

# **SISTEM *RAPID PREDICTION* UNSUR HARA TANAH SAWAH PADI SECARA *IN-SITU* DENGAN ANALISIS *SPECTROSCOPY* BERBASIS *DEEP LEARNING***

**YUDHA PUTRA ARISANDY**



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2023**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



**IPB University**  
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



*@Hak cipta milik IPB University*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Sistem *Rapid Prediction* Unsur Hara Tanah Sawah Padi secara *in-situ* dengan Analisis *Spectroscopy* berbasis *Deep Learning*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2023

Yudha Putra Arisandy  
NIM. G6501211035

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



*@Hak cipta milik IPB University*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## RINGKASAN

YUDHA PUTRA ARISANDY. Sistem *Rapid Prediction* Unsur Hara Tanah Sawah Padi secara *in-situ* dengan Analisis *Spectroscopy* berbasis *Deep Learning*. Dibimbing oleh KUDANG BORO SEMINAR, Y. ARIS PURWANTO, dan YAYAT HIDAYAT.

Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan tanaman padi. Pemberian unsur hara makro diperlukan dalam jumlah yang tepat, karena kelebihan ataupun kekurangan nutrisi dapat berakibat buruk pada pertumbuhan tanaman. Kecepatan pendeteksian juga menjadi penting untuk segera menentukan penanganan yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model prediksi kadar unsur hara makro N, P dan K pada tanah sawah untuk prediksi cepat menggunakan data spektral gelombang elektromagnetik *near infrared* (NIR) pada panjang gelombang 1350–2550 nm. Algoritme yang digunakan yaitu *machine learning random forest*, *gradient boosting*, *artificial neural network*, dan *partial least square* serta algoritme *deep learning convolutional neural network* untuk 1-Dimensi (CNN-1D) dan 2-Dimensi (CNN-2D). Pada penelitian ini juga dibandingkan performa dari ketiga jenis model tersebut. Data spektral NIR dari sampel tanah basah tanpa perlakuan pengeringan apapun menjadi input pada proses *training* model. *Dataset* terdiri dari 38 sampel tanah yang diambil dari beberapa lokasi. Teknik pra-proses yang diterapkan adalah *principle component analysis* (PCA), *synthetic minority oversampling technique for regression with gaussian noise* (SMOBN), konversi spektrogram, serta penambahan parameter kadar air pada input *training* model. Tingginya kadar air pada tanah sawah menjadi tantangan pada proses pembangunan model prediksi unsur hara karena NIR sangat sensitif terhadap air. Model terbaik untuk Nitrogen (N) adalah *random forest* dengan input data 10PC dan penambahan kadar air sebagai input *training* dengan  $R^2$  0,704; RMSE 0,032; MAPE 10,04 %; NSE 0,736; dan Akurasi 89,96 % untuk rentang pengukuran N 0,04-0,40 %. Model terbaik untuk Fosfor (P) yaitu *random forest* dengan 0 *principle component* dan penambahan kadar air sebagai input *training* dengan nilai  $R^2$  0,627; RMSE 18,44; MAPE 7,70 %; NSE 0,654; dan Akurasi 92,30 % untuk rentang pengukuran P 77,52–304,13 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g. Model terbaik untuk Kalium (K) adalah CNN-1D dengan input *training* data 10PC dan penambahan parameter kadar air sebagai input *training* dengan  $R^2$  0,579; RMSE 8,018; MAPE 19,90 %; NSE 0,580; dan Akurasi 80,10 % untuk rentang pengukuran K 15,41–56,49 mg K<sub>2</sub>O/100g. Model terbaik untuk kadar air adalah *partial least square* dengan input *training* data 10PC dan teknik *oversampling* SMOBN dengan  $R^2$  0,659; RMSE 3,766; MAPE 7,35 %; NSE 0,661; dan Akurasi 92,65 % untuk rentang pengukuran KA 12,11-56,86 %. Model terbaik N yaitu model *machine learning* memiliki performa yang sedikit saja lebih baik dari CNN-1D. Pada jumlah data *training* yang lebih besar, CNN-1D diperkirakan dapat menghasilkan performa yang lebih baik dari model *machine learning* tersebut. Model terbaik P yaitu model *machine learning* memiliki performa lebih baik pada data *testing* dari CNN-1D P. CNN-1D P lebih baik pada

data *train*, untuk itu diperkirakan CNN-1D P dapat memiliki performa yang lebih dari model *machine learning* untuk jumlah data yang lebih besar. Model terbaik K yaitu CNN-1D yang memiliki performa lebih baik dari model *machine learning* dan CNN-2D. Model terbaik KA yaitu model *machine learning*. Pada jumlah data *train* yang lebih besar, CNN-1D KA diperkirakan dapat menghasilkan performa yang lebih baik dari model *machine learning* tersebut.

