

PENGEMBANGAN ALGORITMA DETEKSI KESEHATAN MANGROVE BERBASIS PENGINDERAAN JAUH DAN *MACHINE LEARNING* DI KABUPATEN TOLITOLI

FIRMANSYAH YUNianto SULAKSONO



**DEPARTEMEN MANAJEMEN HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
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.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI, SUMBER INFORMASI, PENGGUNAAN AI, DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pengembangan Algoritma Deteksi Kesehatan Mangrove Berbasis Penginderaan Jauh dan *Machine Learning* di Kabupaten Tolitoli” 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.

Dalam penyusunan karya ini, penulis menggunakan bantuan kecerdasan buatan ChatGPT dan Google Gemini AI untuk meningkatkan kejelasan tulisan, memperbaiki gaya bahasa akademik, serta mendukung penyuntingan bahasa selama penyusunan manuskrip. Setelah menggunakan alat tersebut, penulis meninjau dan menyunting kembali seluruh konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi artikel yang dipublikasikan.

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

Bogor, Juli 2026

Firmansyah Yunianto Sulaksono
E1401221127



ABSTRAK

FIRMANSYAH YUNianto SULAKSONO. Pengembangan Algoritma Deteksi Kesehatan Mangrove Berbasis Penginderaan Jauh dan *Machine Learning* di Kabupaten Tolitoli. Dibimbing oleh I NENGah SURATI JAYA dan QORI PEBRIal ILHAM.

Penelitian ini mengkaji integrasi peubah spektral Sentinel-2A dan peubah sosio-geo-biofisik untuk mendeteksi tingkat kesehatan mangrove di Kabupaten Tolitoli, Provinsi Sulawesi Tengah. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Sentinel-2A dan peubah sosio-geo-biofisik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan algoritma *machine learning* berbasis *decision tree* untuk klasifikasi kesehatan mangrove. Model *decision tree* dievaluasi menggunakan beberapa kriteria pemilihan atribut, yaitu *information gain*, *gain ratio*, *gini index*, dan *brute force*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NDVI, MNDWI, substrat, ENDBSI, jarak dari garis pantai, dan jarak dari sungai merupakan peubah yang paling berpengaruh dalam membangun model klasifikasi. Model *decision tree* terbaik diperoleh menggunakan kriteria *information gain* dengan nilai *overall accuracy* sebesar 95,1% dan koefisien kappa sebesar 0,94. Model tersebut juga menghasilkan nilai *precision* berkisar antara 87,88% hingga 100% serta nilai *recall* (*producer's accuracy*) berkisar antara 87,50% hingga 100%.

Kata kunci: *decision tree*, kesehatan mangrove, *machine learning*, penginderaan jauh, Sentinel-2A.

ABSTRACT

FIRMANSYAH YUNianto SULAKSONO. Development of a Remote Sensing and Machine Learning-Based Mangrove Health Detection Algorithm in Tolitoli Regency. Supervised by I NENGah SURATI JAYA and QORI PEBRIal ILHAM.

This research examined the combination of Sentinel satellite base spectral and non-spectral variables to detect the mangrove health index in Tolitoli Regency, Central Sulawesi Province. The data used consisted of Sentinel-2A satellite imagery and socio-geo-biophysical variables. The research aimed to develop a decision tree machine learning algorithm for the mangrove health index. The decision tree algorithm was examined by testing several entropy measure parameters using information gain, gain ratio, gini index, and brute force methods. The study showed that NDVI, MNDWI, substrate, ENDBSI, distance from coastline, and distance from river were the optimal variables for constructing the classification model. The best decision tree model was obtained using the information gain criterion with an overall accuracy of 95.1% and a kappa accuracy of 0.94. The model achieved precision accuracy from 87.88% to 100% and recall (producer accuracy) from 87.50% to 100%.

