

PEMODELAN PREDIKSI KERAWANAN KEBAKARAN LAHAN GAMBUT BERDASARKAN TINGGI MUKA AIR DENGAN PENDEKATAN *MACHINE LEARNING*

RATU MUTIARA WULANDARI



**PROGRAM STUDI SILVIKULTUR TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- 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

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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pemodelan Prediksi Kerawanan Kebakaran Lahan Gambut berdasarkan Tinggi Muka Air dengan Pendekatan *Machine Learning*” 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 dari 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, April 2026

Ratu Mutiara Wulandari
E4501231003

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

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

RATU MUTIARA WULANDARI. Pemodelan Prediksi Kerawanan Kebakaran Lahan Gambut berdasarkan Tinggi Muka Air dengan Pendekatan *Machine Learning*. Dibimbing oleh LAILAN SYAUFINA, IMAS SUKAESIH SITANGGANG, dan I NENGAH SURATI JAYA.

Kebakaran lahan gambut di Asia Tenggara merupakan bencana berulang yang semakin parah pada musim kemarau, diperparah oleh fenomena *El Niño* yang meningkatkan kekeringan, terutama di Provinsi Jambi, Indonesia. Dampak kebakaran gambut meliputi degradasi lingkungan, hilangnya habitat, kerusakan ekosistem dan peningkatan emisi akibat kabut asap, sehingga pemantauan kerawanan dan mitigasi menjadi sangat penting. Pemantauan berbasis tinggi muka air, terutama melalui teknologi *Internet of Things* (IoT), telah terbukti efektif untuk menilai kelembapan tanah secara *real-time* dan mendukung peringatan dini risiko kebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model prediksi kerawanan berdasarkan tinggi muka air dan mengategorikan kerawanan kebakaran berbasis data lingkungan dengan pendekatan *machine learning*, mengevaluasi performa model, dan menerapkan model pada wilayah lain. Data dikumpulkan dari stasiun pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang merekam delapan peubah lingkungan setiap 15 menit selama 3 bulan di Desa Pematang Rahim. Peubah prediktor yang diamati yaitu curah hujan, kelembapan udara, suhu, intensitas cahaya, kelembapan tanah, arah angin dan kecepatan angin dengan target peubah tinggi muka air. Secara ringkas, model dinyatakan dalam bentuk aturan *IF-THEN* dominan : (1) IF $SM < 28\%$ THEN $Y \leq -75$ cm; (2) IF $28 \leq SM \leq 62\%$ AND $RF \geq 1,9$ mm THEN $-41 \leq Y \leq -22$ cm; dan (3) IF $SM \geq 62\%$ AND $TEM \leq 23$ THEN $Y \geq -14$ cm. Hasil prediksi menunjukkan nilai performa dengan nilai R^2 0,93, RMSE 10,42, MAE 5,98, dan MAPE 0,76 % yang menunjukkan model yang tidak bias. Selain itu, simulasi jumlah peubah dan waktu data menunjukkan bahwa memungkinkan reduksi peubah prediktor menjadi tiga peubah utama, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan curah hujan dengan waktu terbaik selama 3 bulan. Selanjutnya, klasifikasi kerawanan dibagi berdasarkan ambang batas kritis tinggi muka air < -40 cm untuk menentukan kategori kerawanan "rendah" dan "tinggi". Hasil klasifikasi mencapai akurasi 97%. Model kemudian diterapkan pada data Desa Teluk Dawan. Hasil penerapan model menunjukkan bahwa model belum mampu diterapkan di daerah lain, sehingga perlu dilakukan pelatihan data agar model dapat menyesuaikan peubah lingkungan di wilayah lain. Klasifikasi kerawanan pada data baru dengan target titik panas menunjukkan bahwa hari tanpa hujan, kelembapan tanah, tinggi muka air, dan suhu tanah secara berurutan mempengaruhi kerawanan kebakaran. Hasil penelitian ini juga memberi rekomendasi untuk menyeleksi peubah lingkungan dalam menduga tinggi muka air menjadi tiga, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan curah hujan sebagai strategi *monitoring* pencegahan kebakaran hutan dan lahan gambut yang lebih efektif.

Kata kunci: IoT, Jambi, kelembapan tanah, Random Forest Regressor, titik panas.



SUMMARY

RATU MUTIARA WULANDARI. Modeling Prediction of Peatland Fire Risk based on Groundwater Level using a Machine Learning Approach. Supervised by LAILAN SYAUFINA, IMAS SUKAESIH SITANGGANG, and I NENGAH SURATI JAYA.