Kata kunci: *deep learning*, *machine learning*, *near infrared*, tanah, unsur hara makro

Hak cipta dimiliki IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## SUMMARY

YUDHA PUTRA ARISANDY. Rapid Prediction System of Paddy Soil Macronutrient with In-Situ Spectroscopy Analysis based on Deep Learning. Dibimbing oleh KUDANG BORO SEMINAR, Y. ARIS PURWANTO, dan YAYAT HIDAYAT.

Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K) are macro nutrients needed to support the growth of rice plants. Provision of macro nutrients is needed in the right amount, because excess or lack of nutrients can have a negative impact on plant growth. The speed of detection is also important to immediately determine the right treatment. This study aims to produce a predictive model for macronutrient levels of N, P and K in paddy soil for rapid prediction using near infrared (NIR) electromagnetic wave spectral data at a wavelength of 1350–2550 nm. The algorithms used are machine learning (random forest, gradient boosting, artificial neural network, and partial least square), and deep learning convolutional neural network algorithms for 1-Dimensions (CNN-1D) and 2-Dimensions (CNN-2D). This study also compared the performance of the three types of models. NIR spectral data from wet soil samples without any drying treatment are input to the model training process. The dataset consists of 38 soil samples taken from several locations. The pre-processing techniques applied are component analysis (PCA), synthetic minority principle oversampling technique for regression with gaussian noise (SMOEN), spectrogram conversion, and the addition of the water content parameter to the input training model. The high water content in paddy soil is a challenge in the process of developing nutrient prediction models because NIR is very sensitive to water. The best model for Nitrogen (N) is a random forest with 10PC input data and the addition of water content as a training input with  $R^2$  0.704; RMSE 0.032; MAPE 10.04 %; NSE 0.736; and 89.96% accuracy for the N measurement range of 0.04-0.40%. The best model for Phosphorus (P) is a random forest with 0 principle component and the addition of water content as training input with an  $R^2$  value of 0.627; RMSE 18.44; MAPE 7.70 %; NSE 0.654; and 92.30 % accuracy for measurement range P 77.52–304.13 mg  $P_2O_5/100g$ . The best model for Potassium (K) is CNN-1D with 10PC input training data and the addition of the water content parameter as training input with  $R^2$  0.579; RMSE 8,018; MAPE 19.90 %; NSE 0.580; and 80.10 % accuracy for the measurement range K 15.41–56.49 mg  $K_2O/100g$ . The best model for water content is the partial least square with 10PC input training data and the SMOEN oversampling technique with  $R^2$  0.659; RMSE 3,766; MAPE 7.35 %; NSE 0.661; and 92.65% accuracy for the KA measurement range of 12.11-56.86%. The best model N, namely the machine learning model, has a slightly better performance than CNN-1D. With a larger amount of training data, CNN-1D is expected to produce better performance than the machine learning model. The best model P, namely the machine learning model, has better performance on testing data than CNN-1D P. CNN-1D P is better on data train, therefore it is estimated that CNN-1D P can have better performance than machine learning models for the large amount of data. bigger. The best K model is CNN-1D which has better

performance than machine learning and CNN-2D models. The best model for KA is the machine learning model. With a larger number of data train, CNN-1D KA is expected to produce better performance than the machine learning model.

*Keywords: deep learning, machine learning, macronutrient, near infrared, soil*

*© Hak cipta milik IPB University*

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2023<sup>1</sup>  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*



### @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

# **SISTEM *RAPID PREDICTION* UNSUR HARA TANAH SAWAH PADI SECARA *IN-SITU* DENGAN ANALISIS *SPECTROSCOPY* BERBASIS *DEEP LEARNING***

**YUDHA PUTRA ARISANDY**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister pada  
Program Studi Magister Ilmu Komputer

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2023**





Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1 Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D.