Keywords: *decision tree*, machine learning, mangrove health, remote sensing, Sentinel-2A



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 ALGORITMA DETEKSI KESEHATAN MANGROVE BERBASIS PENGINDERAAN JAUH DAN *MACHINE LEARNING* DI KABUPATEN TOLITOLI

FIRMANSYAH YUNianto SULAKSONO

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Manajemen Hutan

**DEPARTEMEN MANAJEMEN HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
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 Skripsi:

- 1 Dr. Ir. Omo Rusdiana, M.Sc.F.Trop.
- 2 Dra. Sri Rahaju, M.Si



Judul Skripsi : Pengembangan Algoritma Deteksi Kesehatan Mangrove Berbasis
Penginderaan Jauh dan *Machine Learning* di Kabupaten Tolitoli
Nama : Firmansyah Yunianto Sulaksono
NIM : E1401221127

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. I Nengah Surati Jaya, M.Agr

Pembimbing 2:
Qori Pebrial Ilham, S.Hut., M.Si

Diketahui oleh

Ketua Departemen Manajemen Hutan:
Dr. Soni Trison, S.Hut., M.Si
NIP 197711232007011002



Tanggal Ujian:
23 Juli 2026

Tanggal Lulus:
05 AUG 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt. atas segala rahmat karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini yang berjudul:” Pengembangan Algoritma Deteksi Kesehatan Mangrove Berbasis Penginderaan Jauh dan *Machine Learning* di Kabupaten Tolitoli”. Penelitian dilaksanakan sejak bulan April 2026 sampai bulan Mei 2026. Penelitian ini memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan mengkaji algoritma *decision tree* dalam kesehatan mangrove dengan kombinasi peubah spektral dan sosio-geo-biofisik menggunakan citra Sentinel-2A. Karya ilmiah ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi berbagai pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Firmansyah Yunianto Sulaksono



@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.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. I Nengah Surati Jaya, M.Agr dan Bapak Qori Pebrial Ilham, S.Hut., M.Si selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing penulis dengan penuh kesabaran, memberikan arahan dan masukan, meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga penulis, Bapak Ir. Sulaksono, Ibu Wahyuningsih, Kakak Rezky Hertiani Sulaksono, Abang Binarso Cahyo Laksono, Abang ipar Muhammad Habibie Nasution, serta kedua ponakan penulis Rafaizan Altaf Nasution dan Radeva Alfarisky Nasution yang selalu menjadi alasan penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
3. Kementerian Lingkungan Hidup dan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB yang telah membantu penulis dalam mengumpulkan data-data yang penulis butuhkan.
4. Teman Seperjuangan Syifa Isna Sofian, S.Hut yang selalu mendukung, memberikan semangat, dan membersamai penulis selama perkuliahan hingga tahap penyusunan skripsi agar penulis bisa lulus tepat waktu.
5. Bapak Uus Saepul Mukarom, S.Hut yang telah memberikan bantuan dan arahan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini khususnya di Lab Remote Sensing.
6. Kakak tingkat Donny, Amel, Anggie, Amati, Dandy, Risna, Putu Adi, Alif, Ganta, Alghan, Tomy, Afrizal, Farhan yang bersedia untuk berdiskusi dan memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Sahabat penulis di Jakarta, Andrian Radita Virawan, Daffa Azhafran, Hafizh Naufal, Kiagus Muhammad Fajri Maulana, Muhammad Rifai Arrafi, Noviansyah Ramadhan, dan Gesang Khalis Imanuddin yang selalu memberikan semangat dan meluangkan waktu untuk mendukung penulis selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
8. Sahabat PKU penulis, Pados, Ocan, Akbro, Farly, Ujang, Iqiw, Dane, Cibe, Dafa, dan Adit yang telah menemani dan mendukung penulis selama masa perkuliahan.
9. Teman bimbingan Iqbal, Imam, Rachel, Maya, Marcel, dan Valen yang sudah berbagi suka dan duka dan menjadi rekan diskusi untuk penyusunan skripsi penulis.
10. Keluarga Fahutan 59 dan MNH 59 yang telah menjadi “Rumah” dan “Kamar” bagi penulis selama masa perkuliahan.

