

PREDIKSI CEPAT KANDUNGAN KIMIA BUAH KELAPA SAWIT SECARA NON-DESTRUKTIF MENGUNAKAN *PORTABLE NIR SPECTROMETER*

Annisy Syahida Aulia M. B.



**PROGRAM STUDI MAGISTER
TEKNOLOGI PASCAPANEN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Prediksi Cepat Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif Menggunakan *Portable NIR Spectrometer*” 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, 08 Juni 2026

Annisy Syahida Aulia M.B.
F1502232017

RINGKASAN

ANNISY SYAHIDA AULIA M. B. Prediksi Cepat Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif Menggunakan *Portable NIR Spectrometer*. Dibimbing oleh I WAYAN BUDIASTRA dan Y. ARIS PURWANTO.

Metode rapid dan non-destruktif merupakan kebutuhan esensial untuk memprediksi kadar kimia buah kelapa sawit, yang hingga saat ini menjadi tantangan bagi petani maupun pelaku agroindustri untuk mencapai operasional yang efisien dan praktis di lapangan. Data kimia awal di lapangan mengenai kandungan minyak, asam lemak bebas (ALB), dan air dalam buah kelapa sawit sangat penting untuk menjamin kualitas dan menentukan nilai komersial di pasaran. Metode pengukuran konvensional bersifat kompleks, merusak, hanya menargetkan satu bahan kimia, membutuhkan keahlian khusus, mahal, dan memakan waktu. Spektroskopi *Near-Infrared* (NIR) menjawab sebagian permasalahan tersebut melalui prinsip non-destruktif dan efisiensinya yang tinggi. Namun, dimensi besar dan harga spektrometer yang mahal menjadi kendala dalam operasional dan hilirisasinya. Integrasi antara spektrometer NIR portabel, kemometrika, dan *machine learning* diusulkan sebagai metode prediksi yang inovatif, efisien, dan akurat. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode prediksi kadar kimia buah kelapa sawit menggunakan *portable NIR spectrometer* dengan kalibrasi *Partial Least Squares Regression* (PLSR) dan *hybrid Partial Least Squares-Artificial Neural Network* (PLS-ANN).

Sejumlah 408 sampel buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). varietas Tenera dikumpulkan dari Perkebunan Kelapa Sawit Cikabayan, IPB University, Indonesia, yang mewakili 10 tingkat kematangan (3–6 maa). Pengukuran spektra sampel dilakukan menggunakan spektrometer *near-infrared* (NIR) portabel dengan panjang gelombang 740–1070 nm untuk merekam karakteristik spektra reflektansi, yang kemudian ditransformasikan menjadi spektra absorbansi. *Pretreatment* spektra yang dilakukan yaitu *first derivative* Savitzky-Golay (D1 SG), kombinasi D1 SG + *smoothing* Savitzky-Golay (*smoothing* SG), Detrending, D1 SG + Detrending, dan *Standard Normal Variate* (SNV) + D1 SG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLS-ANN memiliki kemampuan prediktif lebih baik dari PLSR. Metode prediksi kadar minyak terbaik yaitu kombinasi PLS-ANN dan *pretreatment* D1 SG + *smoothing* SG ($R^2_{\text{kal}} = 0,98$ dan $\text{RPD}_{\text{val}} = 6,83$). Metode prediksi kadar ALB terbaik yaitu kombinasi PLS-ANN dengan *pretreatment* D1 SG + *smoothing* SG ($R^2_{\text{kal}} = 0,81$ dan $\text{RPD}_{\text{val}} = 2,34$), sedangkan metode prediksi kadar air terbaik yaitu kombinasi PLS-ANN dan *pretreatment* detrending ($R^2_{\text{kal}} = 1,00$ dan $\text{RPD}_{\text{val}} = 12,52$). Hasil menunjukkan bahwa metode pengolahan spektra dan kalibrasi yang dikembangkan tergolong akurat untuk penentuan kandungan minyak dan air buah sawit secara nondestruktif sehingga memiliki potensi yang baik untuk diintegrasikan dengan perangkat spektroskopi untuk keperluan pengukuran secara praktis baik di tingkat petani maupun industri sawit.

