

PROYEKSI POTENSI ENERGI ANGIN TEORITIS INDONESIA BAGIAN SELATAN MENGGUNAKAN DYNAMICAL DOWNSCALING CMIP6

NAUFAL AMIR JOUHARY



**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.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Proyeksi potensi energi angin teoritis Indonesia bagian selatan menggunakan *dynamical downscaling* 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 2025

Naufal Amir Jouhary
G2401211094



@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

NAUFAL AMIR JOUHARY. Proyeksi potensi energi angin teoritis Indonesia bagian selatan menggunakan *dynamical downscaling* CMIP6. Dibimbing oleh AKHMAD FAQIH dan ARNIDA LAILATUL LATIFAH.

Transisi menuju energi terbarukan menjadi krusial bagi Indonesia dalam mencapai target *Net Zero Emission* 2060. Penelitian ini bertujuan menghasilkan proyeksi potensi energi angin beresolusi tinggi (25 km) dengan menerapkan *dynamical downscaling* menggunakan model RegCM5 terhadap luaran CMIP6. Hasil evaluasi menunjukkan EC-Earth3 sebagai model *input* terbaik. Namun, proses *downscaling* justru meningkatkan overestimasi kecepatan angin yang sudah ada pada data CMIP6 jika dibandingkan dengan data reanalisis ERA5. Oleh karena itu, luaran RegCM5 perlu dikoreksi terhadap data ERA5 (resolusi $0.25^\circ \times 0.25^\circ$) sebelum dianalisis lebih lanjut. Proyeksi *ensemble* yang telah terkoreksi untuk periode 2071–2100 menunjukkan peningkatan potensi energi angin di wilayah barat (selatan Jawa), sedangkan di wilayah timur (selatan Nusa Tenggara) diproyeksikan menurun. Perubahan ini konsisten dengan penguatan angin regional dan pelemahan Sirkulasi Walker. Temuan ini mengindikasikan adanya redistribusi sumber daya angin akibat perubahan iklim, yang berimplikasi langsung pada perencanaan PLTB dan menyoroti pentingnya pemilihan parameter serta penerapan koreksi bias yang andal untuk studi energi angin di wilayah tropis.

Kata kunci: *dynamical downscaling*, energi angin, proyeksi energi



@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

NAUFAL AMIR JOUHARY. Projection of theoretical wind energy potential of southern Indonesia using CMIP6 dynamical downscaling. Supervised by AKHMAD FAQIH and ARNIDA LAILATUL LATIFAH.

The transition to renewable energy is crucial for Indonesia to meet its 2060 Net Zero Emission target. This study aims to produce high-resolution wind energy projections by applying dynamical downscaling to CMIP6 outputs using the RegCM5 model at a 25 km resolution. While EC-Earth3 was identified as the best-performing input, the downscaling process exacerbated the initial overestimation of wind speeds in the CMIP6 model. Consequently, the RegCM5 outputs required a statistical bias correction against ERA5 reanalysis data ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$ resolution) before further analysis. The corrected ensemble projections for 2071–2100 show an increase in wind potential in the western region (southern Java), while a decrease is projected in the eastern region (southern Nusa Tenggara). This change is consistent with strengthening regional winds and a weakening Walker Circulation. These findings indicate a climate-driven redistribution of wind resources, directly impacting planned wind power projects and highlighting the importance of appropriate model parameterization and reliable bias correction in tropical energy studies.

Keywords: dynamical downscaling, energy projection, wind 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 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.



@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.

PROYEKSI POTENSI ENERGI ANGIN TEORITIS INDONESIA BAGIAN SELATAN MENGGUNAKAN DYNAMICAL DOWNSCALING CMIP6

NAUFAL AMIR JOUHARY

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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
1. Dr. Rahmat Hidayat, S.Si., M.Si.

- 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 potensi energi angin teoritis Indonesia bagian selatan menggunakan *dynamical downscaling* CMIP6

Nama : Naufal Amir Jouhary

NIM : G2401211094

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Akhmad Faqih, S.Si.



