

PROYEKSI PERUBAHAN POTENSI *PHOTOVOLTAIC* DI INDONESIA MENGGUNAKAN *MULTI-MODEL ENSEMBLE* LUARAN CMIP6

MOHAMMAD FAQIH AL AYUBI



**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Proyeksi Perubahan Potensi *Photovoltaic* di Indonesia menggunakan *Multi-Model Ensemble* Luaran 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, Juli 2025

Mohammad Faqih Al Ayubi
G2401211012

- 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

MOHAMMAD FAQIH AL AYUBI. Proyeksi Perubahan Potensi *Photovoltaic* di Indonesia menggunakan *Multi-Model Ensemble* Luaran CMIP6. Dibimbing oleh AKHMAD FAQIH dan ARNIDA LAILATUL LATIFAH.

Potensi energi surya di Indonesia sangat melimpah karena Indonesia merupakan negara tropis dengan intensitas penerimaan radiasi yang tinggi sepanjang tahun. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan potensi energi surya wilayah Indonesia di masa depan, yaitu dengan melihat perubahan potensi *photovoltaic* (PVpot) dalam skenario iklim SSP1-2.6, SSP2-4.5, dan SSP5-8.5, serta menentukan wilayah yang mengalami peningkatan maupun penurunan PVpot di masa depan. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan koreksi bias distribusi data CMIP6 terhadap data ERA5 sebagai referensi. Setelah seluruh data historis maupun proyeksi CMIP6 terkoreksi, kemudian dilakukan perhitungan perubahan potensi *photovoltaic* antara *baseline* (1985-2014) dan proyeksi (2031-2060) dalam bentuk *multi-model ensemble* (MME). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PVpot secara historis dan perubahannya di masa depan pada seluruh wilayah Indonesia bervariasi setiap musim. PVpot tertinggi secara historis terjadi pada musim SON, dan terendah terjadi pada musim JJA. Perubahan PVpot di masa depan juga menunjukkan peningkatan PVpot yang signifikan pada seluruh region di musim SON, dengan peningkatan tertinggi berada pada WP3 (Bali-Nusa Tenggara), yaitu dalam skenario SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5 berturut-turut sebesar +20,50%, +20,44%, dan +20,37%. Sementara pada musim JJA terjadi penurunan PVpot pada sebagian besar region. Secara temporal perubahan PVpot pada seluruh region secara menunjukkan tren jangka panjang (2031-2060) yang cenderung meningkat, dengan rentang *slope* antara -0,01% hingga +0,13%/tahun. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi tambahan untuk melakukan tindakan lebih lanjut dalam menanggapi perubahan potensi energi surya di Indonesia pada masa depan, baik bagi pengguna maupun pemangku kebijakan.

Kata kunci: CMIP6, energi surya, Indonesia, PVpot, skenario iklim

ABSTRACT

MOHAMMAD FAQIH AL AYUBI. Projections of Photovoltaic Potential Changes in Indonesia using Multi-Model Ensemble CMIP6 Data. Supervised by AKHMAD FAQIH and ARNIDA LAILATUL LATIFAH.

The potential of solar energy in Indonesia is very abundant because Indonesia is a tropical country with high intensity of incoming solar radiation throughout the year. This study aims to analyze changes of future solar energy potential in Indonesia, namely by looking at changes in photovoltaic potential (PVpot) in SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 climate scenarios, and identifying areas that will experience an increase or decrease in PVpot. Initially, the CMIP6 data are bias-corrected using ERA5 as the reference dataset. After correcting all CMIP6 historical and projection data, changes in photovoltaic potential between the baseline (1985-2014) and projection (2031-2060) periods are calculated using a multi-model ensemble (MME) approach. The results show that historical and future changes in PVpot across all regions of Indonesia vary seasonally. The highest PVpot historically occurred in the SON season, and the lowest occurred in the JJA season. PVpot increases in all regions during the SON season, with the highest increases occurring in WP3 (Bali-Nusa Tenggara) under the SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios, at +20.50%, +20.44%, and +20.37%, respectively. In contrast, most regions experience a decrease in PVpot during the JJA season. Temporally, PVpot changes in all regions show a long-term trend (2031-2060) that tends to increase, with slopes ranging between -0.01% to 0.13% per year. The results of this study can be used as additional information to take further action in response to changes in solar energy potential in Indonesia in the future, both for users and policy makers.

Keywords: Climate scenarios, CMIP6, Indonesia, PVpot, solar energy



@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, tahun 2025
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.

PROYEKSI PERUBAHAN POTENSI *PHOTOVOLTAIC* DI INDONESIA MENGGUNAKAN *MULTI-MODEL ENSEMBLE* LUARAN CMIP6

MOHAMMAD FAQIH AL AYUBI

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

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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



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.



Judul Skripsi : Proyeksi Perubahan Potensi *Photovoltaic* di Indonesia
menggunakan *Multi-Model Ensemble* Luaran CMIP6

Nama : Mohammad Faqih Al Ayubi

NIM : G2401211012

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

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Akhmad Faqih, S.Si.



