

- 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.

ESTIMASI STATUS HARA BESI (Fe) PADA TANAMAN KELAPA SAWIT BERBASIS CITRA SENTINEL-2A

FADILLAH FAJRISANI



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Estimasi Status Hara Besi (Fe) pada Tanaman Kelapa Sawit Berbasis Citra Sentinel-2A” 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juli 2025

Fadillah Fajrisani
F1401211014

- 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.



ABSTRAK

FADILLAH FAJRISANI. Estimasi Status Hara Besi (Fe) pada Tanaman Kelapa Sawit Berbasis Citra Sentinel-2A. Dibimbing oleh KUDANG BORO SEMINAR dan SUDRADJAT.

Besi (Fe) merupakan unsur hara mikro esensial yang berperan penting dalam menunjang fungsi fisiologis dan produktivitas kelapa sawit. Penentuan status hara Fe secara konvensional memiliki sejumlah keterbatasan, seperti bersifat destruktif, membutuhkan waktu dan biaya tinggi, serta kurang mampu merepresentasikan variasi spasial dalam skala luas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi Fe berbasis citra Sentinel-2A menggunakan algoritma *Support Vector Regression* untuk estimasi status Fe pada kelapa sawit di lahan gambut, mineral, serta gabungan keduanya. Data yang digunakan mencakup hasil analisis laboratorium kadar Fe pada daun sebagai variabel target, serta citra Sentinel-2A dan indeks vegetasi sebagai variabel *input*. Pengolahan citra meliputi *resampling* ke resolusi 10×10 meter, penghapusan awan, dan ekstraksi nilai piksel. *Dataset* dibagi menjadi 80% data latih dan 20% data uji. Hasil menunjukkan bahwa model spesifik lahan memberikan prediksi kandungan Fe yang lebih presisi dibandingkan model gabungan, dengan selisih absolut yang lebih rendah sebesar 8,39 ppm (gambut) dan 22,50 ppm (mineral), dibandingkan dengan model gabungan sebesar 10,64 ppm (gambut) dan 25,75 ppm (mineral). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan spesifik lebih unggul untuk estimasi Fe dan mendukung rekomendasi pemupukan yang presisi. Secara umum, model mampu memetakan variabilitas spasial Fe dengan baik serta merepresentasikan perbedaan karakteristik antara lahan gambut dan mineral.

Kata Kunci: besi, indeks vegetasi, kelapa sawit, sentinel-2A, *support vector regression*

ABSTRACT

FADILLAH FAJRISANI. Estimation of Iron (Fe) Nutrient Status in Oil Palm Plants Based on Sentinel-2A Imagery. Supervised by KUDANG BORO SEMINAR and SUDRADJAT.

Iron (Fe) is an essential micronutrient that plays an important role in supporting the physiological functions and productivity of oil palms. Conventional methods for determining Fe nutrient status have a number of limitations, such as being destructive, time-consuming, costly, and unable to represent spatial variations on a large scale. This study aims to develop an iron prediction model based on Sentinel-2A imagery using the Support Vector Regression algorithm to estimate iron status in oil palms on peatland, mineral soil, and a combination of both. The data used includes laboratory analysis results of iron content in leaves as the target variable, as well as Sentinel-2A imagery and vegetation indices as input variables. Image processing includes resampling to a resolution of 10×10 meters, cloud removal, and pixel value extraction. The dataset is divided into 80% training data and 20% test data. The results show that the land-specific model provides more precise Fe content predictions than the combined model, with lower absolute differences of 8,39 ppm (peat) and 22,5 ppm (mineral), compared to the combined model of 10,64 ppm (peat) and 25,75 ppm (mineral). This indicates that the specific approach is superior for Fe estimation and supports precise fertilization recommendations. Overall, the model effectively maps the spatial variability of Fe and represents the differences in characteristics between peat and mineral soils.

Keywords: iron, oil palm, sentinel-2A, support vector regression, vegetation index

- 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 2025
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 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.

ESTIMASI STATUS HARA BESI (Fe) PADA TANAMAN KELAPA SAWIT BERBASIS CITRA SENTINEL-2A

FADILLAH FAJRISANI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S.
2. Prof. Dr. Ir. Setyo Pertiwi, M.Agr.

Judul Skripsi : Estimasi Status Hara Besi (Fe) pada Tanaman Kelapa Sawit
Berbasis Citra Sentinel-2A

Nama : Fadillah Fajrisani

NIM : F1401211014

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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



Digitally signed by:
Kudang Boro Seminar

Date: 7 Agu 2025 15:19:10 WIB
Verify at design.ipb.ac.id

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S.



