



EVALUASI KINERJA MODEL *DEEP LEARNING* DALAM MEMPREDIKSI DAN MEMPROYEKSIKAN *GLOBAL HORIZONTAL IRRADIANCE* (GHI) DI INDONESIA TIMUR

NALYA MAZAYA PUTRI SUPRIATMAN



**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Evaluasi Kinerja Model *Deep Learning* dalam Memprediksi dan Memproyeksikan *Global Horizontal Irradiance* (GHI) di Indonesia Timur Berbasis Data CMIP6” 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, Agustus 2026

Nalya Mazaya Putri Supriatman
G2401221074



@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.

ABSTRAK

NALYA MAZAYA PUTRI SUPRIATMAN. Evaluasi Kinerja Model *Deep Learning* dalam Memprediksi dan Memproyeksikan *Global Horizontal Irradiance* (GHI) di Indonesia Timur Berbasis Data CMIP6. Dibimbing oleh AKHMAD FAQIH dan FURQON HENSAN MUTTAQIEN.

Penelitian ini mengevaluasi kinerja tiga model *deep learning* yaitu GRU, XGBoost, dan CNN-1D dalam memprediksi dan memproyeksikan *Global Horizontal Irradiance* (GHI) di 15 provinsi Indonesia Timur berbasis data CMIP6. Model dilatih menggunakan data observasi NASA POWER periode 1995-2010 dan diuji pada periode 2011-2014 sebelum diterapkan pada proyeksi CMIP6 skenario SSP2-4.5 dan SSP5-8.5 untuk periode 2015–2055. Tiga model GCM dipilih menggunakan peringkat *z-score* yaitu EC-Earth3 sebagai model referensi, CanESM5 sebagai batas atas, dan IITM-ESM sebagai batas bawah rentang ketidakpastian, dengan koreksi bias *Quantile Mapping* diterapkan pada seluruh keluaran GCM sebelum digunakan sebagai input proyeksi. GRU mencapai kinerja terbaik dengan rata-rata R^2 bulanan sebesar 0,88 pada seluruh 15 provinsi, diikuti XGBoost sebesar 0,87, sementara CNN-1D tidak menunjukkan kinerja memadai dengan rata-rata R^2 bulanan sebesar -14,24 akibat keterbatasan panjang sekuens input. Proyeksi menggunakan model GRU menunjukkan penurunan GHI rata-rata sebesar 1,69% pada skenario SSP2-4.5 dan 1,77% pada skenario SSP5-8.5 dibandingkan baseline historis, dengan penurunan terbesar terjadi di Sulawesi Tengah dan wilayah Papua yang dikaitkan dengan intensifikasi tutupan awan orografis akibat peningkatan uap air atmosfer seiring pemanasan permukaan laut. Kedua skenario menunjukkan level GHI rata-rata yang serupa namun berbeda pada arah tren temporal, di mana sebagian besar provinsi menunjukkan tren meningkat pada SSP2-4.5 sementara seluruh provinsi menunjukkan tren menurun pada SSP5-8.5. Evaluasi generalisasi mengungkapkan bahwa model GRU cenderung mengecilkan nilai GHI pada periode puncak musiman tertentu dan menghasilkan fluktuasi antartahun yang lebih kecil dibandingkan kondisi historis, sehingga hasil proyeksi lebih tepat diinterpretasikan sebagai gambaran kondisi rata-rata jangka panjang daripada rentang penuh variabilitas iklim yang sesungguhnya.

Kata kunci: deep learning, GHI, CMIP6, Indonesia Timur, proyeksi energi surya



@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.



ABSTRACT

NALYA MAZAYA PUTRI SUPRIATMAN. Evaluation of Deep Learning Model Performance in Predicting and Projecting Global Horizontal Irradiance (GHI) in Eastern Indonesia Based on CMIP6 Data. Supervised by AKHMAD FAQIH and FURQON HENSAN MUTTAQIEN.

This study evaluates the performance of three deep learning models, namely GRU, XGBoost, and CNN-1D, in predicting and projecting Global Horizontal Irradiance (GHI) across 15 provinces in Eastern Indonesia based on CMIP6 data. The models were trained using NASA POWER observation data from the 1995-2010 period and tested on the 2011-2014 period before being applied to CMIP6 projections under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios for the 2015-2055 period. Three GCM models were selected using z-score ranking: EC-Earth3 as the reference model, CanESM5 as the upper bound, and IITM-ESM as the lower bound of the uncertainty range. Quantile Mapping bias correction was applied to all GCM outputs prior to their use as projection inputs. GRU achieved the best performance with an average monthly R^2 of 0.88 across all 15 provinces, followed by XGBoost at 0.87. Conversely, CNN-1D did not demonstrate adequate performance, yielding an average monthly R^2 of -14.24 due to input sequence length limitations. Projections using the GRU model indicated an average GHI decrease of 1.69% under the SSP2-4.5 scenario and 1.77% under the SSP5-8.5 scenario compared to the historical baseline. The most substantial decreases occurred in Central Sulawesi and the Papua region, which is attributed to the intensification of orographic cloud cover resulting from increased atmospheric water vapor alongside sea surface warming. Both scenarios exhibited similar average GHI levels but diverged in temporal trend directions; most provinces showed an increasing trend under SSP2-4.5, whereas all provinces demonstrated a decreasing trend under SSP5-8.5. Generalization evaluation revealed that the GRU model tends to underestimate GHI values during specific peak seasonal periods and produces smaller interannual fluctuations compared to historical conditions. Consequently, the projection results are more accurately interpreted as a representation of long-term average conditions rather than the full range of actual climate variability.

