

**PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI KANDUNGAN KIMIA
BUAH KELAPA SAWIT SECARA NON-DESTRUKTIF
BERBASIS *ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY (EIS)***

VERRA MELLYANA



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Model Prediksi Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif berbasis *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*” 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 disertasi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Verra Mellyana
F1603211005

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

Minyak sawit merupakan komoditas strategis Indonesia yang mutu bahan bakunya ditentukan oleh kandungan minyak, kadar asam lemak bebas, dan kadar air. Analisis parameter tersebut umumnya masih menggunakan metode destruktif yang memerlukan waktu lama sehingga kurang sesuai untuk pengukuran cepat. Penelitian ini bertujuan menentukan karakteristik listrik buah kelapa sawit pada rentang frekuensi 50 Hz–5 MHz, menganalisis hubungannya dengan kandungan minyak, kadar asam lemak bebas, dan kadar air, serta mengembangkan model prediksi non-destruktif berbasis Electrical Impedance Spectroscopy (EIS). Pengukuran meliputi impedansi, resistansi, admitansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi, dan reaktansi. Data dimodelkan menggunakan regresi linier, Partial Least Squares (PLS), Multiple Linear Regression (MLR), dan Artificial Neural Network (ANN). Hasil menunjukkan bahwa impedansi dan resistansi menurun, sedangkan admitansi dan konduktansi meningkat seiring kenaikan frekuensi dan kematangan buah. Admitansi memberikan hubungan terbaik dengan kandungan minyak dan kadar asam lemak bebas, sedangkan impedansi terbaik untuk kadar air. Model terbaik menghasilkan R^2 0,98 (RPD 7,99) untuk minyak, R^2 0,96 (RPD 5,27) untuk kadar asam lemak bebas, dan R^2 0,98 (RPD 7,02) untuk kadar air. Hasil ini menunjukkan bahwa EIS multi-frekuensi berpotensi menjadi metode cepat, akurat, dan non-destruktif untuk penentuan mutu buah kelapa sawit.

Kata kunci: *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*, kelapa sawit, kemometrik, prediksi non-destruktif, sifat kelistrikan

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRACT

Palm oil is a strategic commodity that significantly contributes to Indonesia's economy, with the quality of fresh oil palm fruit being primarily determined by its oil content, free fatty acid (FFA) content, and moisture content. Conventional analytical methods for these parameters are destructive, time-consuming, and unsuitable for rapid quality assessment. This study aimed to characterize the electrical properties of oil palm fruit over a frequency range of 50 Hz–5 MHz, investigate their relationships with oil, FFA, and moisture contents, and develop non-destructive prediction models based on Electrical Impedance Spectroscopy (EIS). Electrical parameters, including impedance, resistance, admittance, inductance, capacitance, conductance, and reactance, were measured and modeled using linear regression, Partial Least Squares (PLS), Multiple Linear Regression (MLR), and Artificial Neural Networks (ANN). The results showed that impedance and resistance decreased, whereas admittance and conductance increased with increasing frequency and fruit maturity. Admittance exhibited the strongest relationship with oil and FFA contents, while impedance showed the highest correlation with moisture content. The best prediction models achieved R^2 values of 0.98 (RPD = 7.99) for oil, 0.96 (RPD = 5.27) for FFA, and 0.98 (RPD = 7.02) for moisture. These findings demonstrate that multi-frequency EIS is a rapid, accurate, and non-destructive approach for assessing the quality of oil palm fruit.

Keywords: Electrical Impedance Spectroscopy (EIS), oil palm, chemometrics, non-destructive prediction, electrical properties.

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

VERRA MELLYANA. Pengembangan Model Prediksi Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif berbasis *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS). Dibimbing oleh I WAYAN BUDIASTRA, IRMANSYAH, dan YOHANES ARIS PURWANTO.

Minyak sawit merupakan komoditas strategis yang berkontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia sebagai produsen utama dunia, dengan kontribusi sekitar 60% pasokan global dan nilai ekspor mencapai US\$29,5 miliar pada tahun 2023 (BPS, 2024). Keberlanjutan industri ini sangat ditentukan oleh mutu buah sawit sebagai bahan baku utama. Parameter kunci mutu meliputi kandungan minyak, kadar asam lemak bebas sebagai indikator degradasi, serta kadar air yang memengaruhi stabilitas dan proses pengolahan. Ketiga parameter ini sangat mempengaruhi rendemen, stabilitas, serta kualitas akhir produk minyak sawit. Metode analisis konvensional yang digunakan saat ini masih bersifat destruktif, memerlukan waktu lama, dan tidak efisien untuk pengukuran skala besar atau *real-time*. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengembangkan pendekatan pengukuran non-destruktif berbasis sifat kelistrikan menggunakan metode *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS). Penelitian ini bertujuan untuk: (1). menentukan karakteristik listrik buah kelapa sawit pada rentang frekuensi 50 Hz hingga 5 MHz, (2). Menentukan hubungan sifat listrik frekuensi 50 Hz hingga 5 MHz dengan kandungan kimia buah kelapa sawit, meliputi kandungan minyak, kadar asam lemak bebas, dan kadar air, dan (3). mengembangkan model prediksi kandungan minyak, kadar asam lemak bebas, dan kadar air yang akurat berbasis sifat listrik menggunakan pendekatan analisis multivariat.

Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan pada rentang frekuensi yang lebar, yaitu 50 Hz hingga 5 MHz, untuk menangkap informasi yang lebih komprehensif terkait struktur dan komposisi internal buah sawit. Parameter listrik yang dianalisis meliputi impedansi, resistansi, admitansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi, dan reaktansi. Masing-masing parameter memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap komponen kimia dalam buah. Misalnya, air yang bersifat polar cenderung mempengaruhi konduktivitas dan resistansi, sedangkan minyak yang bersifat non-polar lebih berpengaruh pada sifat kapasitif. Dengan demikian, kombinasi parameter listrik pada berbagai frekuensi dapat digunakan untuk memodelkan kandungan kimia secara lebih akurat. Metodologi penelitian meliputi pengambilan sampel buah sawit, pengukuran sifat listrik menggunakan alat LCR meter, serta analisis kimia sebagai data referensi. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan pendekatan kemometrik. Tahapan ini meliputi *pre-processing* data spektrum untuk mengurangi *noise*, pembentukan model kalibrasi, serta validasi model. Metode analisis yang digunakan meliputi regresi linier, *Partial Least Squares* (PLS), *Multiple Linear Regression* (MLR), dan *Artificial Neural Network* (ANN).

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.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh, (1) karakteristik listrik buah kelapa sawit pada rentang frekuensi 50 Hz–5 MHz berhasil ditentukan menggunakan metode Electrical Impedance Spectroscopy (EIS). Karakterisasi terhadap impedansi, resistansi, admitansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi, dan reaktansi menunjukkan bahwa setiap parameter memiliki respons spektral yang berbeda terhadap perubahan frekuensi dan tingkat kematangan buah. Parameter impedansi dan resistansi cenderung menurun, sedangkan admitansi dan konduktansi meningkat seiring meningkatnya frekuensi dan kematangan buah, (2). hubungan antara sifat listrik dan kandungan kimia buah kelapa sawit berhasil ditentukan. Parameter admitansi menunjukkan hubungan terbaik dengan kandungan minyak dan kadar asam lemak bebas, sedangkan impedansi menunjukkan hubungan terbaik dengan kadar air pada rentang frekuensi 50 Hz–5 MHz, dan (3). Model prediksi kandungan minyak, kadar asam lemak bebas, dan kadar air berbasis sifat listrik berhasil dikembangkan secara non-destruktif menggunakan kombinasi analisis multivariat dengan tingkat akurasi yang tinggi. Model terbaik untuk prediksi kandungan minyak diperoleh menggunakan parameter admitansi dengan metode Partial Least Squares (PLS) dan *pre-processing* NM-Dg1 faktor 7 ($R^2 = 0,98$; RPD = 7,99), sedangkan model terbaik untuk prediksi kadar asam lemak bebas diperoleh menggunakan parameter admitansi dengan metode PLS dan *pre-processing* Dg1 faktor 7 ($R^2 = 0,96$; RPD = 5,27). Sementara itu, model terbaik untuk prediksi kadar air diperoleh menggunakan parameter impedansi dengan kombinasi *Multiple Linear Regression* (MLR) dan *Artificial Neural Network* (ANN) pada 21 frekuensi terpilih ($R^2 = 0,98$; RPD = 7,02). Nilai R^2 yang tinggi, koefisien korelasi yang mendekati satu, serta nilai RPD yang melebihi 5 menunjukkan bahwa model yang dikembangkan memiliki kemampuan prediksi yang baik dan layak digunakan untuk analisis kuantitatif.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS) multi-frekuensi yang dikombinasikan dengan analisis multivariat mampu menghasilkan model prediksi yang akurat, stabil, dan aplikatif untuk penentuan kandungan minyak, kadar asam lemak bebas, dan kadar air secara non-destruktif. Temuan ini tidak hanya meningkatkan kinerja prediksi dibandingkan pendekatan yang telah dilaporkan sebelumnya, tetapi juga memberikan kontribusi ilmiah dalam menjelaskan hubungan antara respons listrik dan komposisi kimia buah kelapa sawit. Selain itu, hasil penelitian ini membuka peluang pengembangan sistem monitoring mutu buah kelapa sawit secara cepat, *real-time*, dan berbasis sensor untuk mendukung peningkatan efisiensi pengendalian mutu pada industri kelapa sawit