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.



@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.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II METODE	3
2.1 Waktu dan Tempat	3
2.2 Perangkat Lunak, Perangkat Keras dan Data Utama	3
2.3 Data	4
2.4 Metode Pengolahan Data	5
2.5 <i>Decision Tree</i>	21
III HASIL DAN PEMBAHASAN	26
3.1 Struktur Komunitas Vegetasi Mangrove di Kabupaten Tolitoli	26
3.2 Karakteristik Vegetasi pada Setiap Kelas <i>Mangrove Health Index</i>	28
3.3 Pemilihan Peubah Terbaik	30
3.4 Optimasi Model Terpilih	32
3.5 Evaluasi Performa Algoritma <i>Decision Tree</i>	37
3.6 Klasifikasi Model	40
IV SIMPULAN DAN SARAN	48
4.1 Simpulan	48
4.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	54
RIWAYAT HIDUP	58

DAFTAR TABEL

1	Data utama dan pendukung penelitian	4
2	Karakteristik <i>band</i> yang digunakan dari citra Sentinel-2A	5
3	Klasifikasi kelas kerapatan dan penutupan tajuk	7
4	Skema klasifikasi kelas	9
5	Persamaan indeks vegetasi	11
6	Zonal statistik peubah spektral	21
7	Zonal statistik peubah sosio-geo-biofisik	21
8	Struktur komunitas vegetasi mangrove berdasarkan tingkat pertumbuhan semai	26
9	Struktur komunitas vegetasi mangrove berdasarkan tingkat pertumbuhan pancang	27
10	Struktur komunitas vegetasi mangrove berdasarkan tingkat pertumbuhan pohon	27
11	Karakteristik vegetasi mangrove berdasarkan kelasnya	28
12	Pemilihan peubah spektral	30
13	Pemilihan peubah sosio-geo-biofisik	31
14	Kombinasi peubah spektral dan sosio-geo-biofisik	31
15	Optimasi model terbaik pada kombinasi variabel spektral dan sosio-geo-biofisik	32
16	<i>Confusion matrix</i> peubah spektral	37
17	<i>Confusion matrix</i> sosio-geo-biofisik	39
18	<i>Confusion matrix</i> kombinasi Indeks spektral dan sosio-geo-biofisik	40

DAFTAR GAMBAR

1	Peta lokasi penelitian	3
2	Diagram Alir Penelitian	5
3	Peubah indeks spektral (a) NIMI, (b) NDMI, (c) NDVI, (d) SAVI, (e) ENDBSI, (f) MNDWI	13
4	Peubah sosio-geo-biofisik (a) <i>Proximity</i> Sungai, (b) Substrat, (c) <i>Slope</i> , (d) Elevasi, (e) <i>Proximity</i> Jalan, (f) <i>Proximity</i> Pantai.	17
5	Aturan algoritma decision tree, (a) Substrat No Data, (b) Substrat Lumpur Berpasir, (c) Substrat Pasir Berlumpur dan Lumpur	33
6	Klasifikasi model menggunakan peubah spektral, (a) Hasil Klasifikasi 1, (b) Citra Sentinel, (c) Hasil Klasifikasi 2, (d) Citra Sentinel	42
7	Klasifikasi model menggunakan peubah sosio-geo-biofisik, (a) Hasil Klasifikasi 1, (b) Citra Sentinel, (c) Hasil Klasifikasi 2, (d) Citra Sentinel	44
8	Sebaran kesehatan mangrove menggunakan kombinasi peubah spektral dengan sosio-geo-biofisik, (a) Hasil Klasifikasi 1, (b) Citra Sentinel, (c) Hasil Klasifikasi 2, (d) Citra Sentinel	46