

PENENTUAN STATUS KALSIMUM DAN BORON PADA TANAMAN SAWIT BERBASIS CITRA SENTINEL-2A DAN ALGORITMA SISTEM CERDAS

PRAYOGO MAKARYA ALEXANDRIA



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- 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

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 “Penentuan Status Kalsium dan Boron pada Tanaman Sawit Berbasis Citra Sentinel-2A dan 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 2024

Prayogo Makarya Alexandria
F1401201021

- 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

PRAYOGO MAKARYA ALEXANDRIA. Penentuan Status Kalsium dan Boron pada Tanaman Sawit Berbasis Citra Sentinel-2A dan Algoritma Sistem Cerdas. Dibimbing oleh KUDANG BORO SEMINAR dan SUDRADJAT.

Kalsium (Ca) dan Boron (B) merupakan hara makro dan mikro yang berperan penting dalam mempertahankan produktivitas sawit yang optimum, sedangkan metode untuk menentukan status hara pada tanaman sawit masih menggunakan metode destruktif yang memiliki kelemahan terutama dalam ketepatan waktu, keterwakilan wilayah dan memerlukan biaya yang relatif tinggi untuk pengujian di laboratorium. Oleh karena itu, penggunaan citra satelit Sentinel-2 dan algoritma sistem cerdas merupakan salah satu solusi untuk menentukan status Ca dan B pada tanaman sawit secara cepat, tepat, hemat dan terlihat. Sumber data pada penelitian ini berupa data sampel daun sawit (LSU) dan data citra satelit Sentinel-2A level 2A. Metode pemrosesan citra Sentinel-2 meliputi *resampling* resolusi citra untuk menyamakan resolusi spasial setiap *band* menjadi 10 x 10 meter, *masking area* dengan poligon batas kebun, dan ekstrasi nilai citra dengan *point sampling tools*. Parameter citra satelit yang digunakan adalah *band* multispektral dan indeks vegetasi. Parameter tersebut menjadi variabel bebas dari pemodelan. Hara Kalsium dan Boron dari hasil pengujian laboratorium merupakan variabel terikat dalam pemodelan. Data dibagi menjadi dua kelompok data, yakni data latih dan data tes, masing-masing sebanyak 90% dan 10% dari populasi sampel. Hasil penelitian menunjukkan model cerdas berbasis algoritma SVR menunjukkan kinerja hasil prediksi yang lebih baik dari model berbasis ANN, yang ditunjukkan oleh nilai *correctness* model berbasis SVR terhadap data tes sebesar 84.28% untuk Kalsium dan 86.47% untuk Boron. Nilai *correctness* model berbasis SVR terhadap data latih Kalsium sebesar 84.14% dan terhadap data latih Boron sebesar 85.69%.

Kata kunci: *Artificial Neural Network, Machine learning, Penginderaan jauh, Support Vector Regression, Unsur hara tanaman*

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.



ABSTRACT

PRAYOGO MAKARYA ALEXANDRIA. Determination of Calcium and Boron Status of Palm Plants Based on Sentinel-2A Imagery and Intelligent System Algorithms. Supervised by KUDANG BORO SEMINAR and SUDRADJAT.

Calcium (Ca) and Boron (B) are macro and micro nutrients for sustaining the optimum productivity of oil palm. However, current techniques for assessing the nutritional status of oil palm rely on destructive methods that have weakness, particularly with regard to timeliness, spatial variance representation, and high cost of laboratory testing. Consequently, one solution to swiftly, precisely, and affordably ascertain the Ca and B status in oil palm trees are through the utilization of Sentinel-2 images and intelligent system algorithms. Sentinel-2A level 2 images and palm leaf sample (LSU) are the data sources used in this research. The Sentinel-2A image processing technique consists of resampling the image to bring the resolution of each band to 10 x 10 meters, masking the image with plantation boundaries, and utilizing a point sampling tool to extract the image values. The developed machine learning-based model employs the vegetation index and multispectral bands as independent variables, while Calcium and Boron data from laboratory tests are used as dependent variables. The sample data is divided into two groups, namely training and test data, with a composition of 90% and 10%. The research results demonstrate that the intelligent model based on the SVR algorithm has superior prediction performance than the ANN-based model, as evidenced by the SVR-based model's accuracy value on test data of 84.28% for Calcium and 86.47% for Boron. The SVR-based model's accuracy value for Calcium training data is 84.14%, while for Boron training data it is 85.69%.

Keywords: Artificial Neural Network, Machine learning, Plant nutrients, Remote sensing, Support Vector Regression



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 2024
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.

PENENTUAN STATUS KALSIMUM DAN BORON PADA TANAMAN SAWIT BERBASIS CITRA SENTINEL-2A DAN ALGORITMA SISTEM CERDAS

PRAYOGO MAKARYA ALEXANDRIA

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Dr. Lenny Saulia, S.TP, M.Si



@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.



Judul Skripsi : Penentuan Status Kalsium dan Boron pada Tanaman Sawit
Berbasis Citra Sentinel-2A dan Algoritma Sistem Cerdas

Nama : Prayogo Makarya Alexandria
NIM : F1401201021

@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.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc

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

Tanggal Ujian:
(19 Juni 2024)

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 2024 sampai bulan Mei 2024 ini ialah sistem cerdas, dengan judul “Penentuan Status Kalsium dan Boron pada Tanaman Sawit Berbasis Citra Sentinel-2 dan Algoritma Sistem Cerdas”.

