



SINERGIS SENTINEL-1A DAN SENTINEL-2A UNTUK PENENTUAN STATUS HARA SENGG (Zn) DAUN KELAPA SAWIT DENGAN ALGORITMA SISTEM CERDAS

MUHAMMAD WILDAN BAGIR HAKIM



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



IPB University

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 “Sinergis Sentinel-1A dan Sentinel-2A untuk Penentuan Status Hara Seng (Zn) Daun Kelapa Sawit dengan Algoritma Sistem Cerdas” 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, Juni 2025

Muhammad Wildan Bagir Hakim
F1401211044

- 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.



ABSTRAK

MUHAMMAD WILDAN BAGIR HAKIM. Sinergis Sentinel-1A dan Sentinel-2A untuk Penentuan Status Hara Seng (Zn) Daun Kelapa Sawit dengan Algoritma Sistem Cerdas. Dibimbing oleh KUDANG BORO SEMINAR dan UUDRADJAT.

Pemantauan status hara seng (Zn) pada tanaman kelapa sawit merupakan aspek krusial dalam menunjang produktivitas dan efisiensi pemupukan. Namun, metode konvensional saat ini bersifat destruktif sehingga tidak efisien untuk diterapkan dalam skala luas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi Zn berbasis algoritma cerdas *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) dan *Deep Neural Network* (DNN) guna menentukan status Zn pada kelapa sawit di lahan mineral, gambut, serta kombinasi keduanya. Data yang digunakan mencakup citra Sentinel-1A (radar), Sentinel-2A (optik), serta indeks vegetasi sebagai variabel bebas, dan kandungan Zn pada daun hasil analisis laboratorium sebagai variabel terikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model XGBoost secara konsisten memberikan performa yang lebih unggul dibandingkan DNN. Pada lahan mineral, XGBoost mencapai akurasi (*correctness*) sebesar 91,35%, sedangkan DNN hanya 88,23%. Pada lahan gambut, XGBoost mencatatkan akurasi 87,95%, lebih tinggi dibandingkan DNN sebesar 83,46%. Sementara itu, pada model gabungan, XGBoost tetap unggul dengan akurasi 87,21% dibandingkan DNN yang memperoleh 85,97%. Pengujian model gabungan terhadap data spesifik lahan menunjukkan bahwa XGBoost mampu mempertahankan akurasi tinggi, yaitu 90,09% untuk lahan mineral dan 86,36% untuk lahan gambut, dengan selisih performa yang kecil dibandingkan DNN. Model gabungan dapat menjadi alternatif prediksi praktis yang layak meski dengan penurunan *correctness* sebesar 1,2-1,5%. Secara keseluruhan, model yang dikembangkan mampu memetakan variasi spasial kandungan Zn dan merepresentasikan perbedaan karakteristik antara lahan mineral dan gambut. Hasil ini dapat memberikan gambaran dan menjadi acuan dalam manajemen pemupukan di perkebunan kelapa sawit yang lebih presisi.

Kata kunci: *deep neural network*, *extreme gradient boosting*, kelapa sawit, seng, sentinel



ABSTRACT

MUHAMMAD WILDAN BAGIR HAKIM. Synergise of Sentinel-1A and Sentinel-2A for Determine Zinc (Zn) Nutrient Status in Oil Palm Leaf Using Smart System Algorithm. Supervised by KUDANG BORO SEMINAR and SUDRAJAT.

Monitoring the zinc (Zn) nutrient status in oil palm is a crucial aspect of supporting productivity and fertilization efficiency. However, conventional monitoring methods are currently destructive and therefore inefficient for large scale application. This study aims to develop Zn prediction models based on smart algorithms, namely Extreme Gradient Boosting (XGBoost) and Deep Neural Network (DNN), to determine Zn status in oil palm cultivated on mineral soil, peatland, and a combination of both. The input data include Sentinel-1A (radar), Sentinel-2A (optical), and vegetation indices as independent variables, while Zn concentrations in palm leaves obtained through laboratory analysis serve as the dependent variable. The results show that the XGBoost model consistently outperforms the DNN model. On mineral soil, XGBoost achieved an accuracy (correctness) of 91,35%, whereas DNN reached only 88,23%. On peatland, XGBoost recorded an accuracy of 87,95%, surpassing DNN at 83,46%. In the combined model, XGBoost remained superior with an accuracy of 87,21%, compared to DNN's 85,97%. Further testing of the combined model using specific land data showed that XGBoost maintained high accuracy of 90,09% for mineral soil and 86,36% for peatland with only slight performance differences compared to DNN. Despite a 1,2–1,5% decrease in accuracy, the combined model remains a viable and practical alternative for Zn prediction across diverse land types. Overall, the developed model successfully maps the spatial variability of Zn content and reflects the distinct characteristics between mineral and peat soils. These results can provide insights and serve as a reference for more precise fertilization management in oil palm plantations.