Peatland fires in Southeast Asia are recurring disasters that become increasingly severe during the dry season and are exacerbated by El Niño, which intensifies drought and expands affected areas, particularly in Jambi Province, Indonesia. The impacts of peat fires include environmental degradation, habitat loss, ecosystem damage, and increased haze-related emissions, underscoring the need for vulnerability monitoring and mitigation. Groundwater level-based monitoring, particularly through the Internet of Things (IoT), has proven effective for assessing soil moisture in real time and for supporting early warning of fire risk. This study aims to develop a prediction model based on groundwater levels, categorize fire risk using environmental data using a machine learning approach, evaluate model performance, and apply the model to other regions. Data were collected from an Internet of Things (IoT)-based monitoring station that recorded eight environmental variables every 15 minutes for 3 months in Pematang Rahim. The observed predictor variables were rainfall, relative humidity, temperature, light intensity, soil moisture, wind direction, and wind speed, with groundwater level as the target variable. The model is expressed in the form of dominant IF-THEN rules: (1) IF soil moisture $< 28\%$ THEN groundwater level is in a very low condition (≤ -75 cm); (2) IF soil moisture is $28-62\%$ AND rainfall is ≥ 1.9 cm THEN the groundwater level is in a transition state from dry to wet (-41 to -22 cm); and (3) IF soil moisture is $\geq 62\%$ AND soil temperature is low THEN the groundwater level is relatively shallow (≥ -14 cm). The prediction results show an R^2 of 0.93, RMSE of 10.42, MAE of 5.98, and MAPE of 0.76%, indicating an unbiased model. In addition, the simulation of the number of variables and data time shows that it is possible to reduce the predictor variables to three main variables, namely soil moisture, temperature, and rainfall, with the best time being 3 months. Furthermore, vulnerability classification is divided based on a critical threshold of groundwater level < -40 cm to determine the categories of "low" and "high" vulnerability. The classification results achieved 97% accuracy. The model was then applied to data from Teluk Dawan Village. The results of the model application showed that it could not yet be applied to other areas; training data were needed to enable the model to adapt to environmental variables. The classification of vulnerability in the new data with hotspot targets shows that, in sequence, days without rain, soil moisture, water level, and soil temperature affect fire vulnerability. The results of this study also provide recommendations for selecting environmental variables for estimating water levels, namely soil moisture, temperature, and rainfall, as a strategy for more effective monitoring of forest and peatland fire prevention.

Keywords: hotspot, IoT, Jambi, soil moisture, Random Forest Regressor.



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.



@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.

PEMODELAN PREDIKSI KERAWANAN KEBAKARAN LAHAN GAMBUT BERDASARKAN TINGGI MUKA AIR DENGAN PENDEKATAN *MACHINE LEARNING*

RATU MUTIARA WULANDARI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Silvikultur Tropika

**PROGRAM STUDI SILVIKULTUR TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
Dr. Erianto Indra Putra, S.Hut., M.Si.

Judul Tesis : Pemodelan Prediksi Kerawanan Kebakaran Lahan Gambut berdasarkan Tinggi Muka Air dengan Pendekatan *Machine Learning*

Nama : Ratu Mutiara Wulandari
NIM : E4501231003

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Lailan Syaufina, M.Sc
NIP 19640613 198903 2 001



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom
NIP 19750130 199802 2 001



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. I Nengah Surati Jaya, M.Agr.
NIP 19610909 198601 1 001



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Prijanto Pamoengkas, M.Sc.F.Trop
NIP 19631206 198903 1 004



Dekan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop.
NIP 19700329 199608 1 001



Tanggal Ujian: 14 JANUARI 2026

Tanggal Disetujui: 17 APR 2021



@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.

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 Mei 2024 sampai bulan Agustus 2025 ini ialah kebakaran hutan dan lahan gambut, dengan judul “Pemodelan Prediksi Kerawanan Kebakaran Lahan Gambut berdasarkan Tinggi Muka Air dengan Pendekatan *Machine Learning*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Lailan Syaufina, M.Sc. selaku promotor yang sudah memilih saya sebagai mahasiswa PMDSU-nya, kemudian memberi bimbingan dan mengajarkan banyak hal kepada penulis.
2. Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom. dan Prof. Dr. I Nengah Surati Jaya, M.Agr. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberikan banyak arahan selama menjadi dosen sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Syahril, Ibu Nurdiah, Kak Dian Syafitri, S.I.Kom, Muhammad Azwar Saputra, Raja Dwi Anugrah, S, T.Tr, Sultan Rifq Muhammad dan Tia Wulandari, S.Pd, keluarga terkasih yang menguatkan sampai detik ini serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya
4. Keluarga besar PMDSU batch 7 IPB, SVK 2023, Scholarea, BSC, MITI KM, Kuala Inspirasi, BIOMAC serta keluarga besar pasca IPB University.
5. Teman seperjuangan, Pandi Ariansah, S.P., M.Si., drh. Wisnu Rahmadan Almanda, S. Ked., M.Si, dan Zukhruf Khairati B, S.Pt., M.Si., Ali Usman, S.TP., atas cerita dan perjalanan penuh suka duka.
6. Dr Asmadi, Prof Christelle Hely, Sri Hardiyanti, Siti Mustika Ningsih yang telah membersamai dan membantu dalam kegiatan penelitian di Jambi.

