

PREDIKSI MUTU INTERNAL TANDAN BUAH SEGAR KELAPA SAWIT SECARA NON-DESTRUKTIF BERBASIS KAPASITANSI LISTRIK

PUJI RAHAYU



**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 Mutu Internal Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Secara Non-Destruktif Berbasis Kapasitansi Listrik**” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal dari atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan oleh 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, Juli 2026

Puji Rahayu
F1502241001

RINGKASAN

PUJI RAHAYU. Prediksi Mutu Internal Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Secara Non-destruktif Berbasis Kapasitansi Listrik. Dibimbing oleh I WAYAN BUDIASTRA, SUTRISNO

Mutu tandan buah segar (TBS) kelapa sawit merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas dan rendemen minyak yang dihasilkan. Penentuan mutu TBS di lapangan umumnya masih dilakukan secara visual sehingga bersifat subjektif dan belum mampu menggambarkan kondisi internal buah secara akurat. Di sisi lain, analisis laboratorium untuk menentukan kadar air, kadar minyak, dan asam lemak bebas (ALB) masih bersifat destruktif, memerlukan waktu, serta kurang efisien untuk pengendalian mutu secara cepat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan nondestruktif yang mampu mengevaluasi mutu internal TBS secara cepat dan objektif. Salah satu pendekatan yang berpotensi digunakan adalah pengukuran kapasitansi listrik multifrekuensi karena respons listrik bahan dipengaruhi oleh perubahan komposisi internal selama proses pematangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik kapasitansi listrik multifrekuensi pada berbagai tingkat kematangan TBS kelapa sawit, menganalisis keterkaitannya dengan kadar air, kadar minyak, dan asam lemak bebas, serta mengembangkan model prediksi mutu internal berbasis kapasitansi listrik secara nondestruktif. Penelitian menggunakan 50 TBS kelapa sawit varietas Tenera yang terdiri atas lima tingkat kematangan. Pengukuran kapasitansi listrik dilakukan menggunakan *Inductance, Capacitance, and Resistance* (LCR) meter pada 14 frekuensi dalam rentang 50 Hz hingga 100 kHz dengan elektroda pelat tembaga yang disesuaikan dengan dimensi TBS. Parameter mutu internal yang dianalisis meliputi kadar air, kadar minyak, dan ALB. Data mutu internal dianalisis secara deskriptif dan dengan analisis ragam (ANOVA). Keterkaitan antara data kapasitansi listrik multifrekuensi dan parameter mutu internal dianalisis menggunakan *Multiple Linear Regression* (MLR), sedangkan model prediksi dikembangkan menggunakan *Partial Least Squares Regression* (PLSR) dengan beberapa perlakuan prapengolahan data.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa respons kapasitansi listrik berubah seiring dengan tingkat kematangan TBS, yang mencerminkan perubahan kondisi internal buah selama proses pematangan. Analisis menggunakan MLR menunjukkan bahwa data kapasitansi listrik multifrekuensi memiliki keterkaitan yang cukup baik dengan kadar air dan kadar minyak, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) validasi masing-masing sebesar 0,78 dan 0,80 sedangkan keterkaitannya dengan asam lemak bebas relatif lebih rendah ($R^2 = 0,22$). Pengembangan model menggunakan PLSR menunjukkan bahwa prapengolahan *Multiplicative Scatter Correction* (MSC) menghasilkan kinerja model prediksi terbaik untuk kadar air dan kadar minyak, sedangkan model prediksi asam lemak bebas masih menunjukkan kemampuan prediksi yang relatif rendah.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitansi listrik multifrekuensi berpotensi digunakan sebagai metode nondestruktif untuk pendugaan mutu internal TBS kelapa sawit, khususnya kadar air dan kadar minyak. Sementara itu, model prediksi ALB masih memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi dan keandalannya sebelum diterapkan pada skala operasional.

Kata kunci: asam lemak bebas, kapasitansi listrik, kadar air, kadar minyak, tandan buah segar

@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.

SUMMARY

PUJI RAHAYU. Non-Destructive Prediction of Internal Quality of Oil Palm Fresh Fruit Bunches Based on Electrical Capacitance. Supervised by I WAYAN BUDIASTRA and SUTRISNO.

Oil palm fresh fruit bunch (FFB) quality is key to crude palm oil quality and oil extraction yield. In practice, FFB quality is assessed by visual inspection, which is subjective and does not accurately reflect internal quality. Laboratory analyses of moisture, oil, and free fatty acid (FFA) content are destructive, time-consuming, and less efficient for rapid evaluation. Therefore, a non-destructive approach is required to rapidly and objectively evaluate internal FFB quality. One promising approach is to measure multi-frequency electrical capacitance, as the electrical response of biological materials changes with their internal composition during fruit maturation.

This study aimed to analyze the characteristics of multi-frequency electrical capacitance at different maturity stages of oil palm FFB, examine its relationship with moisture content, oil content, and FFA content, and develop a non-destructive prediction model for internal quality based on electrical capacitance. A total of 50 Tenera oil palm fresh fruit bunches representing five maturity stages were used. Electrical capacitance was measured using an Inductance, Capacitance, and Resistance (LCR) meter at 14 frequencies ranging from 50 Hz to 100 kHz with copper plate electrodes designed to match the dimensions of the bunches. The internal quality parameters analyzed included moisture, oil, and FFA content. Internal quality data were analyzed descriptively and by analysis of variance (ANOVA). The relationship between multi-frequency electrical capacitance and internal quality parameters was analyzed using Multiple Linear Regression (MLR), while prediction models were developed using Partial Least Squares Regression (PLSR) with several signal preprocessing techniques.