Kata kunci: *artificial neural network*, buah kelapa sawit, kadar kimia, *partial least square regression*, *portable NIR spectrometer*.

SUMMARY

ANNISY SYAHIDA AULIA M. B. Rapid Prediction of Chemical Content of Oil Palm Fruit Non-Destructively Using a Portable NIR Spectrometer. Supervised by I WAYAN BUDIASTRA and Y. ARIS PURWANTO

Rapid and non-destructive methods are essential for predicting the chemical content of oil palm fruit, a challenge that has hindered farmers and agro-industrial players from achieving efficient and practical field operations. Initial field chemical data regarding the water, oil, and free fatty acid (FFA) content in oil palm fruit is crucial for ensuring quality and determining commercial value in the market. Conventional measurement methods are complex, destructive, target only one chemical, require specialized expertise, are expensive, and are time-consuming. Near-Infrared (NIR) spectroscopy addresses some of these limitations through its non-destructive principles and high efficiency. However, the large dimensions and high price of the spectrometer are obstacles to its operation and downstreaming. The integration of a portable NIR spectrometer, chemometrics, and machine learning is proposed as an innovative, efficient, and accurate prediction method. This study aims to develop a prediction method for the chemical content of oil palm fruits, using a portable NIR spectrometer with calibration of Partial Least Square Regression (PLSR) and hybrid Partial Least Square-Artificial Neural Network (PLS-ANN)

A total of 408 samples of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) fruit of the Tenera variety were collected from the Cikabayan Oil Palm Plantation, IPB University, Indonesia, representing 10 maturity levels (3–6 maa). Sample spectra were measured using a portable near-infrared (NIR) spectrometer with a wavelength of 740–1070 nm to record the characteristics of the reflectance spectra, which were then transformed into absorbance spectra. The spectra pretreatments performed were the first derivative Savitzky-Golay (D1 SG), a combination of D1 SG + smoothing Savitzky-Golay (smoothing SG), Detrending, D1 SG + Detrending, and Standard Normal Variate (SNV) + D1 SG. The results showed that PLS-ANN had better predictive ability than PLSR. The best oil content prediction method was a combination of PLS-ANN and D1 SG pretreatment + SG smoothing ($R^2_{\text{cal}} = 0.98$ and $\text{RPD}_{\text{val}} = 6.83$). The best FFA prediction method was a combination of PLS-ANN with D1 SG pretreatment + SG smoothing ($R^2_{\text{cal}} = 0.81$ and $\text{RPD}_{\text{val}} = 2.34$), while the best water content prediction method was a combination of PLS-ANN and detrending pretreatment ($R^2_{\text{cal}} = 1.00$ and $\text{RPD}_{\text{val}} = 12.52$). The results showed that the developed spectral processing and calibration methods were quite accurate for non-destructive determination of oil and water content of palm fruit, so that they have good potential to be integrated with spectroscopic devices for practical measurement purposes both at the farmer and palm oil industry levels.

Keywords: Artificial neural network, chemical contents, oil palm fruits, partial least square regression, portable NIR spectrometer

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 2026

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

PREDIKSI CEPAT KANDUNGAN KIMIA BUAH KELAPA SAWIT SECARA NON-DESTRUKTIF MENGUNAKAN *PORTABLE NIR SPECTROMETER*

Annisy Syahida Aulia Mahbu Bilah

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Magister Teknologi Pascapanen

**PROGRAM STUDI MAGISTER
TEKNOLOGI PASCAPANEN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Dr. Slamet Widodo, S.TP., M.Sc.

Judul Tesis : Prediksi Cepat Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif Menggunakan *Portable NIR Spectrometer*
 Nama : Annisy Syahida Aulia Mahbu Bilah
 NIM : F1502232017

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr.