Keywords: deep learning, GHI, CMIP6, Eastern Indonesia, solar energy projection



@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.



@Hak cipta milik IPB University

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.

© 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.



EVALUASI KINERJA MODEL *DEEP LEARNING* DALAM MEMPREDIKSI DAN MEMPROYEKSIKAN *GLOBAL HORIZONTAL IRRADIANCE* (GHI) DI INDONESIA TIMUR

NALYA MAZAYA PUTRI SUPRIATMAN

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Meteorologi Terapan

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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:

1 Dr. I Putu Santikayasa, S.Si., M.Sc.

Judul Skripsi : Evaluasi Kinerja Model *Deep Learning* dalam Memprediksi dan
Memproyeksikan *Global Horizontal Irradiance* (GHI) di
Indonesia Timur Berbasis Data CMIP6
: Nalya Mazaya Putri Supriatman
: G2401221074

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Akhmad Faqih, S.Si.



Pembimbing 2:

Furqon Mansan Multaqien, M.Kom.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi:

Dr. Ana Turyanti, S.Si., M.T.

NIP. 19710707 199803 2 002

Tanggal Ujian:
10 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@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 skripsi ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan Januari hingga bulan Juni tahun 2026 dengan judul "Evaluasi Kinerja Model Deep learning dalam Memprediksi dan Memproyeksikan *Global Horizontal Irradiance* (GHI) di Indonesia Timur Berbasis Data CMIP6". Penelitian ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di program studi Meteorologi Terapan, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Dr. Akhmad Faqih, S.Si. dan Bapak Furqon Hensan Muttaqien, S.Kom., M.Kom. yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu, saran, dan arahan selama masa pengerjaan skripsi ini.
2. Ayah dan almh. Bunda tercinta. Kepada Bunda, yang semasa hidupnya tak pernah berhenti memperjuangkan pendidikan anak-anaknya, karena percaya bahwa ilmu adalah satu-satunya warisan yang tak akan pernah habis. Terima kasih atas setiap tetes keringat dan doa yang Bunda titipkan. Semoga karya ini menjadi salah satu buah dari apa yang telah Bunda tanamkan, dan semoga Allah senantiasa merahmati dan memuliakan Bunda di sisi-Nya. Kepada Ayah, terima kasih atas segala kerja keras dan kasih sayang yang tak pernah surut dalam memenuhi kebutuhan penulis selama menempuh studi ini.
3. Adik-adik tersayang, Naura dan Tristan, yang kehadirannya selalu menjadi pengingat bahwa ada alasan untuk terus melangkah.
4. Seseorang yang sejak hari pertama hingga hari ini selalu ada, yang telah menjadi tempat pulang di tengah segala lelah, tempat berbagi di setiap suka dan duka, dan selalu hadir dengan dukungan yang tidak pernah goyah.
5. Teman-teman Met30 yang telah kebersamai penulis dari hari pertama menginjakkan kaki di jurusan hingga akhir masa perkuliahan ini, atas kebersamaan dan kenangan yang tercipta selama ini.
6. Teman-teman seperbimbingan yang telah menjadi teman berjuang dan tempat berbagi selama proses penyelesaian skripsi ini.
7. Keluarga besar GFM 59, yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis selama masa studi ini, atas kebersamaan dan rasa kekeluargaan yang selalu penulis rasakan.
8. *Last but not least*, untuk diri sendiri yang sering meragukan kemampuannya, yang banyak menangis dalam diam, yang berkali-kali merasa tidak cukup. Terima kasih sudah tetap bertahan dan berani membuktikan bahwa kita bisa.