Keywords: deep neural network, extreme gradient boosting, oil palm, sentinel, zinc



- 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.



SINERGIS SENTINEL-1A DAN SENTINEL-2A UNTUK PENENTUAN STATUS HARA SENG (Zn) DAUN KELAPA SAWIT DENGAN ALGORITMA SISTEM CERDAS

MUHAMMAD WILDAN BAGIR HAKIM

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

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S
- 2 Dr. Liyantono, S.T.P., M.Agr.

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.



Judul Skripsi : Sinergis Sentinel-1A dan Sentinel-2A untuk Penentuan Status Hara
Seng (Zn) Daun Kelapa Sawit dengan Algoritma Sistem Cerdas

Nama : Muhammad Wildan Bagir Hakim

NIM : F1401211044

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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

NIP. 195911181985031004

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S

NIP. 195411201980031003



Digitally signed by:
Kudang Boro Seminar

Date: 26 Jun 2025 10:31:24 WIB
Verify at design.ipb.ac.id



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:
16 Juni 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. Penelitian ini berjudul “Sinergis Sentinel-1A dan Sentinel-2A untuk Penentuan Status Hara Seng (Zn) Daun Kelapa Sawit dengan Algoritma Sistem Cerdas” telah dilaksanakan sejak bulan Januari 2025 sampai bulan Mei 2025.

Penulis menyadari semua proses penelitian dan penyusunan karya ilmiah ini hanya dapat selesai dengan bimbingan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memotivasi moral, serta memberikan pengarahan kepada penulis sehingga penelitian dan penyusunan karya ilmiah ini dapat berjalan dengan lancar.
2. Dr. Harry Imantho, S.Si., M.Sc yang secara pribadi telah memberikan arahan dan bantuan teknis dalam mendukung kelancaran penelitian ini.
3. Dr. Liyantono, S.T.P., M.Agr selaku dosen penguji Dr. Ir. Dyah Wulandari, M.Si selaku dosen moderator ujian yang telah memberikan saran, arahan serta masukan kepada penulis dalam penyelesaian penulisan karya ilmiah ini.
4. Tim riset PreciPalm yang telah memberi dukungan dan kesempatan mendapatkan sarana riset serta data lapangan sehingga dapat membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. European Space Agency (ESA) yang telah menyediakan akses data Sentinel secara bebas.
6. Ayahanda tercinta yang telah berpulang, Tismat dan Ibunda tersayang, Nurina Sari yang telah menjadi orang tua terbaik, yang telah memberikan cinta, doa, dan segala dukungan, serta menjadi sumber inspirasi dalam setiap langkah penulis. Juga untuk adik-adikku tercinta. Semoga segala kebaikan yang diusahakan menjadi amal jariyah yang tidak akan pernah terputus.
7. Indira Dewi Sawitri yang selalu hadir mendukung dan menjadi penyemangat penulis baik suka maupun duka.
8. Bang Prayogo, Daffa Faiz, Alfon Jones, Andi Dioka, Miftahul Nur, Altaf Husain, Nibroos Abrar yang telah berkenan membantu penulis dalam segala urusan penulis.
9. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa divisi Teknik Bioinformatika dan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Angkatan 58 ‘Resonance’ yang tidak semua dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga segala bantuan dan dukungan dari rekan-rekan sekalian diberi balasan yang lebih baik oleh Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penulisan karya ilmiah ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dibutuhkan oleh penulis untuk menyempurnakan penelitian ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2025