Pembimbing 2:

Dr. Arnida Lailatul Latifah, S.Si., M.Sc.

TT ELEKTRONIK

Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi:

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

NIP. 19710707 199803 2 002

Tanggal Ujian:
30 Juli 2025

Tanggal Lulus:



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSiE, silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

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 Oktober 2024 sampai bulan Juli 2025 ini ialah proyeksi energi surya di Indonesia, dengan judul “Proyeksi Perubahan Potensi *Photovoltaic* di Indonesia menggunakan *Multi-Model Ensemble* Luaran CMIP6”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Bapak Dr. Akhmad Faqih S.Si. selaku pembimbing pertama, dan Dr. Arnida Lailatul Latifah, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah membimbing dan banyak memberi saran selama penelitian berlangsung. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Bapak Utoyo Ajie Linarka, S.T. yang telah banyak membantu selama penelitian, terutama yang berkaitan dengan HPC. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Pusat Riset Komputasi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinong yang telah membantu memberikan akses HPC dan fasilitas lainnya selama penelitian.

Ungkapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada bapak (almarhum) dan mamah yang telah mendidik dan membesarkan penulis hingga berada di tahap ini, serta seluruh keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada rekan-rekan satu bimbingan, yaitu Naufal, Dearlyn, Adi, Fidoh, Salamah, dan Tiara, yang saling memberi dukungan, semangat, dan berjuang bersama menyelesaikan tugas akhir. Terima kasih juga kepada teman-teman grup “Orion Belt” dan “Tim Badut” (Akhdan, Azfa, Faris, Elma, Arles) yang telah menjadi teman satu frekuensi dengan penulis selama berada di GFM. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada teman kos “Pondok Sahabat” (terutama Ryan) yang sudah banyak membantu penulis selama tinggal di kos. Tidak lupa dukungan dari seluruh keluarga GFM, dan pihak lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu juga sangat berarti bagi penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan..

Bogor, Juli 2025

Mohammad Faqih Al Ayubi



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penggunaan luaran CMIP6 dalam Penelitian Potensi Energi Surya	3
2.2 Perkembangan Penelitian Potensi Photovoltaic di Indonesia	3
METODE	5
3.1 Waktu dan Tempat	5
3.2 Alat dan Bahan	5
3.3 Wilayah Kajian	7
3.4 Prosedur Penelitian	7
HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Evaluasi Performa Model CMIP6	13
4.2 Koreksi Bias Model CMIP6	16
4.3 Analisis Perubahan PVpot di Indonesia	17
SIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Simpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	34
RIWAYAT HIDUP	40

DAFTAR TABEL

1	Informasi model CMIP6 yang digunakan dalam penelitian	6
2	Pembagian region dalam penelitian	7
3	<i>Summary</i> distribusi perubahan PVpot musiman pada seluruh region	24
4	<i>Summary</i> perubahan PVpot musiman jangka panjang (tahun 2031-2060) pada seluruh region	25

DAFTAR GAMBAR

1	Wilayah kajian penelitian	7
2	Diagram alir penelitian	8
3	Skor TSS model CMIP6 mentah untuk variabel RSDS dengan data ERA5 sebagai referensi	13
4	Skor TSS model CMIP6 mentah untuk variabel SFCWIND dengan data ERA5 sebagai referensi	14
5	Skor TSS model CMIP6 mentah untuk variabel TAS dengan data ERA5 sebagai referensi	15
6	CDF model CMIP6 untuk variabel RSDS, SFCWIND, dan TAS sebelum dan setelah koreksi bias dengan data ERA5 sebagai referensi	16
7	PVpot wilayah Indonesia pada periode historis (1985-2014)	17
8	Perubahan rata-rata PVpot musiman pada skenario iklim SSP1-2.6, SSP2-4.5, dan SSP5-8.5 berbasis peta <i>model agreement</i> dengan <i>threshold</i> 80% dari jumlah model CMIP6	19
9	Distribusi perubahan PVpot musiman dari seluruh region dalam skenario iklim SSP1-2.6, SSP2-4.5, dan SSP5-8.5	20
10	Grafik proyeksi tren perubahan PVpot untuk masing-masing musim dari seluruh region dalam skenario iklim SSP1-2.6, SSP2-4.5, dan SSP5-8.5	22

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil TSS rata-rata spasial data model CMIP6 terhadap data ERA5 untuk variabel RSDS, SFCWIND, dan TAS	35
2	Error (%) data model CMIP6 untuk variabel RSDS sebelum koreksi bias dan setelah koreksi bias	36
3	Error (%) data model CMIP6 untuk variabel SFCWIND sebelum koreksi bias dan setelah koreksi bias	37
4	Error (%) data model CMIP6 untuk variabel TAS sebelum koreksi bias dan setelah koreksi bias	38
5	CDF data proyeksi (SSP1-2.6, SSP2-4.5, dan SSP5-8.5) setelah koreksi bias untuk variabel RSDS, SFCWIND, dan TAS	39