Semoga karya ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Nalya Mazaya Putri Supriatman



@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

I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	3
1.3	Tujuan	3
1.4	Manfaat	3
II	TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1	Karakteristik radiasi matahari	6
2.2	<i>Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)</i>	7
2.3	Gated Recurrent Unit (GRU)	9
2.4	<i>Extreme Gradient Boosting (XGBoost)</i>	10
2.5	<i>Convolutional Neural Network 1D (CNN 1D)</i>	11
2.6	Prediksi Radiasi Matahari dengan <i>Machine Learning</i> : Penelitian- Penelitian Sebelumnya	13
III	METODE	15
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	15
3.2	Wilayah Kajian	15
3.3	Data	16
3.4	Prosedur Penelitian	18
3.4.1	Pra-pemrosesan Data	20
3.4.2	Koreksi Bias	23
3.4.3	Pembagian Data dan Normalisasi	24
3.4.4	Pengembangan Model <i>Machine Learning</i>	25
3.4.5	Evaluasi Model	28
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Evaluasi Model <i>Deep learning</i>	31
4.1.1	Perbandingan Performa Model <i>Deep learning</i>	32
4.1.2	Analisis Performa Model GRU	34
4.2	Proyeksi GHI Indonesia Timur	36
4.2.1	Distribusi Spasial GHI Periode Baseline	36
4.2.2	Proyeksi SSP2-4.5	37
4.2.3	Proyeksi SSP5-8.5	42
4.2.4	Perbandingan Proyeksi SSP2-4.5 dan SSP5-8.5	46
4.3	Analisis Ketidakpastian dan Karakteristik Model	48



4.3.1 Kemampuan Generalisasi Model dalam Mereproduksi Pola Musiman GHI Antar Periode	49
--	----

4.3.2 Keterbatasan Model Mereproduksi Variabilitas <i>Interannual</i>	52
---	----

V SIMPULAN DAN SARAN	55
----------------------	----

5.1 Simpulan	55
--------------	----

5.2 Saran	55
-----------	----

DAFTAR PUSTAKA	57
----------------	----

LAMPIRAN	61
----------	----

RIWAYAT HIDUP	73
---------------	----

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	Penelitian sebelumnya terkait prediksi radiasi matahari dengan deep learning	12
2	Sumber dan spesifikasi data penelitian	16
3	Hasil z-score ranking pemilihan model GCM	16
4	Konversi satuan variabel CMIP6	20
5	Konfigurasi hyperparameter model GRU	26
6	Konfigurasi hyperparameter model XGBoost	27
7	Konfigurasi hyperparameter model CNN-1D	28
8	Hasil perbandingan kinerja model GRU, XGBoost, dan CNN-1D pada 15 provinsi Indonesia Timur	30

DAFTAR GAMBAR

1	Rata-rata Global Horizontal Irradiance (GHI) Tahunan di Indonesia Timur berdasarkan Data NASA POWER (1995-2025)	4
2	Matriks skenario SSP-RCP dalam ScenarioMIP CMIP6	7
3	Arsitektur sel GRU	8
4	Ilustrasi skematik model XGBoost	9
5	Arsitektur CNN-1D	11
6	Peta wilayah kajian dan sebaran 15 provinsi Indonesia Timur	14
7	Diagram alir penelitian	18
8	Hasil analisis korelasi Pearson pada wilayah kajian: (a) peringkat nilai koefisien korelasi (r) setiap variabel prediktor terhadap target GHI dan (b) matriks korelasi komprehensif antar-seluruh variabel penelitian	22
9	Perbandingan R^2 model GRU, XGBoost, dan CNN-1D pada 15 provinsi Indonesia Timur	32
10	Scatter plot evaluasi model GRU pada provinsi dengan R^2 tertinggi (Maluku) dan terendah (Papua Barat Daya): (a) skala harian dan (b) skala bulanan	33
11	Distribusi spasial rata-rata GHI tahunan periode baseline (1995–2014)	35
12	Distribusi spasial rata-rata GHI tahunan proyeksi SSP2-4.5 periode 2015-2055	36
13	Perubahan GHI SSP2-4.5 terhadap baseline historis (%)	36
14	Tren tahunan GHI proyeksi SSP2-4.5 periode 2015–2055	38
15	Distribusi spasial rata-rata GHI tahunan proyeksi SSP5-8.5 periode 2015–2055	39
16	Distribusi spasial rata-rata GHI tahunan proyeksi SSP5-8.5 periode 2015–2055	40

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.

17	Perubahan GHI SSP5-8.5 terhadap baseline historis (%)	41
18	Time series tahunan GHI historis dan proyeksi SSP2-4.5 & SSP5-8.5 untuk 15 provinsi Indonesia Timur	43
19	Selisih perubahan GHI antara SSP5-8.5 dan SSP2-4.5 (%)	44
20	Klimatologi bulanan GHI historis (1995–2014) dan proyeksi (2015–2055) untuk 15 provinsi Indonesia Timur	46
21	Anomali tahunan GHI (residual setelah detrend) periode historis dan proyeksi SSP2-4.5 untuk 15 provinsi Indonesia Timur	48

DAFTAR LAMPIRAN

1	Skrip Pra-pemrosesan Data	56
2	Skrip Arsitektur dan Pelatihan Model GRU	58
3	Skrip Arsitektur dan Pelatihan Model XGBoost	58
4	Skrip Arsitektur dan Pelatihan Model CNN-1D	60
5	Skrip Proyeksi GHI Masa Depan (SSP2-4.5 & SSP5-8.5)	61
6	Skrip Evaluasi Data Testing	62
7	Skrip Pra-pemrosesan CMIP6	64
8	Skrip koreksi bias CMIP6	66