Pembimbing 2:

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

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Usman Ahmad, M. Agr.

NIP 196612281992031003

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.

NIP 196105021986031002

Tanggal Ujian : 22 Juni 2026

Tanggal Lulus :

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis penelitian yang berjudul “*Prediksi Cepat Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif Menggunakan Portable NIR Spectrometer*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) di Fakultas Teknik dan Teknologi, IPB University. Dengan tersusunnya tesis ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr. selaku ketua komisi pembimbing dan Bapak Prof. Dr. Ir. Y. Aris Purwanto, M.Sc. selaku anggota komisi pembimbing atas ilmu yang bermanfaat, arahan, bimbingan, dan kesabaran yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
2. Bapak Dr. Slamet Widodo, S.TP., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk penyempurnaan tesis ini.
3. Kepada Bunda Sumiati jika ada kata yang melebihi terima kasih dengan tulus saya sampaikan, atas doa yang tak pernah putus, kepercayaan, kesabaran, dan dukungan sejak awal hingga akhir perkuliahan. Dan kepada alm. Buya M. Iqbal (*rahimahullah*) atas semangat yang diwariskan dan dukungan materil yang hingga saat ini terus bermanfaat bagi pendidikan saya.
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB University serta dosen-dosen luar TMB yang telah mengajar dan berbagi ilmu yang bermanfaat selama kuliah.
5. Kak Yunisa Tri Suci dan Kak Widyaningrum yang turut memberi saran, arahan dan meluangkan waktu untuk berdiskusi mengenai penelitian ini.
6. Bapak Ahmad Mulyawatullah, Ibu Khania, Pak Abbas, Fachry, Mba Nisa yang sudah membantu dalam segala urusan administrasi dan penerbitan jurnal.
7. Teman-teman di IPB Nadia Elena, Kak Elya, Mba Ayu, Kak Diar, Mba Desi, Kak Puji, Kak Naim, Kak Diah serta teman-teman yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang sudah turut membantu, membersamai memotivasi selama perkuliahan.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberikan masukan dalam penyusunan tesis ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat.

Bogor, Juni 2026

Annisya Syahida A. M. B.



DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum Buah Kelapa Sawit	5
2.2 Penanganan dan Pascapanen Buah Kelapa Sawit	6
2.3 Kriteria Kematangan	7
2.4 NIR <i>Spectrometer</i>	8
2.5 <i>Portable NIR spectrometer</i>	9
2.6 Metode Kemometrik	10
2.7 <i>Pretreatment</i> Spektra	11
2.8 <i>Partial Least Square Regression (PLSR)</i>	11
2.9 <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	12
2.10 <i>Tuning Hyperparameter</i>	13
2.11 Aplikasi Penggunaan spektrometer NIR dalam Pengukuran Kandungan Kimia Produk Pertanian	15
III METODOLOGI	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Prosedur Kerja	17
3.3.1 Persiapan Sampel	19
3.3.2 Akuisisi Spektra NIR	19
3.3.3 Pengukuran Destruktif	20
3.3.4 <i>Pretreatment</i> Spektra	21
3.3.5 Kalibrasi <i>Partial Least Square Regression (PLSR)</i>	22



3.3.6	Kalibrasi Hibrida PLS-ANN	23
3.3.7	Perancangan Arsitektur Jaringan ANN	23
3.3.9	Validasi Metode	26
IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit	27
4.2	Karakteristik Spektra NIR	28
4.3	Hasil Kalibrasi PLSR dan <i>Hybrid</i> PLS-ANN	30
4.3.1	Hasil Optimasi Arsitektur Fisik Jaringan ANN	31
4.3.2	Metode Prediksi Kadar Minyak	33
4.3.3	Metode Prediksi Kadar ALB	35
4.3.4	Metode Prediksi Kadar Air	38
V KESIMPULAN DAN SARAN		42
5.1	Kesimpulan	42
5.2	Saran	42
Ucapan Terima Kasih		42
LAMPIRAN		52

