



UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA

**PREDIKSI HUJAN DAN *THUNDERSTORM* DENGAN
ALGORITMA *MACHINE LEARNING RANDOM FOREST*
BERBASIS DATA RADIOSONDE UNTUK PEMBUATAN
AERODROME FORECAST
DI BANDARA SIPIL DAN MILITER**

TESIS



**HERI AZHARI NOOR
NIM : 120220405011**

**Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
dalam Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan**






**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI REKAYASA PERTAHANAN SIBER**

**BOGOR
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

NamaDAF : Heri Azhari Noor NIM : 120220405011 Program Studi : Rekayasa Pertahanan Siber Fakultas : Sains dan Teknologi Pertahanan Judul Tesis : Prediksi Hujan dan <i>Thunderstorm</i> Dengan Algoritma <i>Machine Learning Random Forest</i> Berbasis Data Radiosonde Untuk Pembuatan <i>Aerodrome Forecast</i> di Bandara Sipil dan Militer	
Pembimbing I,  Dr. Aulia Khamas Heikhmakhtiar, S.Kom., M.Eng. Tanggal : 26 Januari 2024	Pembimbing II,  Dr. Tutun Juhana, S.T., M.T. Tanggal : 26 Januari 2024
Mengetahui, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan Prof. Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng Pembina Tk. I / IV-b NIP. 196804061994031014 Tanggal : Januari 2024	

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Nama	: Heri Azhari Noor		
NIM	: 120220405011		
Program Studi	: Rekayasa Pertahanan Siber		
Fakultas	: Sains dan Teknologi Pertahanan		
Judul Proposal Tesis	: Prediksi Hujan dan <i>Thunderstorm</i> Dengan Algoritma <i>Machine Learning Random Forest</i> Berbasis Data Radiosonde Untuk Pembuatan <i>Aerodrome Forecast</i> di Bandara Sipil dan Militer		
No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Pembimbing I: Dr. Aulia Khamas Heikhmakhtiar, S.Kom., M.Eng.		26-01-2024
2.	Pembimbing II: Dr. Tutun Juhana, S.T., M.T.		26-01-2024
3.	Dosen Penguji I: Dr. Yosef Prihanto, S.Si., M.Si.		26-01-2024
4.	Dosen Penguji II: Dr. Hendrana Tjahjadi, ST., M.Si.		26-01-2024
5.	Dosen Penguji III: Dr. H.A. Danang Rimbawa, S.Si., M.T., M.Tr.Opsla., CEH., CSBA., IPM., ASEAN Eng., Kolonel Laut (E)		26-01-2024

PERNYATAAN ORISINILITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tesis ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frase, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan, kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam Tesis ini saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan atau undang-undang yang berlaku.





KEMENTERIAN PERTAHANAN RI
UNIVERSITAS PERTAHANAN RI
Terakreditasi BAN-PT "A"

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Heri Azhari Noor
NIM : 120220405011
Program : Rekayasa Pertahanan Siber / Sains dan
StudiFakultas : Teknologi Pertahanan
HP/E-mail : 081381762220 / gagahan09@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPA Perpustakaan Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Hak Bebas Royalti *Non-Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)* atas karya ilmiah yang berjudul:

“ Prediksi Hujan dan Thunderstorm Dengan Algoritma Machine Learning Random Forest Berbasis Data Radiosonde Untuk Pembuatan Aerodrome Forecast Di Bandara Sipil dan Militer ”

Beserta perangkat yang diperlukan (apabila ada). Dengan Hak Bebas Royalti *Non-Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)* ini UPA Perpustakaan Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencatumkan nama saya sebagai penulis/pencipta.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak UPA Perpustakaan Universitas Pertahanan Republik Indonesia, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 26 Januari 2024

Heri Azhari Noor
120220405011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah Subhanallahu Wataala atas rahmat, karunia, dan pertolongan-Nya, sehingga penyusunan Tesis dengan judul “Prediksi Hujan dan *Thunderstorm* dengan Menggunakan Algoritma *Machine Learning Random Forest* Berbasis Data Radiosonde untuk Pembuatan *Aerodrome Forecast* di Bandara Sipil dan Militer” dapat diselesaikan. Penyusunan Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister pada Program Studi Rekayasa Pertahanan Siber, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan Tesis ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus, kepada :

1. Rektor Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Letnan Jenderal TNI Jonni Mahroza S.IP., M.A., M.Sc., CIQnR., CIQaR., Ph.D.
2. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia Prof. Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng.
3. Kepala Program Studi Rekayasa Pertahanan Siber, Kol Laut (E) Dr. H.A. Danang Rimbawa, S.Si., M.T.,C.E.H., CSBA.
4. Kepala BMKG, Deputi Bidang Meteorologi, Kepala Biro Umum dan SDM, Kepala Pusat Meteorologi Penerbangan BMKG dan jajaran staf atas dukungan dan kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk dapat melanjutkan studi ke jenjang magister.
5. Dr. Aulia Khamas Heikhmakhtiar, S,Kom., M.Eng. dan Dr. Tutun Juhana, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan II atas dukungan, motivasi, dan arahnya selama ini kepada penulis sehingga Tesis ini dapat terselesaikan.
6. Dewan penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan penyusunan Tesis ini.

