-1,478	24,194	-0,596	25,219	0,429
11	N1	15,034	18,405	3,371	17,104	2,07	16,817	1,783
12	N2	18,148	16,297	-1,851	18,728	0,58	17,280	-0,868
13	N3	23,120	24,711	1,591	23,159	0,039	24,319	1,199
14	N4	17,336	14,190	-3,146	14,619	-2,717	15,081	-2,255
15	J1	18,161	18,065	-0,096	18,108	0,053	18,101	-0,06
16	J2	12,805	15,294	2,489	15,359	2,554	12,826	0,021
17	J3	11,708	9,243	-2,465	9,223	-2,485	11,741	0,033
18	J4	14,469	14,576	0,107	14,508	0,039	14,623	-0,154
19	J5	19,031	18,784	-0,247	19,008	-0,023	18,641	-0,39
20	J6	8,766	8,984	0,218	8,765	-0,001	9,065	0,299
Rata-rata		16,479	16,476	1,900	16,479	1,031	16,479	1,657

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Panjang gelombang yang relevan dalam menduga kadar air tanah PMK di Aceh Besar yaitu pada rentang *wavenumber* 5257-5264 Cm^{-1} atau sama dengan rentang panjang gelombang 1900-1902 nm. Kemudian juga terletak pada *wavenumber* 5953-6039 Cm^{-1} atau pada panjang gelombang 1656-1684 nm. Selanjutnya pada rentang *wavenumber* 6325-6333 Cm^{-1} atau sama dengan panjang gelombang 1579-1581 nm. Berikutnya pada *wavenumber* 7066-7073 Cm^{-1} atau sama dengan panjang gelombang 1414-1415 nm dan yang terakhir adalah pada *wavenumber* 7625-7632 Cm^{-1} atau sama dengan panjang gelombang 1310-1311 nm.
2. Peningkatan kinerja PCR yang paling baik adalah menggunakan koreksi spektrum *Peak Normalization* (PN) karena menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,921, nilai korelasi (r) sebesar 0,960, nilai *error* (RMSEC) sebesar 1,473 dan nilai RPD sebesar 3,656 yang tergolong *Very Good Performance* (sangat baik).
3. Metode koreksi PN mampu memprediksi kadar air tanah dengan rata-rata selisih antara nilai kadar air tanah aktual (laboratorium) dengan nilai prediksi NIRS sebesar 1,031% berat.

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Dapat kiranya menggunakan atau menambahkan metode koreksi spektrum dan metode pembangunan model kalibrasi prediksi lain yang lebih baik dalam memprediksi kadar air tanah
2. Perlu dilakukan pengembangan penelitian sampai kepada tahapan validasi.

DAFTAR PUSTAKA

- An, Xiaofei., Minzan Li dan Lihua Zheng. 2012. Estimation Of Soil Total Nitrogen And Soil Moisture Based On NIRS Technology. IFIP International Federation For Information Processing AICT 368, pp. 325-335.
- Badan Pertanahan Nasional Aceh Besar dalam Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Aceh. 2015. BPS, Banda Aceh.

- Chang, Cheng-Wen; Laird, David; Mausbach, Maurice J.; and Hurburgh, Charles R. Jr., "Near-Infrared Reflectance Spectroscopy–Principal Components Regression Analyses of Soil Properties" (2001). *Agricultural and Biosystems Engineering Publications*. 435. https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/435
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. dan Jones, C. A. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 11-59.
- Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, New York.
- Miller, J. And Miller, J. 2010. Statistic And Chemometrics For Analytical Chemistry. Sixth ed. Harlow: Pearson Education.
- Munawar, A. A. 2008. Non-Destructive Inner Quality Prediction In Intact Mangos With NIRS Method. Thesis. George-August University, Goettingen.
- Nircal 5.2 Manual. 2007. Büchi Labortechnik AG, CH-Flawil, Switzerland.
- Qian Fang, Hanlie Hong, Lulu Zhao, Stephanie Kukolich, Ke Yin, and Chaowen Wang, "Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Investigating Soil Mineralogy: A Review," *Journal of Spectroscopy*, vol. 2018, Article ID 3168974, 14 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3168974>
- Yin, Zhe., Wei Qin., Changqing Zuo., Nan Yan., Bai Li., Qiankun Guo., Zhijie Shan., Zhaoyan Wang. 2015. Reflection Model for Soil Moisture Measurement Using Near-infrared Reflection Sensor. Atlantis Press, China.
- Zulfahrizal., A. A. Munawar dan H. Meilina. 2017. Rancang Bangun Alat Sensor Portable Berbasis Pengembangan Aplikasi Teknologi Near Infrared Sebagai Metode Baru yang Rapid dan Non-Desruktive untuk Prediksi Kualitas Kakoo. Prsidng Seminar Nasional Pasca Sarjana (SNP) Universitas Syiah Kuala. Hal: A32-A37. Tanggal 13 April 2017.