Muhammad Wildan Bagir Hakim



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	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
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 Analisa Hara Tanaman Kelapa Sawit	3
2.3 Seng (Zn) pada Kelapa Sawit	4
2.4 Satelit <i>C-Synthetic Aperture Radar</i> (C-SAR) Sentinel-1A	4
2.5 Satelit <i>Multi Spectral Instrument</i> (MSI) Sentinel-2	5
2.6 <i>Extreme Gradient Boosting</i> (XGBoost)	6
2.7 <i>Deep Neural Network</i> (DNN)	7
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Prosedur Kerja	8
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Hasil Akuisisi Data	15
4.2 Hasil Ekstraksi Data	16
4.3 Parameter Indeks Vegetasi	17
4.4 Pra-Proses Data	17
4.5 Pemodelan Data Lahan Mineral dan Gambut	21
4.6 Pemodelan Data Lahan Gabungan (Mineral dan Gambut)	32
4.7 Perbandingan Hasil Model Data Lahan Mineral, Gambut, dan Gabungan	42
4.8 Interpretasi Sebaran Status Hara Seng (Zn) di Lokasi Studi	44
4.9 Implikasi Terhadap Acuan Manajemen Pemupukan Seng (Zn)	47
V SIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Simpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	55
RIWAYAT HIDUP	70



DAFTAR TABEL

1	Rentang kecukupan hara daun Zn kelapa sawit dalam satuan <i>parts per million</i> (ppm)	4
2	Detail band spektral dan resolusi spasial Sentinel-2A	5
3	Deskripsi <i>class</i> XGBRegressor	6
4	Deskripsi <i>class</i> DNN	7
5	Peralatan dan bahan penelitian	8
6	Jumlah data dan waktu pengambilan sampel hara daun	10
7	Rangkuman waktu pengambilan file citra Sentinel-1A dan Sentinel-2A	11
8	Tahapan dan fungsi praproses citra Sentinel-1A	12
9	Metrik evaluasi model	14
10	Interpretasi kuantitatif nilai MAPE	14
11	Contoh dataset hara seng (Zn) pada sampel daun	15
12	Contoh dataset ekstraksi fitur Sentinel-1A dan Sentinel-2	17
13	Hasil ringkasan fitur-fitur atribut terbaik	24
14	Evaluasi model XGBoost data lahan mineral dan gambut parameter <i>default</i>	25
15	Variasi parameter <i>XGBoost Regressor</i>	25
16	Ringkasan <i>hasil hyperparameter tuning</i> XGBoost	26
17	Hasil <i>k-fold cross validation</i> model estimasi Seng (Zn) XGBoost	26
18	Evaluasi model XGBoost data lahan mineral dan gambut <i>hyperparameter tuning</i>	27
19	Evaluasi model DNN data lahan mineral dan gambut <i>baseline</i>	29
20	Variasi parameter <i>Deep Neural Network</i>	29
21	Ringkasan <i>hasil hyperparameter tuning</i> DNN	30
22	Hasil <i>k-fold cross validation</i> model pendugaan Seng (Zn) DNN	30
23	Evaluasi model DNN data lahan mineral dan gambut <i>hyperparameter tuning</i>	31
24	Evaluasi data <i>training</i> gabungan (XGBoost parameter <i>default</i>)	35
25	Evaluasi data <i>testing</i> pada tiga skenario (XGBoost parameter <i>default</i>)	35
26	Ringkasan <i>hasil hyperparameter tuning</i> XGBoost data lahan gabungan	35
27	Hasil <i>k-fold cross validation</i> model pendugaan Seng (Zn) XGBoost data lahan gabungan	36
28	Evaluasi data <i>training</i> gabungan (<i>tuning</i>)	36
29	Evaluasi data <i>testing</i> pada tiga skenario (<i>tuning</i>)	36
30	Evaluasi data <i>training</i> gabungan (DNN <i>baseline</i>)	38
31	Evaluasi data <i>testing</i> pada tiga skenario (DNN <i>baseline</i>)	38
32	Ringkasan <i>hasil hyperparameter tuning</i> DNN data lahan gabungan	39
33	Hasil <i>k-fold cross validation</i> model pendugaan Seng (Zn) DNN lahan gabungan	39
34	Evaluasi data <i>training</i> gabungan (DNN <i>tuning</i>)	40
35	Evaluasi data <i>testing</i> pada tiga skenario (DNN <i>tuning</i>)	40
36	Perbandingan algoritma dan skenario data pemodelan estimasi Zn	42