7. Seluruh dosen, staf dan civitas akademika, khususnya pada Program Studi Rekayasa Pertahanan Siber, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
8. Pimpinan Unit Meteorologi Lanud Halim Perdanakusuma beserta jajaran staff yang telah membantu memberikan kemudahan akses kepada penulis selama melakukan observasi lapangan.
9. Mahasiswa Cohort I pada Program Studi Rekayasa Pertahanan Siber dan mahasiswa Program Magister Cohort XIV Universitas Pertahanan Republik Indonesia yang telah membantu semua aktifitas kelancaran penulis selama perkuliahan berlangsung.
10. Seluruh keluarga tercinta, terutama Istri dan anak-anak yang senantiasa mendoakan kelancaran dan kesuksesan studi penulis di program magister ini.
11. Giarno dan Muhamad Ryan, partner utama penulis dalam menyelesaikan Tesis hingga bisa terselesaikan.
12. Rekan-rekan Tugas Belajar BMKG Cohort XIV Unhan yang selalu saling support dari masa seleksi sampai penyusunan tugas akhir.
13. Pihak – pihak yang telah banyak membantu penulis selama proses pengumpulan data dan penulisan Tesis. Terima kasih atas waktu dan diskusinya serta telah berkenan membagi ilmu sehingga karya ilmiah ini terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi menunjang kesempurnaan penelitian ini.

Akhirnya, penulis berharap semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan ilmu meteorologi serta bermanfaat bagi banyak orang.

Tangerang, Januari 2024

Heri Azhari Noor

ABSTRAK

PREDIKSI HUJAN DAN *THUNDERSTORM* DENGAN ALGORITMA *MACHINE LEARNING RANDOM FOREST* BERBASIS DATA RADIOSONDE UNTUK PEMBUATAN *AERODROME FORECAST* DIBANDARA SIPIL DAN MILITER

HERI AZHARI NOOR

Metode memprediksi cuaca dengan menganalisis data radiosonde masih mengandung unsur subjektivitas dari *forecaster* yang menganalisisnya. Disisi lain, *aerodrome forecast* yang dibuat oleh seorang *forecaster* meteorologi penerbangan disuatu bandara akan berpengaruh terhadap proses bisnis seluruh *stakeholder* dalam operasional penerbangan bandara tersebut, baik di bandara sipil ataupun militer. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kondisi cuaca yang dibatasi pada prediksi potensi terjadinya hujan dan *thunderstorm* dalam format *aerodrome forecast* sehingga dapat mereduksi unsur subjektivitas dalam menginterpretasi data radiosonde. Pemanfaatan *machine learning* dapat dijadikan sebagai suatu metode untuk memprediksi hujan dan *thunderstorm* dengan lebih objektif dan akurat. Pada penelitian kuantitatif eksperimental ini digunakan algoritma *machine learning random forest* berbasis data radiosonde untuk memprediksi potensi terjadinya hujan dan *thunderstorm* di area *aerodrome* yang ada di Jakarta. Sebagai komparasi, digunakan juga algoritma SVM dan *gradient boosting*. Metode prediksi hujan dan *thunderstorm* menggunakan algoritma *machine learning random forest* dengan fokus pada peningkatan akurasi prediksi dalam konteks pembuatan *aerodrome forecast* telah berhasil dibuat dalam bentuk aplikasi *Graphical User Interface*. Tingkat akurasi yang dihasilkan sebesar 93% untuk model prediksi *thunderstorm* dan 94% untuk model prediksi hujan. Model dengan performa terbaik yang *user-friendly* dapat dijalankan pada berbagai *device* sehingga personil meteorologi di bandara sipil dan militer dapat dengan mudah mengakses, memahami, dan memanfaatkan model prediksi hujan dan *thunderstorm* secara efektif. Dalam konteks pertahanan negara, informasi prediksi cuaca dapat mendukung kesuksesan perencanaan operasi militer maupun nirmiliter antara lain : *deployment* pasukan, pengangkutan logistik, dan teknologi modifikasi cuaca pada penanggulangan bencana.