Kata kunci: *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*, kelapa sawit, kemometrik, prediksi non-destruktif, sifat kelistrikan

SUMMARY

VERRA MELLYANA. Development of a Non-Destructive Prediction Model for the Chemical Composition of Oil Palm Fruit Based on Electrical Impedance Spectroscopy (EIS). Supervised by I WAYAN BUDIASTRA, IRMANSYAH, dan YOHANES ARIS PURWANTO.

Palm oil is a strategic commodity that makes a substantial contribution to the Indonesian economy, with Indonesia accounting for approximately 60% of the global palm oil supply and generating export revenues of US\$29.5 billion in 2023 (BPS, 2024). The sustainability and competitiveness of the palm oil industry largely depend on the quality of fresh oil palm fruit, which serves as the primary raw material for crude palm oil production. Key quality parameters include oil content, free fatty acid (FFA) content as an indicator of fruit deterioration, and moisture content, all of which directly influence oil extraction efficiency, storage stability, processing performance, and the overall quality of palm oil products. However, conventional analytical methods used to determine these quality parameters are destructive, labor-intensive, time-consuming, and unsuitable for rapid, large-scale, or real-time quality assessment. To address these limitations, this study developed a non-destructive approach for evaluating oil palm fruit quality based on its electrical properties using Electrical Impedance Spectroscopy (EIS). The objectives of this research were to: (1) determine the electrical characteristics of oil palm fruit over a frequency range of 50 Hz to 5 MHz; (2) investigate the relationships between electrical properties measured within the frequency range of 50 Hz to 5 MHz and the fruit's chemical constituents, including oil content, free fatty acid content, and moisture content; and (3) develop accurate multivariate prediction models for oil content, free fatty acid content, and moisture content based on the electrical properties of oil palm fruit.

Measurements were conducted over a wide frequency range from 50 Hz to 5 MHz to capture more comprehensive information related to the internal structure and chemical composition of oil palm fruit. The electrical parameters analyzed include impedance, resistance, admittance, inductance, capacitance, conductance, and reactance, each exhibiting different sensitivities to chemical components. For instance, polar components such as water primarily influence conductivity and resistance, whereas non-polar components such as oil are more associated with capacitive properties. Therefore, the combination of electrical parameters across multiple frequencies can be utilized to model chemical composition more accurately.

The research methodology includes sample collection, electrical property measurement using an LCR meter, and chemical analysis as reference data. The acquired data were processed using chemometric approaches, including spectral data pre-processing to reduce noise, model calibration, and validation. The analytical methods employed include linear regression, Partial Least Squares (PLS), Multiple Linear Regression (MLR), and Artificial Neural Networks (ANN).

The results of this study demonstrated that: (1) the electrical characteristics of oil palm fruit over the frequency range of 50 Hz–5 MHz were successfully characterized using Electrical Impedance Spectroscopy (EIS). The characterization of impedance, resistance, admittance, inductance, capacitance, conductance, and reactance revealed distinct spectral responses to variations in frequency and fruit maturity. Impedance and resistance generally decreased, whereas admittance and conductance increased with increasing frequency and fruit maturity; (2) the relationships between the electrical properties and the chemical constituents of oil palm fruit were successfully established. Admittance exhibited the strongest relationship with oil content and free fatty acid (FFA) content, whereas impedance showed the strongest relationship with moisture content over the frequency range of 50 Hz–5 MHz; and (3) accurate non-destructive prediction models for oil content, free fatty acid content, and moisture content were successfully developed by integrating electrical properties with multivariate analysis. The optimal model for oil content prediction was obtained using admittance with Partial Least Squares (PLS) regression and NM-Dg1 (Normalization Mean–first derivative Savitzky–Golay) preprocessing, factor 7 ($R^2 = 0.98$; RPD = 7.99), whereas the optimal model for free fatty acid prediction was obtained using admittance with PLS and Dg1 (first derivative Savitzky–Golay) preprocessing, factor 7 ($R^2 = 0.96$; RPD = 5.27). The optimal model for moisture content prediction was achieved using impedance combined with Multiple Linear Regression (MLR) and Artificial Neural Networks (ANN) based on 21 selected frequencies ($R^2 = 0.98$; RPD = 7.02). The high coefficients of determination (R^2), correlation coefficients approaching unity, and RPD values greater than 5 indicate that the developed models possess excellent predictive performance and are suitable for quantitative analysis.