\_\_\_\_\_





Judul Tesis

: Sistem *Rapid Prediction* Unsur Hara Tanah Sawah Padi secara *in-situ* dengan Analisis *Spectroscopy* berbasis *Deep Learning*

Nama

: Yudha Putra Arisandy

NIM

: G6501211035

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc.

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Y. Aris Purwanto, M.Sc.

Pembimbing 3:

Dr. Ir. Yayat Hidayat, M.Si.

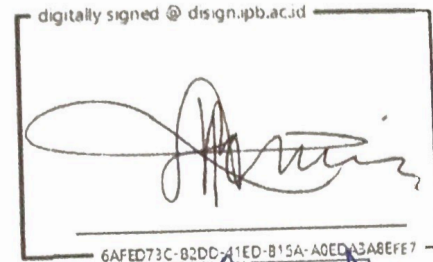
Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Irman Hermadi, S.Kom, M.S, Ph.D.  
NIP 197503112006041009

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam:

Dr. Berry Juliandi, S.Si, M.Si.  
NIP 197807232007011001



Tanggal Lulus: 30 JAN 2023

Tanggal Ujian:  
20 Januari 2023

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhaanahu wa ta'ala atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April sampai Desember 2022 ini adalah sistem pendeteksian cepat unsur hara, dengan judul “Sistem *Rapid Prediction* Unsur Hara Tanah Sawah Padi secara *in-situ* dengan Analisis *Spectroscopy* berbasis *Deep Learning*”.

Terima kasih yang mendalam dan penghormatan setinggi-tingginya penulis ucapkan kepada:

1. Dosen Pembimbing tercinta, Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Y. Aris Purwanto, M.Sc., dan Dr. Ir. Yayat Hidayat, M.Si. yang telah membimbing penulis dengan sepenuh hati dan banyak memberi saran dan ilmu pengetahuan.
2. Bapak Irman Hermadi, S.Kom, M.S, Ph.D. sebagai penguji luar komisi pembimbing dan Dr.Eng. Heru Sukoco, S.Si, M.T. sebagai pimpinan sidang tesis yang telah memberikan saran dan masukkan.
3. Keluarga penulis, Bapak Ahmad Ilyas, Ibu Rusmani, Kakak Arzi Larga Ghupta, Kakak Novalia Arisandy, Adik Ramdhiany Putri Arisandy dan Muhammad Qiyas Arvarezie yang telah memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan materil maupun immateril.
4. Para sahabat, Ade, Alita, Almas, Armi, Aufa, Azzam, Egi, Eko, Firhand, Fisna, Hari Agung, Hari Wisesa, Isna, Liza, Made, Muyassar, Toni, Yudi dan Zaim, serta Bapak Baskara, Ibu Wiwit dan Bapak Fandi yang telah membantu selama pengumpulan data.
5. Keluarga besar Dept. Ilmu Komputer, Keluarga besar Dept. Teknik Mesin dan Biosistem, Majelis Quran BCI, KTN, Badminton Pascasarjana, Engineering Robotic Club, Sunnah Rasul, para mentor serta senior yang telah memberikan dukungan, doa dan kasih sayangnya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan dan penyajian tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap akan banyak menerima masukan dari setiap pembaca berupa saran dan kritik yang bersifat membangun. Akhir kata penulis berharap semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Januari 2023