Kata kunci : *aerodrome forecast, machine learning, random forest*

ABSTRACT

THE RAINFALL AND THUNDERSTORM PREDICTION WITH MACHINE LEARNING RANDOM FOREST ALGORITHM BASED ON RADIOSONDE DATA FOR MAKING AERODROME FORECAST AT CIVILIAN AIRPORT AND AIR FORCE BASE

HERI AZHARI NOOR

The method of predicting weather by analyzing radiosonde data still contains an element of subjectivity from the forecaster who analyzes it. On the other hand, aerodrome forecasts made by an aeronautical meteorologist forecaster at an airport will affect the business processes of all stakeholders in airport flight operations, both at civil and military airports. This study aims to predict weather conditions that are limited to predicting the potential for rain and thunderstorms in aerodrome forecast format so as to reduce the element of subjectivity in interpreting radiosonde data. The use of machine learning can be used as a method to predict rain and thunderstorms more objectively and accurately. In this experimental quantitative research, a random forest machine learning algorithm based on radiosonde data was used to predict the potential for rain and thunderstorm in the aerodrome area in Jakarta. For comparison, SVM and gradient boosting algorithms are also used. The resulting accuracy rate is 93% for thunderstorm prediction models and 94% for rain prediction models. Rain and thunderstorm prediction methods using random forest machine learning algorithms with a focus on improving prediction accuracy in the context of making aerodrome forecasts have been successfully created in the form of Graphical User Interface applications. User-friendly top-performing models can be run on any devices so that meteorological personnel at civil and military airports can easily access, understand, and utilize rain and thunderstorms prediction models effectively. In the context of national defense, weather prediction information can support the success of planning military and non-military operations, including: deployment of troops, transportation logistics, and weather modification technology in disaster management.

Keywords: aerodrome forecast, machine learning, random forest

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN ORISINILITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR BAGAN	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	10
1.3 Pembatasan Masalah.....	10
1.4 Tujuan Penelitian.....	11
1.5 Manfaat Penelitian.....	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Landasan Teori	13
2.1.1 Konsep Pertahanan Negara	13
2.1.2 Infrastruktur Informasi Vital dan Meteorologi	14
2.1.2.1 Cuaca	14
2.1.2.2 Pembentukan Awan dan Hujan	15
2.1.2.3 Awan Cumulonimbus	17
2.1.2.4 Hujan	18
2.1.2.5 Thunderstorm	18
2.1.2.6 Aerodrome Forecast.....	19
2.1.2.7 Radiosonde	21

2.1.2.8	Teknik Analisis Data Radiosonde	24
2.1.2.9	CAPE.....	25
2.1.2.10	Cross Total Index	25
2.1.2.11	Vertical Total Index.....	26
2.1.2.12	Showalter Index.....	26
2.1.2.13	Lifted Index.....	26
2.1.2.14	K Index	27
2.1.3	Machine Learning	27
2.1.3.1	Random Forest.....	30
2.1.3.2	Support Vector Machine	31
2.1.3.3	Gradient Boosting.....	32
2.2	Hasil Penelitian Terdahulu.....	32
2.3	Kerangka Pemikiran	35
2.4	Hipotesis.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		38
3.1	Metode dan Desain Penelitian.....	38
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.3	Populasi dan Sampel Penelitian.....	41
3.4	Teknik Pengumpulan Data	41
3.5	Instrumen Penelitian.....	43
3.6	Teknik Pengolahan Data	44
3.7	Teknik Analisa Data	45
3.8	Perancangan GUI.....	48
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		51
4.1	Deskripsi Data.....	51
4.2	Hasil Pengumpulan Data.....	51
4.2.1	Sumber Data	51
4.2.2	Pengunduhan Data	52
4.3	Hasil Pengolahan Data.....	56
4.3.1	Data Cleaning.....	56
4.3.2	Data Extraction.....	57