Overall, this study confirms that the integration of multi-frequency Electrical Impedance Spectroscopy (EIS) with multivariate analysis can produce accurate, robust, and practical prediction models for the non-destructive determination of oil content, free fatty acid content, and moisture content in oil palm fruits. The findings not only improve predictive performance compared with previously reported approaches but also contribute to a deeper scientific understanding of the relationship between electrical responses and the chemical composition of oil palm fruits. Furthermore, the results provide a scientific foundation for the future development of sensor-based quality monitoring systems capable of rapid and real-time assessment, thereby supporting enhanced quality control and operational efficiency within the palm oil industry.

Keywords: Electrical Impedance Spectroscopy (EIS), oil palm, chemometrics, non-destructive prediction, electrical properties.

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

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 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

**PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI KANDUNGAN KIMIA
BUAH KELAPA SAWIT SECARA NON-DESTRUKTIF
BERBASIS *ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY (EIS)***

VERRA MELLYANA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Doktor Ilmu keteknikan Pertanian

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr.
- 2 Prof. Dr. Ir. Agus Kartono, M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr.
- 2 Dr. Idha Widhi Arsanti, S.P., M.P.

- 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.

PENGESAHAN

Judul Disertasi : Pengembangan Model Prediksi Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif berbasis *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*.
Nama : Verra Mellyana
NIM : F1603211005

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr.



Pembimbing 2:
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Yohanes Aris Purwanto, M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Doktor Ilmu Keteknikan Pertanian
Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr.
NIP 196110191986011002



Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi.
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP 196105021986031002



Tanggal Ujian Tertutup : 4 Juni 2026
Tanggal Ujian Terbuka : 6 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada *Allah subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan dengan judul “Pengembangan Model Prediksi Kandungan Kimia Buah Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif berbasis *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*”. Penulisan disertasi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Para pembimbing, Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr., Dr. Ir. Irmansyah, M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Yohanes Aris Purwanto, M.Sc., yang telah membimbing dan banyak memberi saran.
2. Moderator seminar Prof. Dr. Endang Warsiki, S.TP, M.Si., Penguji luar komisi pembimbing pada ujian tertutup dan terbuka, Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr, Penguji luar komisi pembimbing pada ujian tertutup Prof. Dr. Ir. Agus Kartono, M.Si, dan Penguji luar komisi pembimbing pada ujian terbuka Dr. Idha Widhi Arsanti, S.P., M.P. atas bimbingan dan saran yang konstruktif untuk memperbaiki dan menyempurnakan disertasi ini.
3. Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr, selaku ketua program studi TEP dan Dr. Liyantono, S.TP. M.Agr., selaku sekretaris program studi TEP, serta seluruh dosen dan tendik di Departemen Teknik Mesin dan Biosistem dan Departemen Teknik Fisika (Mas Ferry dan Mba Mia), atas bantuan, arahan, dan dukungan selama menempuh studi.
4. Dr. Ir. Leli Nuryati, M.Sc. selaku Kepala Pusat Penyuluhan Pertanian periode 2021-2022 dan Riza Fakhri, SE.MM selaku Kepala Bidang Program dan Kerjasama, Pusat Penyuluhan Pertanian yang telah memberikan izin, kesempatan serta dukungan bagi penulis untuk melaksanakan tugas belajar.
5. Kementerian Pertanian melalui Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian dan Pusat Penyuluhan Pertanian yang telah memberikan dukungan melalui beasiswa tugas belajar Kementan 2021.
6. Ungkapan terima kasih disampaikan kepada Ayahanda Hartono, (Alm) Ibu Evie Anie, Adik-adikku (Debby dan Ellyana), serta seluruh keluarga (Suami tercinta Deff serta anak tersayang Victoria) yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya yang senantiasa menguatkan penulis dalam menyelesaikan studi doctoral.
7. Teman-teman di Program Doktor Ilmu Keteknikan Pertanian Angkatan 2021, Mbak Widya, Mas Dodik, Pak Atok, Pak Prayudi, Pak Hendri, Pak Andi, Pak Diswandi, Pak Ridwan, Mas Lukman, terima kasih atas kebersamaan dan diskusi selama menempuh studi doctoral. Teman-teman di IPB yang juga banyak membantu selama studi doktor Mba Yulni, Mba Yunisa, Mbak Nunik, Mbak Rani, Mas Edo, Mas Sirait, De'Arif, De'Nissa, De'Muyassar, De' Nawal, De'Qory, Pak Mul dan teman-teman lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuan, diskusi dan semangat yang saling menguatkan.
8. Dan seluruh pihak yang berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses penelitian dan penulisan disertasi, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026
Verra Mellyana