Diketahui oleh

Ketua Departemen

Teknik Mesin dan Biosistem:

Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc., Agr

NIP. 196304251989031001



Digitally signed

design.ipb.ac.id



Tanggal Ujian:
28 Juli 2025

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2025 sampai bulan Juni 2025 ini ialah sistem cerdas, dengan judul “Estimasi Status Hara Besi (Fe) pada Tanaman Kelapa Sawit Berbasis Citra Sentinel-2A”.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya bimbingan, dukungan, serta saran dari berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Abdurrohman dan Ibu Ina Tarini yang telah menjadi orang tua terbaik, yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan kasih sayangnya kepada penulis, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian karya ilmiah ini.
2. Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan, arahan, motivasi, dan ilmu yang diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan karya ilmiah ini.
3. Dr. Harry Imantho, S.Si., M.Sc yang telah memberikan arahan dan bantuan teknis dalam mendukung kelancaran dalam penyusunan karya ilmiah ini.
4. Prof. Dr. Ir. Setyo Pertiwi, M.Agr selaku dosen penguji dan Kania Amelia Safitri, S.T., M.T. selaku dosen moderator ujian yang telah memberikan saran, arahan serta masukan kepada penulis dalam penyelesaian penulisan karya ilmiah ini.
5. Tim PreciPalm yang telah memberikan dukungan, kesempatan, serta menyediakan sarana riset dan data lapangan, yang berperan penting dalam menunjang kelancaran dan penyelesaian penelitian ini.
6. *European Space Agency* (ESA) yang telah menyediakan akses bebas terhadap data Sentinel, sehingga mendukung kelancaran proses penelitian.
7. Yusrizal Hamzah Fansuri yang telah membersamai penulis di hari-hari yang penuh tantangan selama proses penyusunan karya ilmiah ini. Terima kasih atas segala dukungan, pengertian, dan menjadi tempat berbagi keluh kesah.
8. Bagir dan bang Prayogo, yang telah berkenan membantu penulis dalam memberikan arahan dan saran dalam penyusunan karya ilmiah ini.
9. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa divisi Teknik Bioinformatika, yang telah menemani dan memberikan dukungan selama proses penyusunan karya ilmiah ini.
10. Terima kasih kepada teman-teman TMB 58 “Resonance” atas kebersamaan dan pengalaman berharga yang telah diberikan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan karya ilmiah ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan untuk penyempurnaannya. Semoga karya ilmiah ini memberikan manfaat bagi pihak yang membutuhkan dan turut berkontribusi pada kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Fadillah Fajrisani

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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SINGKATAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Lahan Gambut dan Lahan Mineral	3
2.2 Unsur Hara Esensial Kelapa Sawit	3
2.3 Fe pada Kelapa Sawit	5
2.4 Satelit Sentinel-2	6
2.5 <i>Support Vector Regression</i> (SVR)	7
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Prosedur Kerja	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Akuisisi Data	16
4.2 Hasil Ekstraksi data	17
4.3 Pra-Pemrosesan Data	18
4.4 Pembagian Data dan Seleksi Fitur	23
4.5 Pemodelan Data Lahan Gambut dan Mineral	25
4.6 Pemodelan Gabungan (Data Lahan Gambut dan Mineral)	29
4.7 Perbandingan Model Data Gambut, Mineral, dan Gabungan	35
4.8 Interpretasi Sebaran Status Hara Fe	36
V SIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Simpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	47
RIWAYAT HIDUP	57



DAFTAR TABEL

1	Rentang kecukupan hara Fe (ppm) pada daun kelapa sawit	6
2	Spesifikasi satelit Sentinel-2A	6
3	Parameter penting dalam pemodelan SVR	7
4	Alat dan perangkat lunak pada penelitian	8
5	Bahan yang digunakan dalam penelitian	8
6	LSU pada lahan gambut	10
7	LSU pada lahan mineral	10
8	Data pengambilan file citra Sentinel-2A	11
9	Metrik evaluasi model	14
10	Interpretasi nilai MAPE	14
11	Tabel contoh <i>dataset</i> uji laboratorium LSU pada lahan gambut	16
12	Tabel contoh <i>dataset</i> uji laboratorium LSU pada lahan mineral	16
13	Hasil integrasi data lahan gambut	18
14	Hasil integrasi data lahan mineral	18
15	Integrasi data setelah ditambah indeks vegetasi pada lahan gambut	19
16	Integrasi data setelah ditambah indeks vegetasi pada lahan mineral	19
17	Hasil ringkasan fitur-fitur terbaik	25
18	Evaluasi model menggunakan parameter <i>default</i>	25
19	Parameter pilihan pada proses <i>tuning</i>	26
20	Performa model SVR berdasarkan metode <i>tuning</i>	26
21	Ringkasan parameter terbaik hasil <i>tuning</i>	27
22	Hasil <i>cross validation</i> model SVR pada lahan gambut dan mineral	27
23	Evaluasi model setelah <i>tuning</i> pada data lahan gambut dan mineral	28
24	Evaluasi model gabungan menggunakan parameter <i>default</i>	31
25	Performa model SVR berdasarkan metode <i>tuning</i>	32
26	Ringkasan parameter terbaik hasil <i>tuning</i>	32
27	Hasil <i>cross validation</i> pada model gabungan	33
28	Evaluasi model SVR setelah <i>tuning</i> pada data gabungan	33
29	Perbandingan performa model dalam prediksi hara Fe	35

DAFTAR GAMBAR

1	Pelepah sawit daun ke-17 (Susanto <i>et al.</i> 2020)	4
2	Unsur hara Fe pada tanaman (Harish <i>et al.</i> 2023)	5
3	Defisiensi unsur hara Fe (Putra dan Firmansyah 2019)	6
4	Ilustrasi model SVR (Lahiri dan Ghanta 2008)	7
5	Alur pelaksanaan penelitian	9
6	Peta sebaran sampel penelitian	10
7	Proses deteksi awan menggunakan <i>s2cloudless</i> pada citra satelit Sentinel-2; (a) citra warna asli, (b) peta probabilitas awan, (c) citra warna asli dengan lapisan hasil deteksi awan	17
8	Ekstraksi fitur dengan <i>point sampling tools</i> pada Sentinel-2A	17

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.