4.3.3	Data Splitting	61
4.4	Hasil Pengujian Hipotesis.....	62
4.4.1	Pengujian Model.....	62
4.4.2	Evaluasi Model	65
4.4.3	Pemilihan Model.....	66
4.4.4	Implementasi GUI Model.....	67
4.4.5	Simulasi Model	69
4.5	Pembahasan	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		78
5.1	Kesimpulan.....	78
5.2	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....		80
LAMPIRAN.....		85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pembentukan Awan/Hujan Konvektif	16
Gambar 2.2	Proses Pembentukan Awan/Hujan Orografik	16
Gambar 2.3	Proses Pembentukan Awan/Hujan Frontal.....	17
Gambar 2.4	Bentuk Awan Cumulonimbus.....	18
Gambar 2.5	Format Sandi TAFOR (TAF).....	20
Gambar 2.6	Sistem Pengamatan Radiosonde	22
Gambar 2.7	Sensor Transmitter Radiosonde.....	23
Gambar 2.8	Level Ketinggian Radisonde	23
Gambar 2.9	Tampilan Data Pengolahan RAOB	24
Gambar 2.10	Jaringan Pengamatan Radiosonde	24
Gambar 2.11	Proses Belajar Pada Machine Learning	28
Gambar 2.12	Fundamental Types of Machine Learning.....	29
Gambar 2.13	Konsep Random Forest.....	30
Gambar 3.1	Desain Penelitian.....	38
Gambar 3.2	Lokasi Penelitian	40
Gambar 3.3	Tampilan Website dan Row Data Radiosonde	42
Gambar 3.4	Tampilan website dan data METAR.....	43
Gambar 3.5	Rancangan Tampilan GUI	49
Gambar 3.6	Machine Learning Life Cycle	49
Gambar 4.1	Hasil Pengunduhan Data Radisonde.....	54
Gambar 4.2	Hasil Pengunduhan Data METAR	56
Gambar 4.3	Fitur Pada Dataset untuk Model Prediksi Hujan dan Thunderstorm	58
Gambar 4.4	Target/Label Pada Dataset untuk Model Prediksi Hujan	58
Gambar 4.5	Target/Label Pada Dataset untuk Model Prediksi Thunderstorm	58
Gambar 4.6	Tampilan Aplikasi Rainfall and Thunderstorm Prediction.....	68

Gambar 4.7	Penginputan parameter pada GUI dan hasil prediksi ...	70
Gambar 4.8	Data METAR Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta.....	70
Gambar 4.9	Data METAR Stasiun Meteorologi Halim Perdanakusuma	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Nilai CAPE	25
Tabel 2.2	Klasifikasi Nilai SI	26
Tabel 2.3	Klasifikasi Nilai LI.....	27
Tabel 2.4	Klasifikasi Nilai KI	27
Tabel 2.5	Penelitian Terdahulu	34
Tabel 3.1	Waktu Pelaksanaan Penelitian	41
Tabel 3.2	Confusion matrix.....	46
Tabel 4.1	Perhitungan Akurasi, Presisi, Recall, F1 Score, POD, FAR dari <i>Confusion Matrix</i> Model Prediksi Hujan.....	66
Tabel 4.2	Perhitungan Akurasi, Presisi, Recall, F1 Score, POD, FAR dari <i>Confusion Matrix</i> Model Prediksi TS.....	66
Tabel 4.3	Presentase Evaluasi Model Prediksi Hujan	67
Tabel 4.4	Presentase Evaluasi Model Prediksi Thunderstorm	67
Tabel 4.5	Klasifikasi Penentuan Prediksi Hujan/Thunderstorm	69
Tabel 4.6	Verifikasi Hasil Prediksi Model I.....	72
Tabel 4.7	Verifikasi Hasil Prediksi Model II.....	72
Tabel 4.8	Verifikasi Hasil Prediksi Model III.....	73
Tabel 4.9	Verifikasi Hasil Prediksi Model IV	73
Tabel 4.10	Verifikasi Hasil Prediksi Model V	73

DAFTAR BAGAN

Bagan 2.1	Kerangka Pemikiran	36
Bagan 3.1	Flowchart prediksi hujan/thunderstorm dengan ML	50

DAFTAR SINGKATAN

ANN	: <i>Artificial Neural Network</i>
Bandara	: Badar Udara
BMKG	: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
BSSN	: Badan Siber dan Sandi Negara
BRIGIF	: Brigade Infanteri
BNPB	: Badan Nasional Penanggulangan Bencana
BT	: Bujur Timur
CAPE	: <i>Convective Available Potential Energy</i>
GUI	: <i>Graphical User Interface</i>
ICAO	: <i>International Civil Aviation Organization</i>
IIV	: Infrastruktur Informasi Vital
LI	: <i>Lifted Index</i>
LS	: Lintang Selatan
RAOB	: <i>Rawinsonde Observation Programs</i>
TAF	: <i>Terminal Aerodrome Forecast</i>
SI	: <i>Showalter Index</i>
TMC	: Teknologi Modifikasi Cuaca
TNI AD	: Tentara Nasional Indonesia Angkatan Darat
TNI AL	: Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut
TNI AU	: Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara
UTC	: <i>Universal Time Coordinated</i>
VIP	: <i>Very Important Person</i>
VVIP	: <i>Very Very Important Person</i>
WMO	: <i>World Meteorological Organization</i>
WIB	: Waktu Indonesia Barat
WITA	: Waktu Indonesia Tengah
Z	: <i>Zulu</i>