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
RINGKASAN.....	iv
SUMMARY	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR ISTILAH.....	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Kebaruan Penelitian	4
1.6 Hipotesa.....	6
1.7 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum Kelapa Sawit	7
2.2 Penentuan Mutu Buah Kelapa Sawit.....	8
2.3 Penanganan Pasca Panen.....	11
2.3.1 Pascapanen di Tingkat Mitra Perusahaan Sawit	11
2.3.2 Pascapanen di Tingkat Kelompok Tani	12
2.4 Karakteristik Listrik Bahan Pertanian	13
2.4.1 Spektroskopi Listrik Bahan.....	13
2.4.2 Impedansi	13
2.4.3 Admitansi	15
2.4.4 Resistansi dan Konduktansi	16
2.4.5 Induktansi	18
2.4.6 Kapasitansi	20
2.4.7 Reaktansi	22
2.5 Kemometrik.....	23
2.6 <i>Pre-processing Spectrum</i> dan <i>Partial Least Square (PLS)</i>	23
2.7 <i>Multiple Linear Regression (MLR)</i>	26
2.8 <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	26
2.9 Aplikasi Listrik di Bidang Pertanian	26
III. METODE PENELITIAN	33
3.1 Kerangka Metodologi.....	33
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	34
3.3 Alat dan Bahan	34
3.4 Prosedur Penelitian.....	35
3.4.1 Persiapan Sampel Penelitian	35
3.4.2 Sistem Pengukuran Fisiko Kimia Buah Sawit	36

3.4.3	Pembuatan Plat Kapasitor dan Pengukuran Buah Sawit	36
3.4.4	Sistem Pengukuran Parameter kelistrikan	37
3.4.5	Penentuan Kandungan Minyak Buah Sawit	39
3.4.6	Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas.....	40
3.4.7	Penentuan Kadar Air dalam Brondolan Buah Kelapa Sawit	41
3.5	Pengolahan Data	41
3.5.1	Pembagian Data	42
3.5.2	Model Regresi Linear	43
3.5.3	<i>Pre-procesing spectra</i> dan <i>Partial Least Square</i> (PLS)	43
3.5.4	<i>Multiple Linear Regression</i> (MLR)	44
3.5.5	Pengembangan Model Kalibrasi menggunakan Metode ANN.....	44
3.5.6	Evaluasi Model	46
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1	Sifat Kimia Buah Kelapa Sawit	51
4.2	Karakteristik Spektrum Sifat Listrik Buah Kelapa Sawit.....	54
4.2.1	Karakteristik Spektrum Impedansi	54
4.2.2	Karakteristik Spektrum Resistansi.....	58
4.2.3	Karakteristik Spektrum Admitansi	63
4.2.4	Karakteristik Spektrum Induktansi	66
4.2.5	Karakteristik Spektrum Kapasitansi	71
4.2.6	Karakteristik Spektrum Konduktansi.....	75
4.2.7	Karakteristik Spektrum Reaktansi	80
4.2.8	Respons Spektrum pada berbagai Frekuensi	83
4.3	Prediksi Kandungan Minyak	85
4.3.1	Model Regresi Linear	86
4.3.2	Model Kalibrasi dan Prediksi PLS.....	88
4.3.3	Model Kalibrasi dan Prediksi MLR.....	94
4.3.4	Model Kalibrasi dan Prediksi MLR dan ANN	97
4.3.5	Interpretasi Hasil Prediksi Kandungan Minyak.....	99
4.4	Prediksi Kadar Asam Lemak Bebas	101
4.4.1	Model Regresi Linear	102
4.4.2	Model Kalibrasi dan Prediksi PLS.....	104
4.4.3	Model Kalibrasi dan Prediksi MLR.....	109
4.4.4	Model Kalibrasi dan Prediksi MLR dan ANN	113
4.4.5	Interpretasi Hasil Prediksi Asam Lemak Bebas	114
4.5	Prediksi Kadar Air	116
4.5.1	Model Regresi Linear	117
4.5.2	Model Kalibrasi dan Prediksi PLS.....	119
4.5.3	Model Kalibrasi dan Prediksi MLR.....	125
4.5.4	Model Kalibrasi dan Prediksi MLR dan ANN	127
4.5.5	Interpretasi Hasil Prediksi Kadar Air.....	128
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	133
5.1	Kesimpulan	133
5.2	Saran	134
VI.	DAFTAR PUSTAKA	135
	LAMPIRAN.....	145
	RIWAYAT HIDUP.....	149

