

MODEL PREDIKSI RADIASI PENYINARAN UNTUK EVALUASI KESESUAIAN LAHAN BAWANG PUTIH (INA Agro-GARLIC)

NOER HANIFAH SUGANDA



PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Model Prediksi Radiasi Penyinaran untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Bawang Putih (INA Agro-GARLIC)” 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, Juli 2026

Noer Hanifah Suganda
G6401221041

ABSTRAK

NOER HANIFAH SUGANDA. Model Prediksi Radiasi Penyinaran untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Bawang Putih (INA Agro-GARLIC). Dibimbing oleh ANNISA dan MEDRIA KUSUMA DEWI HARDHIENATA.

Radiasi penyinaran merupakan variabel faktor dinamis pada INA Agro-GARLIC sebagai sistem rekomendasi kesesuaian lahan bawang putih pada kawasan prioritas pengembangan lahan bawang putih di Indonesia. Namun, saat ini proses *modeling* prediksi untuk radiasi matahari belum dilakukan pada sistem INA Agro-GARLIC sehingga perubahan radiasi matahari dari waktu ke waktu belum sepenuhnya memengaruhi hasil evaluasi lahan bawang putih. Oleh karena itu, diperlukan model prediksi radiasi matahari yang mampu merepresentasikan karakteristik data yang bersifat nonlinear serta memiliki ketergantungan temporal dan spasial. Model *Long Short-Term Memory* (LSTM) telah banyak digunakan untuk memodelkan ketergantungan temporal pada data deret waktu, namun belum mengakomodasi hubungan spasial wilayah pengamatan. Penelitian ini bertujuan membangun serta membandingkan kinerja model Long Short-Term Memory (LSTM) dan *Convolutional Long Short-Term Memory* (ConvLSTM) dalam memprediksi radiasi matahari. Data yang digunakan merupakan data radiasi matahari hasil *statistical downscaling* berbasis *Random Forest* pada domain spasial berukuran 3×3 grid. Model dibangun menggunakan data historis sepanjang 252 langkah waktu untuk memprediksi 12 langkah waktu berikutnya. Optimasi hiperparameter dilakukan menggunakan Optuna, sedangkan evaluasi model dilakukan menggunakan Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), koefisien determinasi (R^2), serta *paired Moving Block Bootstrap* untuk mengevaluasi perbedaan kinerja kedua model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model LSTM memperoleh nilai MAE sebesar 40,0817 W/m², RMSE sebesar 59,1422 W/m², MAPE sebesar 23,12%, dan R^2 sebesar 0,8061. Sementara itu, model ConvLSTM memperoleh nilai MAE sebesar 39,7404 W/m², RMSE sebesar 58,7890 W/m², MAPE sebesar 22,55%, dan R^2 sebesar 0,8084. Hasil *paired Moving Block Bootstrap* menunjukkan bahwa interval kepercayaan 95% untuk selisih MAE, RMSE, dan R^2 masih mencakup nol, sedangkan interval kepercayaan selisih MAPE tidak mencakup nol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemodelan struktur spasio-temporal menggunakan ConvLSTM belum menghasilkan peningkatan kinerja yang signifikan pada seluruh metrik dibandingkan LSTM untuk domain spasial 3×3 yang digunakan.

Kata kunci: Konvolusional LSTM, *Deep Learning*, ERA5, Long Short-Term Memory, Radiasi Matahari

ABSTRACT

NOER HANIFAH SUGANDA. Radiation Prediction Model for Garlic Land Suitability Evaluation (INA Agro-GARLIC). Supervised by ANNISA and MEDRIA KUSUMA DEWI HARDHIENATA.

Solar radiation is a dynamic variable factor in INA Agro-GARLIC as a garlic land suitability recommendation system in priority areas for garlic land development in Indonesia. Currently, however, the predictive modeling process for solar radiation has not yet been implemented in the INA Agro-GARLIC system, meaning temporal changes in solar radiation do not yet fully influence the garlic land suitability evaluation results. Therefore, a solar radiation prediction model is needed that is capable of representing nonlinear data characteristics as well as having temporal and spatial dependencies. The Long Short-Term Memory (LSTM) model has been widely used to model temporal dependencies in time series data, but it has not accommodated the spatial relationships of the observation region. This study aims to build and compare the performance of Long Short-Term Memory (LSTM) and Convolutional Long Short-Term Memory (ConvLSTM) models in predicting solar radiation. The data used are solar radiation data resulting from Random Forest-based statistical downscaling on a 3×3 grid spatial domain. The models are built using historical data over 252 time steps to predict the next 12 time steps. Hyperparameter optimization is performed using Optuna, while model evaluation is conducted using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), coefficient of determination (R^2), and paired Moving Block Bootstrap to evaluate the performance differences between the two models. The results show that the LSTM model achieves an MAE of 40.0817 W/m^2 , an RMSE of 59.1422 W/m^2 , a MAPE of 23.12%, and an R^2 of 0.8061. Meanwhile, the ConvLSTM model achieves an MAE of 39.7404 W/m^2 , an RMSE of 58.7890 W/m^2 , a MAPE of 22.55%, and an R^2 of 0.8084. The paired Moving Block Bootstrap results show that the 95% confidence intervals for the differences in MAE, RMSE, and R^2 still include zero, whereas the confidence interval for the difference in MAPE does not include zero. These results indicate that spatio-temporal structure modeling using ConvLSTM has not yielded a significant performance improvement across all metrics compared to LSTM for the 3×3 spatial domain used.

Keywords: Convolutional LSTM, Deep Learning, ERA5, Long Short-Term Memory, Solar Radiation.



@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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 20XX
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.