9	Sebaran hara sebelum penghapusan <i>outlier</i> pada lahan gambut; (a) visualisasi scatter plot, (b) visualisasi boxplot	19
10	Sebaran hara setelah penghapusan <i>outlier</i> pada lahan gambut; (a) visualisasi scatter plot, (b) visualisasi boxplot	20
11	Sebaran hara sebelum penghapusan <i>outlier</i> pada lahan mineral; (a) visualisasi scatter plot, (b) visualisasi boxplot	20
12	Sebaran hara setelah penghapusan <i>outlier</i> pada lahan mineral; (a) visualisasi scatter plot, (b) visualisasi boxplot	21
13	Distribusi kadar Fe pada lahan gambut; (a) sebelum transformasi, (b) setelah transformasi	22
14	Distribusi kadar Fe pada lahan mineral; (a) sebelum transformasi, (b) setelah transformasi	23
15	Seleksi fitur pada lahan gambut	24
16	Seleksi fitur pada lahan mineral	24
17	Perbandingan nilai prediksi terhadap nilai aktual pada lahan gambut	28
18	Perbandingan nilai prediksi terhadap nilai aktual pada lahan mineral	29
19	Sebaran hara Fe pada data gabungan	30
20	Distribusi kadar Fe pada data gabungan; (a) sebelum transformasi, (b) setelah transformasi	30
21	Seleksi fitur pada data gabungan	31
22	Perbandingan nilai prediksi terhadap nilai aktual data gabungan	33
23	Perbandingan nilai prediksi dan nilai aktual spesifik data gambut pada model gabungan	34
24	Perbandingan nilai prediksi dan nilai aktual spesifik data gambut pada model gabungan	34
25	Proses interpolasi spasial area yang tertutup awan pada citra Sentinel-2; (a) sebelum interpolasi, (b) setelah interpolasi	36
26	Peta spasial sebaran status hara Fe pada lahan gambut PT Arjuna, Kalimantan Tengah	37
27	Peta spasial sebaran status hara Fe pada lahan mineral PT Kalianusa, Kalimantan Timur	38

DAFTAR LAMPIRAN

1	Formulasi indeks vegetasi dari citra Sentinel-2A sebagai <i>input</i> model	48
2	Peta sebaran status hara Fe di lokasi studi	50
3	Proses pengolahan citra Sentinel-2A pada aplikasi SNAP	55
4	Citra Sentinel-2A dan titik koordinat pengambilan sampel sebelum dan setelah penghapusan awan pada kebun PT Arjuna	56

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.

DAFTAR SINGKATAN

BoA	: <i>Bottom of Atmosphere</i>
CCCI	: <i>Canopy Chlorophyll Content Index</i>
CIG	: <i>Chlorophyll Index Green</i>
CIRE	: <i>Chlorophyll Index Red Edge</i>
CPO	: <i>Crude Palm Oil</i>
CVI	: <i>Chlorophyll Vegetation Index</i>
ESA	: <i>European Space Agency</i>
GNDVI	: <i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>
GSAVI	: <i>Generalized Soil Adjusted Vegetation Index</i>
IO	: <i>Index of Oscillation</i>
IQR	: <i>Interquartile Range</i>
KTK	: <i>Kapasitas Tukar Kation</i>
LSU	: <i>Leaf Sampling Unit</i>
MAE	: <i>Mean Absolute Error</i>
MAPE	: <i>Mean Absolute Percentage Error</i>
MCARI	: <i>Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index</i>
NDRE	: <i>Normalized Difference Red Edge</i>
NDVI	: <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	: <i>Near-Infrared</i>
PBI	: <i>Plant Biophysical Index</i>
PPM	: <i>Parts Per Million</i>
PSSRc	: <i>Pigment Specific Simple Ratio carotenoids</i>
RDI	: <i>Red-edge Difference Index</i>
RGR	: <i>Red-Green Ratio</i>
RMSE	: <i>Root Mean Square Error</i>
ROS	: <i>Reaktif Oxygen Species</i>
SNAP	: <i>Sentinel Application Platform</i>
SRNIR	: <i>Simple Ratio Near-Infrared</i>
SVM	: <i>Support Vector Machine</i>
SVR	: <i>Support Vector Regression</i>
SWIR	: <i>Short-Wave Infrared</i>
TVI	: <i>Transformed Vegetation Index</i>
WNDREVI	: <i>Weighted Normalized Difference Red Edge Vegetation Index</i>

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.