Penghargaan penulis sampaikan kepada semua pihak yang terlibat dan membantu selama penyusunan tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Akhirnya, penulis berharap semoga makalah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2026

Ratu Mutiara Wulandari



@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.4 Kerangka Teori	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut	5
2.2 Peubah Lingkungan Kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut	5
2.3 <i>Internet of Things</i> dalam Pemantauan Tinggi Muka Air	9
2.4 <i>Machine Learning</i> Algoritma Random Forest Regressor	11
III METODE PENELITIAN	13
3.1 Desain Penelitian	13
3.2 Cara Pengambilan Data	14
3.3 Alat IoT dan Peubah yang diamati	15
3.4 Rancangan Penelitian	16
3.5 Analisis Data	18
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Model Prediksi Tinggi Muka Air Gambut	28
4.2 Performa Model Prediksi Kerawanan Kebakaran Lahan Gambut	36
4.3 Penerapan Model Prediksi Tinggi Muka Air Data Desa Teluk Dawan	39
V SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	51
RIWAYAT HIDUP	57



DAFTAR TABEL

1	Perkembangan penelitian peubah lingkungan pada kerawanan kebakaran hutan dan lahan	6
2	Penelitian-penelitian prediksi tinggi muka air di Indonesia	10
3	Peubah lingkungan pengukuran pada sensor <i>Internet of Things</i>	14
4	Evaluasi model dengan <i>Confusion Matrix</i>	21
5	Rentang data rekam peubah lingkungan perangkat IoT 3 bulan	24
6	Evaluasi performa model prediksi tinggi muka air dengan <i>machine learning</i> algoritma Random Forest berdasarkan jumlah peubah lingkungan	37
7	Evaluasi performa model prediksi tinggi muka air dengan <i>machine learning</i> algoritma Random Forest berdasarkan jumlah data/ rentang waktu	37
8	Perbandingan rentang nilai peubah lingkungan Desa Teluk Dawan dan Pematang Rahim	39
9	Klasifikasi kategori tingkat kerawanan kebakaran lahan gambut	42

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka teori penelitian pemodelan kebakaran lahan gambut	4
2	Peubah CFFDRS: <i>Canadian Forest Fire Danger Rating System</i>	7
3	Ilustrasi Algoritma Random Forest	12
4	Peta lokasi penelitian (1°14'7.289" LS, 103°35'16.743" BT).	13
5	Arsitektur <i>Internet of Things monitoring</i> kebakaran lahan gambut	15
6	Perbandingan metode pengukuran tinggi muka air	15
7	<i>Flowchart</i> rancangan penelitian pembangunan model prediksi tinggi muka air gambut dan klasifikasi kerawanan kebakaran lahan	16
8	Perangkat IoT di Desa Pematang Rahim dan arsitekturnya yang terdiri dari sensor, jaringan dan aplikasi.	24
9	<i>Boxplot</i> distribusi data peubah lingkungan perangkat IoT	25
10	Korelasi antar peubah lingkungan pada pencatatan data IoT.	27
11	Analisis <i>feature important</i> peubah kerawanan kebakaran lahan gambut	29
12	Model pohon keputusan representatif prediksi tinggi muka air Algoritma Random Forest Regressor.	30
13	Perbandingan nilai prediksi dan aktual pemodelan prediksi tinggi muka air	33
14	Evaluasi <i>Threshold-based Classification</i> dengan <i>confussion matrix</i>	34
15	Hasil implementasi model prediksi tinggi muka air algoritma Random Forest dalam merekonstruksi data yang hilang	35
16	Dinamika tinggi muka air di Desa Teluk Dawan dan kejadian titik panas di Kabupaten Tanjung Jabung Timur	41
17	Prediksi temporal kerawanan kebakaran lahan gambut di Kabupaten Tanjung Jabung Timur dengan <i>machine learning</i>	41