DAFTAR GAMBAR

1	Pelepah sawit daun nomor 17 (Susanto <i>et al.</i> 2020)	4
2	Geometri citra <i>synthetic aperture radar</i> (Villano 2016)	5
3	Ilustrasi arsitektur model XGBoost (Fazily <i>et al.</i> 2023)	6
4	Ilustrasi arsitektur model DNN (Loukili <i>et al.</i> 2024)	7
5	Diagram alir rancangan penelitian	9
6	Peta sebaran data penelitian dari perkebunan sawit di Indonesia	10
7	Contoh citra Satelit Sentinel (a) letak geografis area pengambilan citra perkebunan Kalianusa di Kalimantan Timur; (b) citra satelit Sentinel-1A; (c) citra satelit Sentinel-2A	15
8	Ekstraksi fitur dengan <i>point sampling tools</i> ; (a) Sentinel-1A, (b) Sentinel-2A	16
9	Contoh proses deteksi awan pada citra satelit Sentinel-2A dengan <i>S2Cloudless</i> , (a) citra warna asli, (b) probabilitas awan, (c) citra warna asli dengan <i>overlay</i> awan	18
10	Sebaran data hara Zn lahan mineral; (a) sebelum eliminasi <i>outlier</i> , (b) setelah eliminasi <i>outlier</i>	18
11	Sebaran data hara Zn lahan gambut; (a) sebelum eliminasi <i>outlier</i> , (b) setelah eliminasi <i>outlier</i>	19
12	Histogram sebaran Zn data asli, (a) lahan mineral; (b) lahan gambut	20
13	Histogram sebaran Zn Yeo-Johnson, (a) lahan mineral; (b) lahan gambut	20
14	Distribusi <i>Kernel Density Estimation</i> (KDE) data <i>training</i> dan <i>testing</i> pada data lahan mineral	21
15	Distribusi <i>Kernel Density Estimation</i> (KDE) data <i>training</i> dan <i>testing</i> pada data lahan gambut	22
16	Histogram <i>feature of Importance</i> Zn data lahan mineral terhadap fitur	23
17	Histogram <i>feature of Importance</i> Zn data lahan gambut terhadap fitur	23
18	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn lahan mineral dari model XGBoost	27
19	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn lahan gambut dari model XGBoost	28
20	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn lahan mineral dari model DNN	31
21	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn lahan gambut dari model DNN	32
22	Persebaran data lahan gabungan	33
23	Histogram sebaran Zn data lahan gabungan dengan Yeo-Johnson <i>transformation</i> , (a) sebelum transformasi; (b) setelah transformasi	34
24	Histogram <i>feature of Importance</i> Zn data lahan gabungan terhadap fitur	34
25	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn dari model lahan gabungan untuk data <i>testing</i> gabungan pemodelan XGBoost	37
26	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn dari model lahan gabungan untuk data <i>testing</i> mineral pemodelan XGBoost	37
27	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn dari model lahan gabungan untuk data <i>testing</i> gambut pemodelan XGBoost	38



28	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn dari model lahan gabungan untuk data <i>testing</i> gabungan pemodelan DNN	41
29	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn dari model lahan gabungan untuk data <i>testing</i> mineral pemodelan DNN	41
30	Grafik perbandingan nilai aktual dan prediksi Zn dari model lahan gabungan untuk data <i>testing</i> gambut pemodelan DNN	42
31	Contoh visualisasi interpolasi spasial area yang tertutup awan pada citra Sentinel-2A; (a) sebelum interpolasi, (b) setelah interpolasi	45
32	Peta spasial sebaran status hara Zn di Perkebunan Sawit lahan gambut PT Arjuna, Kalimantan Tengah	45
33	Peta spasial sebaran status hara Zn di perkebunan sawit lahan mineral PT Kalianusa, Kalimantan Timur	46

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Formulasi indeks vegetasi berbasis citra Sentinel-1A sebagai input model	56
2	Lampiran 2 Formulasi indeks vegetasi berbasis citra Sentinel-2A sebagai input model	57
3	Lampiran 3 Peta persebaran status hara Seng (Zn) hasil prediksi model	59
4	Lampiran 4 Proses pengolahan citra Sentinel-1A pada aplikasi SNAP	64
5	Lampiran 5 Proses pengolahan citra Sentinel-2A pada aplikasi SNAP	68
6	Lampiran 6 Proses ekstraksi nilai <i>backscatter</i> citra Sentinel-1A dan <i>band</i> Sentinel-2A citra pada QGIS dengan <i>point sampling tool</i>	69