Pembimbing 2:
Dr. Arnida Lailatul Latifah, S.Si., M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi
Dr. Ana Turyanti, S.Si., M.T.
NIP 197107071998032002



Tanggal Ujian:
21 Juli 2025

Tanggal Lulus:



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



@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

Alhamdulillah atas segala karunia, kekuatan, dan kemudahan dari Allah SWT sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2024 sampai bulan Juli 2025 ini ialah proyeksi potensi energi angin di Indonesia, dengan judul “Proyeksi potensi energi angin teoritis Indonesia bagian selatan menggunakan *dynamical downscaling* CMIP6”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Akhmad Faqih, S.Si. dan Dr. Arnida Lailatul Latifah, S.Si., M.Sc. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. *Honorable mention* secara khusus juga disampaikan kepada Pak Utoyo Ajie Linarka, S.T. yang telah menjadi “pembimbing ketiga” dan banyak membantu masalah teknis pengerjaan di HPC. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) KST Dr. (H.C) Ir. H. Soekarno, Cibinong yang telah membantu selama periode magang hingga penelitian, serta pemberian akses HPC untuk penelitian ini.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada papa, mama, dan pomspos yang telah memberikan dukungan finansial dan doa selama penulis berkuliah. Ucapan terima kasih secara istimewa penulis sampaikan kepada Siti Mutiara Lugina, yang senantiasa menemani dan memberikan semangat selama lebih dari dua tahun terakhir. Terima kasih juga kepada teman-teman seperbimbingan Pak Faqih (Adi, Fidoh, Salamah, Faqih, Dearlyn, dan Tiara) yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan menjadi rekan seperjuangan yang luar biasa kooperatif selama setahun terakhir Apresiasi tulus untuk teman-teman dari MARKA58ESAR atas segala perjalanan dan kenangan yang tak terlupakan, serta teman-teman dari IPB SSRS yang telah menjadi wadah bagi penulis untuk menuangkan ketertarikan di bidang riset. Tidak lupa, penulis haturkan terima kasih kepada teman-teman Vigorously cabang IPB (Azjed dan Dhiva) yang selalu siap menjadi teman nostalgia dan diskusi.

Terima kasih untuk teman-teman dari kos Pak Budi yang siap membantu kapan pun selama penulis tinggal di kos, serta untuk Bulik Yuni dan keluarga yang telah mengurus penulis dengan tulus layaknya orang tua sendiri selama satu tahun terakhir masa perkuliahan. Penulis juga berterima kasih kepada teman-teman dari UKM Tenis IPB yang selalu siap bertanding dan memberi ruang ekspresi di bidang olahraga. Bahkan, kepada sepeda biru (Eko) yang berjasa, yang sudah selalu sedia ditunggangi di awal masa perkuliahan meski banyak kesulitan dialami, penulis ucapkan terima kasih.

Terakhir, kepada semua pihak yang telah membantu namun tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih yang sebesar-besarnya. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan dibalas oleh Allah SWT dengan pahala yang berlipat ganda. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Naufal Amir Jouhary



@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

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 RegCM dalam Berbagai Aplikasi Klimatologi	3
2.2 Pemanfaatan RegCM untuk Penilaian Energi Terbarukan	3
2.3 Peran Skema Parameterisasi dalam Simulasi Iklim Regional	4
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Data	7
3.3 Prosedur penelitian	8
3.3.1 Uji Performa luaran model CMIP6	9
3.3.2 Simulasi RegCM5	10
3.3.3 <i>Hybrid Downscaling</i> dengan metode delta	10
3.3.4 Perhitungan potensi energi angin secara teoritis	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Uji performa luaran model CMIP6	13
4.2 Simulasi RegCM5	16
4.3 <i>Hybrid downscaling model</i>	19
4.4 Proyeksi potensi energi angin teoritis di masa depan	22
4.4.1 Koreksi data luaran model setelah proses <i>downscaling</i>	22
4.4.2 Perhitungan <i>Wind Power Density</i> (WPD)	23
4.4.3 Pengembangan PLTB terkini dan Relevansi Hasil Proyeksi	28
V SIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Simpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	37
RIWAYAT HIDUP	49

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.