DAFTAR TABEL

Halaman

1. Fraksi matang panen pada tanaman kelapa sawit.....	8
2. Spesifikasi persyaratan mutu bungkil inti sawit dan inti kelapa sawit.....	9
3. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit dan minyak inti kelapa sawit (Ketaren 1986)	9
4. Beberapa metode pre-processing yang digunakan untuk perbaikan data spektrum	25
5. Perbandingan penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan karakteristik listrik untuk pendugaan mutu produk pertanian secara non-destruktif	30
6. Analisis komposisi data kalibrasi dan validasi kandungan minyak buah sawit.....	86
7. Model regresi linier, koefisien determinasi, korelasi, dan RMSE digunakan untuk menggambarkan hubungan antara karakteristik listrik dan kandungan minyak pada berbagai frekuensi (Mellyana et al. 2025) ..	87
8. Hasil kalibrasi kandungan minyak menggunakan metoda PLS berdasarkan sifat listrik impedansi, resistansi, admitansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi dan reaktansi.....	88
9. Hasil kalibrasi dan prediksi kandungan minyak menggunakan metode MLR berbasis sifat listrik (impedansi, resistansi, admitansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi, dan reaktansi).	95
10. Prediktor dan koefisien model kandungan minyak berdasarkan sifat listrik resistansi.....	96
11. Hasil evaluasi dan perbandingan kinerja terbaik pada berbagai metode prediksi kandungan minyak.....	99
12. Analisis komposisi data kalibrasi dan validasi asam lemak bebas buah sawit.....	102
13. Model regresi linier, koefisien determinasi, korelasi, dan RMSE digunakan untuk menggambarkan hubungan antara karakteristik listrik dan asam lemak bebas pada berbagai frekuensi	103
14. Hasil kalibrasi asam lemak bebas menggunakan metoda PLS berdasarkan sifat listrik impedansi, resistansi, admitansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi dan reaktansi.....	105
15. Hasil kalibrasi dan prediksi asam lemak bebas menggunakan metode MLR berbasis sifat listrik (impedansi, resistansi, admitansi, induktansi (Mellyana et al. 2024), kapasitansi, konduktansi, dan reaktansi).....	111
16. Prediktor dan koefisien model asam lemak bebas.....	111
17. Hasil evaluasi dan perbandingan kinerja terbaik pada berbagai metode prediksi asam lemak bebas	115
18. Analisis komposisi data kalibrasi dan validasi kandungan minyak buah sawit.....	117

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.

19. Model regresi linier, koefisien determinasi, korelasi, dan RMSE digunakan untuk menggambarkan hubungan antara karakteristik listrik kadar air pada berbagai frekuensi	117
20. Hasil kalibrasi kadar air menggunakan metoda PLS berdasarkan sifat listrik impedansi, resistansi, admitansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi dan reaktansi.....	121
21. Hasil kalibrasi dan prediksi kadar air menggunakan metode MLR berbasis sifat listrik (impedansi, resistansi, admitansi, induktansi (Mellyana et al. 2024), kapasitansi, konduktansi, dan reaktansi).	126
22. Prediktor dan koefisien model kadar air	126
23. Hasil evaluasi dan perbandingan kinerja terbaik pada berbagai metode prediksi kadar air.....	129

DAFTAR GAMBAR

Halaman

1. Perubahan rasio minyak mesocarp terhadap panjang buah kelapa sawit yang diamati mulai 30 hari sampai 185 hari setelah penyerbukan (Anerlan et al. 2019).	7
2. (a) kapasitor keping sejajar; (b) garis-garis medan listrik antara keping-keping suatu kapasitor keping sejajar yang terpisah pada jarak yang sama menunjukkan bahwa medan listrik bersifat seragam; (c) garis garis medan listrik antara keping sejajar ditunjukkan oleh semburan minyak (Tipler 2001).	20
3. Kerangka metodologi.....	34
4. LCR Hitester 3532-50 Hioki, Tokyo, Jepang	35
5. Sepuluh tingkat umur buah sawit pada umur 3 bulan sampai 6 bulan setelah pembungaan	36
6. Posisi TBS; (b) minyak buah sawit; (c) penampang minyak buah sawit (Sinambela 2020).	36
7. (a) kapasitor keping sejajar; (b) proses pengukuran buah.....	37
8. Diagram blok pengukuran spektrometer impedansi listrik.	39
9. Diagram jaringan ANN	46
10. Diagram alir penelitian.....	49
11. Perkembangan kandungan minyak, asam lemak bebas, dan kadar air pada sepuluh tingkat umur	52
12. (a) Hubungan antara kandungan minyak dan kadar air pada buah sawit (b) Hubungan antara asam lemak bebas dan kadar air pada buah sawit....	53
13. Rata-rata spektrum impedansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur.	54
14. Spektrum impedansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur tanpa perlakuan pre-processing data.....	56
15. Spektrum impedansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing normalization mean (NM).	56