DAFTAR GAMBAR

1. Distribusi global fasilitas produksi dan pengolahan minyak kelapa sawit. (a) Produksi minyak kelapa sawit pada tahun 2025/2026 (Sumber data: Departemen Pertanian AS. Dimodifikasi dari USDA 2026). (b) Lokasi Pabrik Minyak Kelapa Sawit (POM) di Indonesia (Sumber data: UML (Alliance, 2024)). Latar belakang peta: Google Satellite. (c) POM di Indonesia (Sumber gambar: Google Earth, Gambar @ 2024 Airbus).	1
2. Irisan buah <i>E. guineensis</i> Jacq. var. <i>dura</i> pada (a) 84 hari setelah penyerbukan (HSP) dan (b) 168 HSP. me: mesocarp, en: endocarp. Dimodifikasi dari Bille Ngalle <i>et al.</i> (2013)	5
3. Perkembangan fisik dan kimia TBS selama proses pematangan (Makky <i>et al.</i> 2014)	7
4. Spektrum elektromagnetik yang menunjukkan rentang spektral dan posisi inframerah dekat (NIR) relatif terhadap jenis radiasi elektromagnetik lainnya	8
5. Topologi ANN <i>multilayer perceptron</i> (Silva <i>et al.</i> 2017)	13
6. Sampel buah kelapa sawit (10 level kematangan) (Ket. B=bulan; M=minggu)	17
7. Diagram alir penelitian	18
8. Keseluruhan jaringan ANN. a) Kalibrasi, b) validasi	25
9. <i>Inner process</i> dalam operator optimize parameter	25
10. Proses penetapan konfigurasi nilai ketiga parameter utama	25
11. Grafik nilai aktual kadar minyak, ALB, dan air selama kematangan buah kelapa sawit	28
12. Plotting nilai absorbansi spektra NIR, a) original; b) D1 SG; c) D1 SG + Smoothing SG, d) Detrending; e) D1 SG + Detrending; f) SNV+D1 SG	29
13. Nilai explained variance berdasarkan FC. a) kadar minyak; b) kadar ALB; c) kadar air	30
14. Plot score antara nilai aktual dan nilai prediksi kandungan minyak. a) PLSR; b) PLS-ANN.	34
15. Plot score antara nilai aktual dan nilai prediksi kadar ALB. a) PLSR; b) PLS-ANN.	36
16. Plot score antara nilai aktual dan nilai prediksi kandungan air. a) PLSR; b) PLS-ANN.	39

DAFTAR TABEL

1. Fraksi kematangan panen pada tanaman kelapa sawit	7
2. Statistik deskriptif kandungan kimia buah kelapa sawit	27
3. Pemilihan Jumlah Neuron	31
4. Parameter Hasil Optimasi dan Nilai Evaluasi Performa	32
5. Kombinasi Parameter yang Diujikan Secara Trial and Error	32
6. Arsitektur Jaringan ANN Terbaik dan Performa yang Dihasilkan	33
7. Evaluasi performa metode prediksi kadar minyak	34
8. Evaluasi performa metode prediksi kadar ALB	36
9. Evaluasi performa metode prediksi kadar air	38

DAFTAR LAMPIRAN

1. Dokumentasi Persiapan Penelitian	53
2. Proses Akuisisi Spektra	53
3. Dokumentasi Tahapan Uji Kimia di Laboratorium	54
4. Komponen dan Standar Pengoperasian SCiO <i>Spectrometer</i> . Sumber: youtube, SCiO – Consumer Physics (2016)	55
5. Proses pembangunan model	55
6. Nilai Pembobotan Neuron Jaringan ANN Prediksi Kadar Minyak	56
7. Nilai Pembobotan Neuron Jaringan ANN Prediksi Kadar ALB	57
8. Nilai Pembobotan Neuron Jaringan ANN Prediksi Kadar Air	58
9. Data Referensi Kadar Kimia Buah Kelapa Sawit	60

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.