Yudha Putra Arisandy  
NIM. G6501211035

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Unsur Hara Makro Tanah Sawah Padi	3
2.2 Spektroskopi	3
2.3 Peninjauan Literatur Spektroskopi untuk Unsur Hara Makro Tanah	4
2.4 Teknik <i>Random Oversampling</i> dengan SMOGN	6
2.5 <i>Principle Component Analysis</i> (PCA)	6
2.6 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) pada Data Spektral Tanah	7
III METODE	10
3.1 Tahapan Penelitian	10
3.2 Peralatan Penelitian dan Lingkungan Pengembangan	10
3.3 Pengujian Sensor NIRS	11
3.4 Analisis Gelombang Sensitif	12
3.5 Akuisisi Data Spektral	12
3.6 Analisis Laboratorium Sampel Tanah	13
3.7 Pengembangan Model Prediksi	14
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Pengujian Sensor NIR	18
4.2 Analisis Panjang Gelombang Sensitif	19
4.3 Sampel dan <i>Dataset</i>	22
4.4 Pra-Proses <i>Dataset</i>	24
4.5 Model <i>Machine Learning</i>	24
4.6 Model <i>Deep Learning</i> CNN-1D	27
4.7 Model <i>Deep Learning</i> CNN-2D	37
4.8 Uji Performa Model	41
4.9 <i>K-Fold Cross Validation</i>	42
4.10 Pengembangan Model dengan Panjang Spektrum Diskret	43
4.11 Model Terbaik	45
V SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Saran	46
VI DAFTAR PUSTAKA	47



### DAFTAR TABEL

1	Tinjauan pustaka metode pengolahan data spektral pada atribut tanah (modifikasi dari Viscarra Rossel <i>et al.</i> (2006))	8
2	Peralatan penelitian	10
3	Perangkat lunak penelitian	11
4	Spesifikasi lingkungan pengembangan	11
5	Metode analisis laboratorium	13
6	Perencanaan pembagian sampel	14
7	<i>Layer</i> awal yang digunakan untuk membangun <i>neural network</i>	16
8	Distribusi <i>dataset</i> keseluruhan	23
9	Variasi <i>hyperparameter</i> pada proses <i>tuning</i>	24
10	Distribusi data Nitrogen <i>training</i> dan <i>testing</i>	25
11	Distribusi data Fosfor <i>training</i> dan <i>testing</i>	25
12	Distribusi data Kalium <i>training</i> dan <i>testing</i>	26
13	Distribusi data Kadar Air <i>training</i> dan <i>testing</i>	27
14	Distribusi data Nitrogen <i>training</i> dan <i>testing</i> hasil augmentasi	28
15	Distribusi data Kalium <i>training</i> dan <i>testing</i>	33
16	Distribusi <i>dataset</i> uji performa	41
17	Hasil pengujian performa model	42
18	<i>K-fold cross validation</i> model terbaik spektrum kontinu	42
19	Panjang gelombang diskret sensitif hasil tinjauan pustaka	43
20	Panjang gelombang diskret sensitif hasil percobaan	43
21	Hasil evaluasi model spektrum diskret	44
22	<i>K-fold cross validation</i> model spektrum diskret	44
23	Hasil evaluasi model terbaik	45

### DAFTAR GAMBAR

1	Spektrum gelombang elektromagnetik (McBratney <i>et al.</i> 2003)	3
2	Diagram tinjauan pustaka spektroskopi pada unsur Nitrogen tanah	4
3	Diagram tinjauan pustaka spektroskopi pada unsur Fosfor tanah	5
4	Diagram tinjauan pustaka spektroskopi pada unsur Kalium tanah	5
5	Contoh proses konvolusi filter 3x3 (Lecun <i>et al.</i> 2015)	7
6	Arsitektur CNN-2D spektral tanah (Padarian <i>et al.</i> 2018)	9
7	Arsitektur CNN-1D spektral tanah (Kawamura <i>et al.</i> 2021)	9
8	Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian	10
9	Sensor Si-Ware Neospectra	12
10	Peralatan eksperimen dan diagram alir proses akuisisi data NIR	13
11	Diagram alir pengembangan model prediksi	15
12	Hasil pembangkitan spektrogram data spektral (Padarian <i>et al.</i> 2018).	17
13	(1) Pengujian akurasi; (2) <i>user interface</i> NIRFlex N-500	18
14	Grafik spektrum NIR larutan Pupuk Urea	19