16. Spektrum impedansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing standard normal variate (SNV).	57
17. Spektrum impedansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing Turunan Pertama Savitzky-Golay (Dg1).	58
18. Spektrum impedansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing kombinasi normalization mean dan turunan pertama Savitzky-Golay (NM-Dg1).	58
19. Rata-rata spektrum resistansi per unit berat pada berbagai tingkat umur.	59
20. Spektrum resistansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur tanpa perlakuan pre-processing data.	60
21. Spektrum resistansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing normalization mean (NM).	61
22. Spektrum resistansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing standard normal variate (SNV)	61
23. Spektrum resistansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing Turunan Pertama Savitzky-Golay (Dg1).	62
24. Spektrum resistansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing kombinasi normalization mean dan turunan pertama Savitzky-Golay (NM-Dg1).	62
25. Rata-rata spektrum admitansi per unit berat pada berbagai tingkat umur.	63
26. Spektrum admitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur tanpa perlakuan pre-processing data.	64
27. Spektrum admitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing normalization mean (NM).	65
28. Spektrum admitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing standard normal variate (SNV).	65
29. Spektrum admitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing Turunan Pertama Savitzky-Golay (Dg1).	65
30. Spektrum admitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing kombinasi normalization mean dan turunan pertama Savitzky-Golay (NM-Dg1).	66
31. Rata-rata spektrum induktansi per unit berat pada berbagai tingkat umur.	66
32. Rata-rata spektrum induktansi per unit berat pada frekuensi tertentu di berbagai tingkat umur.	67
33. Spektrum induktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur tanpa perlakuan pre-processing data.	69
34. Spektrum induktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing normalization mean (NM).	70
35. Spektrum induktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing standard normal variate (SNV).	70

36. Spektrum induktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing Turunan Pertama Savitzky-Golay (Dg1).	70
37. Spektrum induktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing kombinasi normalization mean dan turunan pertama Savitzky-Golay (NM-Dg1).	71
38. Rata-rata spektrum kapasitansi per unit berat pada berbagai tingkat umur.	71
39. Rata-rata spektrum kapasitansi per unit berat pada frekuensi tertentu di berbagai tingkat umur.	72
40. Spektrum kapasitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur tanpa perlakuan pre-processing data.	73
41. Spektrum kapasitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing normalization mean (NM).	74
42. Spektrum kapasitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing standard normal variate (SNV).	74
43. Spektrum kapasitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing Pertama Savitzky-Golay (Dg1).	75
44. Spektrum kapasitansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing kombinasi normalization mean dan turunan pertama Savitzky-Golay (NM-Dg1).	75
45. Rata-rata spektrum konduktansi per unit berat pada berbagai tingkat umur.	76
46. Rata-rata spektrum konduktansi per unit berat pada frekuensi tertentu di berbagai tingkat umur.	76
47. Spektrum konduktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur tanpa perlakuan pre-processing data.	78
48. Spektrum konduktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing normalization mean (NM).	78
49. Spektrum konduktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing standard normal variate (SNV).	79
50. Spektrum konduktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing turunan pertama Savitzky-Golay (Dg1).	79
51. Spektrum konduktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing kombinasi normalization mean dan turunan pertama Savitzky-Golay (NM-Dg1).	79
52. Rata-rata spektrum reaktansi per unit berat pada berbagai tingkat umur.	80
53. Spektrum reaktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur tanpa perlakuan pre-processing data.	81
54. Spektrum reaktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing normalization mean (NM).	81
55. Spektrum reaktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing standard normal variate (SNV).	82

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.