The results showed that the electrical capacitance response changed with the maturity stage of oil palm fresh fruit bunches (FFB), reflecting changes in the internal composition of the fruit during the ripening process. Analysis using MLR indicated that multi-frequency electrical capacitance was reasonably well related to moisture content and oil content, with validation coefficients of determination (R^2) of 0.78 and 0.80, respectively, whereas its relationship with free fatty acid (FFA) content was relatively weaker ($R^2 = 0.22$). Furthermore, prediction models developed using PLSR showed that Multiplicative Scatter Correction (MSC) preprocessing provided the best prediction performance for moisture and oil contents, whereas the prediction performance for FFA remained relatively low.

This study demonstrates that multi-frequency electrical capacitance has considerable potential as a non-destructive approach for predicting the internal quality of oil palm FFB, particularly moisture and oil contents. However, the FFA

prediction model still requires further improvement to achieve higher accuracy and robustness before practical implementation.

Keywords: electrical capacitance, free fatty acid, fresh fruit bunch, moisture content, oil content

@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 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 MUTU INTERNAL TANDAN BUAH SEGAR KELAPA SAWIT SECARA NON-DESTRUKTIF BERBASIS KAPASITANSI LISTRIK

PUJI RAHAYU

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

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNOLOGI PASCAPANEN
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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis: Dr. Ir. I Made Subrata, M.Agr.



Judul Tesis : Prediksi Mutu Internal Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Secara
Non-Destruktif Berbasis Kapasitansi Listrik
Nama : Puji Rahayu
NIM : F1502241001

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M.Agr.

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 19105021986031002

Tanggal Ujian: 9 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhānahu wa Ta‘ālā atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 hingga Februari 2026 dengan tema pemanfaatan teknologi nondestruktif dalam penentuan mutu hasil pertanian, dengan judul **“Prediksi Mutu Internal Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Secara Nondestruktif Berbasis Kapasitansi Listrik.”**

Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr., dan Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M.Agr., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr., selaku penguji, serta Prof. Dr. Ir. Usman Ahmad, M.Agr., selaku Ketua Program Studi Teknologi Pascapanen dan moderator sidang yang telah memberikan saran dan masukan yang konstruktif demi penyempurnaan karya ilmiah ini.

Penulis juga menyampaikan penghargaan atas dukungan pendanaan melalui skema Penelitian Fundamental BIMA KEMENDIKTI tahun 2025 yang dikelola oleh Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr., sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Penghargaan juga penulis sampaikan kepada pengelola dan seluruh staf laboratorium yang telah memberikan izin, fasilitas, bantuan teknis, serta dukungan selama proses penelitian, pengambilan data, hingga pengolahan data berlangsung.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman Program Studi Teknologi Pascapanen IPB University dan semua pihak yang telah memberikan dukungan serta bantuan selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini.

Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada Ayah, Ibu, Kakak, Adik serta seluruh keluarga besar atas dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknologi pascapanen.

Bogor, Juli 2026

Puji Rahayu

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I. PENDAHULUAN	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tandan Buah Segar Kelapa Sawit dan Mutu Internal	5
2.2 Sifat Dielektrik Bahan Biologis	6
2.3 Hubungan Kapasitansi dengan Mutu Internal TBS	7
2.4 Pemodelan Multivariat dengan PLSR	8
2.5 Penelitian Terdahulu	8
III. METODE	10
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Rancangan Penelitian	11
3.4 Prosedur Penelitian	11
3.5 Analisis Data	13
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Karakteristik Mutu Internal Tandan Buah Segar Kelapa Sawit	17
4.2 Karakteristik Kapasitansi Listrik TBS Kelapa Sawit pada Berbagai Tingkat Kematangan	18
4.3 Analisis <i>Multiple Linear Regression</i>	20
4.4 Pengembangan Model Prediksi Mutu Internal TBS dengan PLSR	21
4.5 Evaluasi Kinerja Model dan Implikasi	27
V. SIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Simpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	34
RIWAYAT HIDUP	48

DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Hasil uji ANOVA parameter mutu internal TBS	18
2	Tabel 2 Hasil MLR kapasitansi dan mutu internal TBS	20
3	Tabel 3 Kinerja model PLS untuk prediksi kadar air	22
4	Tabel 4 Kinerja model PLS untuk prediksi kadar minyak	24
5	Tabel 5 Kinerja model PLS untuk prediksi ALB	26

DAFTAR GAMBAR

1	Bagian-bagian Kelapa sawit	5
2	Mekanisme polarisasi dielektrik	6
3	Tingkat kematangan TBS kelapa sawit.	10
4	Diagram penelitian prediksi mutu TBS	11
5	Diagram blok pengujian kapasitansi listrik pada TBS	12
6	Alur analisis data penelitian	14
7	Karakteristik mutu internal TBS pada lima tingkat kematangan buah sawit	17
8	Karakteristik kapasitansi listrik berbagai tingkat kematangan	19
9	Hubungan antara nilai aktual dan nilai prediksi untuk model terbaik kadar air	23
10	Hubungan antara nilai aktual dan nilai prediksi untuk model terbaik kadar minyak	25
11	Hubungan antara nilai aktual dan nilai prediksi untuk model terbaik ALB	27

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian	33
2	Lampiran 2. Analisis Ragam (Anova) Mutu Internal TBS	35
3	Lampiran 3. Hasil korelasi	39
4	Lampiran 4. Hasil Pemodelan PLSR Mutu Internal TBS	40

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.