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



15	Grafik spektrum NIR larutan Pupuk SP-36	20
16	Grafik spektrum NIR larutan Pupuk KCL	20
17	Grafik spektrum NIR Pupuk Cair MKP	21
18	Grafik spektrum NIR Pupuk Cair KNO <sub>3</sub>	21
19	(1) Sawah padi lokasi pengambilan sampel; (2) bor tanah; (3) sampel tanah dalam plastik HDPE	22
20	(1) Peralatan eksperimen akuisisi sensor; (2) posisi siap deteksi sampel; (3) <i>user interface</i> sensor	23
21	Grafik spektrum NIR dari 31 sampel tanah basah	23
22	Arsitektur terbaik CNN-1D Nitrogen	29
23	Grafik <i>loss training</i> model CNN-1D Nitrogen	29
24	Grafik regresi model CNN-1D Nitrogen	30
25	Arsitektur CNN-1D terbaik Fosfor	31
26	Grafik <i>loss training</i> model CNN-1D Fosfor	32
27	Grafik regresi model CNN-1D Fosfor	32
28	Arsitektur terbaik CNN-1D Kalium	33
29	Grafik <i>loss training</i> model CNN-1D Kalium	34
30	Grafik regresi model CNN-1D Kalium	34
31	Arsitektur terbaik CNN-1D Kadar Air	35
32	Grafik <i>loss training</i> model CNN-1D Kadar Air	36
33	Grafik regresi model CNN-1D Kadar Air	36
34	Spektrogram (atas) dan grafik reflektannya (bawah)	37
35	Grafik <i>loss training</i> model CNN-2D Nitrogen	38
36	Grafik <i>loss training</i> model CNN-2D Fosfor	39
37	Grafik <i>loss training</i> model CNN-2D Kalium	40
38	Grafik <i>loss training</i> model CNN-2D Kadar Air	41

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil pengolahan ML data Nitrogen (SMOBN-PCA)	51
2	Hasil pengolahan ML data Nitrogen (PCA)	51
3	Hasil pengolahan ML data Nitrogen (Kadar air – PCA)	52
4	Hasil pengolahan ML data Nitrogen Tanah Kering (PCA)	52
5	Hasil pengolahan ML data Fosfor (SMOBN – PCA)	53
6	Hasil pengolahan ML data Fosfor (PCA)	53
7	Hasil pengolahan ML data Fosfor ( Kadar Air - PCA)	54
8	Hasil pengolahan ML data Fosfor tanah kering (PCA)	54
9	Hasil pengolahan ML data Kalium (SMOBN – PCA)	55
10	Hasil pengolahan ML data Kalium (PCA)	55
11	Hasil pengolahan ML data Kalium (Kadar Air – PCA)	56
12	Hasil pengolahan ML data Kalium tanah kering (PCA)	56
13	Hasil pengolahan ML data kadar air (SMOBN – PCA)	57
14	Hasil pengolahan ML data kadar air (PCA)	57
15	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-1D Nitrogen	58
16	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-1D Fosfor	59

17	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-1D Kalium	60
18	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-1D Kadar Air	61
19	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-2D Nitrogen	62
20	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-2D Fosfor	62
21	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-2D Kalium	63
22	Arsitektur dan parameter <i>training</i> model CNN-2D Kadar Air	63
23	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Nitrogen (PCA-SMOGN)	64
24	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Nitrogen (PCA)	64
25	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Nitrogen (PCA-KA)	65
26	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> Nitrogen Tanah Kering (PCA)	65
27	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Fosfor (SMOGN – PCA)	66
28	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Fosfor (PCA)	66
29	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Fosfor (PCA-KA)	67
30	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Fosfor tanah kering (PCA)	67
31	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Kalium (SMOGN – PCA)	68
32	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Kalium (PCA)	68
33	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Kalium (PCA-KA)	69
34	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data Kalium tanah kering (PCA)	69
35	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data kadar air (PCA-SMOGN)	70
36	Hasil <i>hyperparameter tuning</i> data kadar air (PCA)	70
37	Dokumentasi pengambilan sampel tanah pertama	71
38	Dokumentasi Sampel Pupuk Organik	72
39	Dokumentasi akuisisi data NIR sampel tanah pertama	72
40	Dokumentasi pengambilan sampel tanah kedua	73
41	Dokumentasi akuisisi data NIR sampel tanah kedua	73
42	Dokumentasi uji stabilitas	74
43	Contoh spektrogram dan grafik reflektan	75
44	Hasil pengujian stabilitas sensor NIR Si-Ware Neospectra	76
45	Hasil pengujian linearitas	76

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.