56. Spektrum reaktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing turunan pertama Savitzky-Golay (Dg1).	82
57. Spektrum reaktansi buah sawit per satuan berat pada berbagai tingkat umur menggunakan pre-processing kombinasi normalization mean dan turunan pertama Savitzky-Golay (NM-Dg1).	83
58. Plot prediksi versus acuan untuk kandungan minyak pada set data kalibrasi dengan metoda PLS menggunakan sifat listrik: a) impedansi, b) resistansi, c) admitansi, d) induktansi, e) kapasitansi, f) konduktansi, dan g) reaktansi.	92
59. Hasil kalibrasi dan validasi untuk model kandungan minyak dari buah kelapa sawit menggunakan metode MLR	96
60. Diagram jaringan ANN kandungan minyak.....	97
61. Plot kalibrasi kandungan minyak referensi vs prediksi menggunakan metode ANN.....	99
62. Plot prediksi versus acuan untuk asam lemak bebas pada set data kalibrasi dengan metoda PLS menggunakan sifat listrik: a) impedansi, b) resistansi, c) admitansi, d) induktansi, e) kapasitansi, f) konduktansi, dan g) reaktansi.	108
63. Hasil kalibrasi dan validasi untuk model asam lemak bebas dari buah kelapa sawit menggunakan metode MLR.	112
64. Diagram jaringan ANN asam lemak bebas.	113
65. Plot kalibrasi asam lemak bebas referensi vs prediksi menggunakan metode ANN.....	113
66. Plot prediksi versus acuan untuk kadar air pada set data kalibrasi dengan metoda PLS menggunakan sifat listrik: a) impedansi, b) resistansi, c) admitansi, d) induktansi, e) kapasitansi, f) konduktansi, dan g) reaktansi.....	124
67. Plot kadar air referensi versus prediksi kalibrasi menggunakan metode MLR.	127
68. Diagram jaringan ANN kadar air.	128
69. Plot kalibrasi kadar air referensi vs prediksi menggunakan metode ANN.	128

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

1. Data referensi statistik buah kelapa sawit Tenera.	145
2. ANOVA untuk kandungan minyak, asam lemak bebas dan kadar air pada buah sawit.	146
3. Uji robust untuk kesetaraan rata-rata kandungan minyak, asam lemak bebas dan kadar air	146
4. Spesifikasi LCR Hitester 3532-50 Hioki, Tokyo, Jepang	147

DAFTAR ISTILAH

ρ	Resistivitas (ohm m)
σ	Konduktivitas listrik (1/ohm m atau mhos/m)
ϵ_0	Permitivitas ruang hampa ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m = 8,85 pF/m)
θ	Sudut fase antara arus dan tegangan
A	Luas penampang konduktor (m^2)
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
APD	Alat Pelindung Diri
B	<i>Susceptansi</i> (bagian imajiner dari admitansi) (Siemens)
C	Kapasitansi listrik (Farad)
CI	<i>Consistency</i>
CPO	<i>Crude palm oil</i>
CV	<i>Coefficient of Variation</i>
d	Jarak pisah antar keping sejajar (m)
Dg1	<i>First derivative Savitzky-Golay</i> / Turunan pertama Savitzky-Golay
FFA	<i>Free Fatty Acid</i> / asam lemak bebas
G	Konduktansi (bagian nyata dari admitansi) (Siemens)
HSP	Hari Setelah Penyerbukan
KKPA	Kelompok Koperasi Kredit Petani Perkebunan dan Pengolahan Kelapa Sawit
L	Panjang konduktor (m)
MLR	<i>Multiple Linear Regression</i>
NIR	<i>Near Infrared Spectroscopy</i>
NM	<i>Normalization Mean</i>
OB	<i>Oil to Bunch Ratio</i> / Perbandingan minyak terhadap tandan
OWM	<i>Oil to wet mesocarp ratio</i> / Perbandingan minyak terhadap mesocarp brondolan basah
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
PLS	<i>Partial Least Squares</i>
PPKS	Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Q	Muatan
r	<i>Coefficient of correlation</i>
R	Resistansi (bagian nyata dari impedansi) (Ω)
R_s	Resistansi seri (Ω)
R^2	<i>Coefficient of Determination</i>
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RPD	<i>Ratio of Performance to Deviation</i>
SEC	<i>Standard Error of Calibration</i>
SEP	<i>Standard Error of Prediction</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
SNV	<i>Standard Normal Variate</i>
TBS	Tandan Buah Segar
TPH	Tempat Pengumpulan Hasil

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



V	Tegangan/ sumber (volt)
X	Reaktansi (bagian imajiner dari impedansi)
X_L	Reaktansi kapasitif
X_c	Reaktansi induktif
Y	Admitansi (Siemens)
Z	impedansi dalem bentuk kompleks (Ω)
$[Z]$	Impedansi dalam bentuk polar (Ω)
L	Induktansi (Henry)
f	Frekuensi (Hz)
j	Unit imajiner ($j^2=1$)
π	Konstanta 3,141592 (22/7)

- 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.