Skripsi ini tersusun atas bimbingan dan kerja sama dari berbagai pihak selama penulisan dan pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Dosen pembimbing yaitu Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penulisan skripsi ini.
2. Dr. Lenny Saulia, S.TP, M.Si selaku dosen penguji dan Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si selaku dosen moderator ujian yang telah memberikan saran, arahan serta masukan kepada penulis dalam penyelesaian penulisan karya ilmiah ini.
3. Dr. Harry Imantho, S.Si., M.Sc yang telah memberikan arahan dan bantuan dalam mendukung kelancaran penelitian ini.
4. Tim PreciPalm yang telah memberikan data sampel nutrisi sehingga dapat membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan karya ilmiah ini.
5. Ayahanda Drs. Mohammad Taufiq Wijaya dan Ibunda Rolina Astagina tercinta yang telah menjadi orang tua yang terbaik, yang selalu memberikan saran, masukan serta dukungan mental dan moral terhadap penulis.
6. Kakakku Wim Adhiatma, S.T, Fitria Apriliani, drg. Ayu Leila Wijaya dan Muhammad Cahyo Utomo yang selalu memberikan kasih sayang, motivasi dan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Maily Putri Joshi yang telah membantu selama penulisan skripsi ini dan yang selalu menjadi penyemangat dan tempat bercerita.
8. M. Rafly Ikhsan, Ramgy Reggy Renata, Ahmad Dani Maulana, Yusril Dwi Rahmadinata S.Farm, Fajar Kurnia M.W, Ilham Ghulam Gibran yang telah memberikan semangat dalam menjalani perkuliahan.
9. Terima kasih kepada teman seperjuangan Divisi Teknik Bioinformatika yang telah memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan ini.
10. Terima kasih kepada teman-teman Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Angkatan 57 yang telah memberikan dukungan selama kuliah.

Penulis juga menyadari bahwa penulisan ini masih ada 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 2024

Prayogo Makarya Alexandria



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
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 Kelapa Sawit	3
2.2 Kalsium pada Kelapa Sawit	3
2.3 Boron pada Kelapa Sawit	4
2.4 Satelit Sentinel-2	4
2.5 Artificial Neural Network (ANN)	5
2.6 Support Vector Regression (SVR)	6
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Prosedur Kerja	7
3.4 Persiapan Data	9
3.5 Praproses Citra Sentinel-2	9
3.6 Pembuatan Model	10
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Hasil Ekstraksi Data	12
4.2 Parameter Indeks Vegetasi	13
4.3 Praproses Data	14
4.4 Pemodelan Menggunakan Support Vector Regression	16
4.5 Pemodelan Menggunakan Artificial Neural Network	18
4.6 Perbandingan Model SVR dan ANN	19
4.7 Pemetaan Status Hara Kalsium Dan Boron di Lokasi Studi	20
V SIMPULAN DAN SARAN	22
5.1 Simpulan	22
5.2 Saran	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	26
RIWAYAT HIDUP	39

DAFTAR TABEL

1	Spesifikasi satelit Sentinel-2	4
2	Formulasi indeks vegetasi berbasis citra Sentinel-2A yang digunakan dalam model	5
3	Alat yang digunakan	7
4	Bahan yang digunakan	7
5	Kriteria nilai MAPE	11
6	Rangkuman parameter untuk prediksi Kalsium dan Boron	17
7	Parameter terpilih untuk proses tuning model prediksi Kalsium	17
8	Hasil <i>Cross-Validation</i> model SVR Kalsium dan Boron	18
9	Parameter terpilih untuk prediksi Kalsium	18
10	Parameter terpilih untuk prediksi Boron	19
11	Perbandingan model untuk prediksi Kalsium dan Boron	19

DAFTAR GAMBAR

1	Model umum arsitektur <i>artificial neural network</i> (Qamar dan Zardari 2023)	6
2	Model umum arsitektur <i>support vector regression</i> (Lopez <i>et al.</i> 2022)	6
3	Diagram alir pelaksanaan penelitian	8
4	Titik koordinat pengambilan sampel pada kebun PT. Arjuna Sawit Utama	12
5	Hasil integrasi data	12
6	Hasil integrasi data setelah ditambah indeks vegetasi	13
7	<i>Feature of Importance</i> Kalsium terhadap variabel bebas	13
8	<i>Feature of Importance</i> Boron terhadap variabel bebas	13
9	Histogram data sebaran Kalsium	15
10	Histogram data sebaran Boron	15
11	Histogram sebaran Kalsium dengan <i>boxcox transformation</i>	15
12	Histogram sebaran Boron dengan <i>boxcox transformation</i>	16
13	Peta status hara Kalsium Perkebunan PT. Arjuna Sawit Utama	20
14	Peta status hara Boron Perkebunan PT. Arjuna Sawit Utama	21

DAFTAR LAMPIRAN

1	Proses pengolahan citra Sentinel-2 pada aplikasi SNAP tahapan <i>subset</i>	27
2	Proses pengolahan citra Sentinel-2 pada aplikasi SNAP tahapan <i>resampling</i> dengan <i>super resolution</i>	27
3	Proses pengolahan citra Sentinel-2 pada aplikasi SNAP tahap <i>masking area</i>	28
4	Proses pengolahan citra Sentinel-2 pada aplikasi SNAP tahap ekspor ke format Geotiff	28
5	Citra Sentinel-2 dan titik koordinat pengambilan sampel pada kebun sawit PT. Arjuna	29

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, 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.



6	Proses ekstraksi nilai band citra pada QGIS dengan <i>point sampling tool</i>	29
7	Kode program data analisis	30
8	Tahap integrasi data menggunakan <i>library pandas</i> pada python	32
9	Tahap integrasi data setelah menambah indeks vegetasi	32
10	Kode program penyusunan model SVR	33
11	Kode penyusunan program ANN	35
12	Kode prediksi model dengan data baru dari citra kebun sawit	37

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- 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.