MODEL PREDIKSI RADIASI PENYINARAN UNTUK EVALUASI KESESUAIAN LAHAN BAWANG PUTIH (INA Agro-GARLIC)

NOER HANIFAH SUGANDA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Sarjana Ilmu Komputer

**PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
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 Skripsi:
Endang Purnama Giri, S.Kom., M.Kom.



@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 : Model Prediksi Radiasi Penyinaran untuk Evaluasi Kesesuaian
Lahan Bawang Putih (INA Agro-GARLIC)

Nama : Noer Hanifah Suganda

NIM : G6401221041

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Eng. Annisa, S.Kom, M.Kom.

Pembimbing 2:

Medria Kusuma Dewi Hardhienata S.Komp.,
Ph.D.

Diketahui oleh

Ketua Program Sarjana Ilmu Komputer:

Dr. Sony Hartono Wijaya, S.Kom., M.Kom

NIP. 198108092008121002

=====

Tanggal Ujian:
3 Agustus 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Model Prediksi Radiasi Penyinaran untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Bawang Putih (INA Agro-GARLIC)”.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta doa. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ujang Suganda dan Ibu Maryanti, selaku kedua orang tua penulis, atas doa yang tiada henti, kasih sayang, dukungan moral maupun materi, serta kepercayaan dan pengorbanan yang selalu diberikan sehingga penulis dapat menjalani dan menyelesaikan tahap pendidikan ini
2. Dr. Eng. Annisa, S.Kom., M.Kom. dan Medria Kusuma Dewi Hardhienata S.Komp., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, ilmu, kesabaran, serta motivasi kepada penulis selama proses penyusunan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si, M.Kom selaku dosen pembimbing proyek INA-Agro yang telah memberikan arahan kepada penulis selama proses penyusunan penelitian ini.
4. Raihana Luthfia, Nisrina Indra Putri Zain, Nasywa Nozumi, Maysa Fazila Lubis, dan Steven Lie Wibowo, selaku orang-orang terdekat penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, serta menjadi tempat berbagi cerita dan motivasi selama perjalanan akademik ini.
5. Seluruh keluarga, teman-teman, serta pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Bogor, Juli 2026

Noer Hanifah Suganda



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bawang Putih	5
2.2 INA Agro-Garlic	5
2.3 Radiasi Matahari	7
2.4 Evaluasi Kesesuaian lahan	8
2.5 LSTM	9
2.6 ConvLSTM	10
2.7 <i>Statistical Downscaling</i> Data ERA5 Menggunakan Random Forest	12
III METODE	14
3.1 Tahapan Penelitian	14
3.2 Pengumpulan Data	15
3.3 Persiapan Data	17
3.4 Pembagian Data dan Normalisasi Data	19
3.5 Pembuatan Model	19
3.6 <i>Hyperparameter Optimization</i>	21
3.7 Evaluasi Model	21
3.8 Moving Block Bootstrap	22
3.9 Peralatan Penelitian	23
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Persiapan Data	24
4.2 Pemodelan	28
4.3 Analisis Perbandingan Evaluasi Kedua Model	37
4.4. Analisis Kompleksitas Model	39
V SIMPULAN DAN SARAN	42
V.1 Simpulan	42
V.2 Saran	42

DAFTAR PUSTAKA	43
RIWAYAT HIDUP	46



- 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 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 TABEL

1. Faktor dan variabel syarat tumbuh bawang putih INA Agro-GARLIC	6
2. Jenis-jenis ordo menurut FAO (1976)	8
3. Jenis-jenis kelas ordo sesuai (S)	8
4. Variabel ERA5	16
5. Hyperparameter Tuning Model LSTM	20
6. Hyperparameter Tuning Model ConvLSTM	21
7. Performa Model Random Forest Stastistical Downscalling	28
8. Daftar Fitur Model Random Forest Stastistical Downscalling	28
9. Hyperparameter Terbaik Hasil Optimasi Optuna Model LSTM	29
10. Hyperparameter Terbaik Hasil Optimasi Optuna Model ConvLSTM	30
11. Hasil Evaluasi Model LSTM	34
12. Evaluasi Model LSTM pada Setiap Grid Spasial (Test Set)	34
13. Hasil Evaluasi Model ConvLSTM	36
14. Evaluasi Model ConvLSTM pada Setiap Grid Spasial (Test Set)	37
15. Hasil Perbandingan Paired Moving Block Bootstrap	38
16. Hasil Evaluasi Model ConvLSTM	40

DAFTAR GAMBAR

1. Arsitektur LSTM (Mohsen et al. 2021)	10
2. Arsitektur ConvLSTM (Hong et al. 2024)	11
3. Tahapan Penelitian	15
4. Visualisasi spasial radiasi matahari ERA5 a) Data ERA5 ukuran 3x3 b) Data ERA5 ukuran 27x27	25
5. Visualisasi spasial radiasi matahari pada grid ERA5 3x3 hasil IDW untuk beberapa timestamp sampel tahun 2016-2025	26
6. Visualisasi spasial radiasi matahari ERA5 dalam citra satelit a) Data ERA5 ukuran asli dalam citra satelit b) Data ERA5 ukuran 3x3 hasil <i>downscalling</i>	26
7. Distribusi Radiasi Matahari ERA5 ukuran 3x3 setelah Interpolasi IDW	27
8. Visualisasi Radiasi Matahari ERA5 (a) Radiasi Matahari perjam (b) Radiasi Matahari Harian	28
9. Training Loss LSTM	33
10. Prediksi Rata-rata Harian Model LSTM	33
11. Peramalan Radiasi Matahari Tujuh Hari Model LSTM	33
12. Training Loss ConvLSTM	35
13. Prediksi Rata-rata Harian Model ConvLSTM	35
14. Peramalan Radiasi Matahari Tujuh Hari Model ConvLSTM	36