IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

PERFORMA MODEL HUJAN CORDEX-SEA PADA ASPEK SPATIAL-TEMPORAL DAN IMPLEMENTASI FAKTOR BOBOT PADA RATA-RATA ANSAMBEL

TUGIYO AMINOTO

PROGRAM STUDI KLIMATOLOGI TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan akhir disertasi dengan judul "Performa Model Hujan CORDEX-SEA pada Aspek Spatial-Temporal dan Implementasi Faktor Bobot pada Rata-rata Ansambel" 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 laporan akhir disertasi ini. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2024

Tugiyo Aminoyo
NIM G2601202001

@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.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

RINGKASAN

TUGIYO AMINOTO. Performa Model Hujan CORDEX-SEA pada Aspek Spatial-Temporal dan Implementasi Faktor Bobot pada Rata-rata Ansambel. Dibimbing oleh YONNY KOESMARYONO, BAMBANG DWI DASANTO, PERDINAN dan AKHMAD FAQIH

Simulasi multi-model CORDEX-SEA (*Coordinated Regional climate Downscaling Experiment – Southeast Asia*) merupakan sekumpulan model iklim regional beresolusi tinggi (25 km) yang paling komprehensif di wilayah Asia Tenggara saat ini. Ada beberapa kesenjangan dalam literatur penelitian terkait evaluasi performa model hujan pada simulasi CORDEX-SEA, pertama, umumnya berfokus pada aspek spasial sedangkan kedalaman aspek temporalnya masih terbatas. Kedua, dalam membandingkan pola hujan antar sub wilayah tertentu umumnya masih menggunakan batas wilayah berupa garis persegi sebagai aproksimasi sedangkan batas wilayah tersebut lebih akurat jika ditentukan dengan metode klasterisasi. Ketiga, belum diselidikinya kemampuan model dalam menangkap telekoneksi ENSO/IOD terhadap anomali hujan di Asia Tenggara. Keempat, rata-rata ansambel yang digunakan belum memperhitungkan faktor bobot dari performa tiap model penyusunnya.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi secara sistematis dan komprehensif performa sembilan model hujan dalam database CORDEX-SEA pada aspek spasial, temporal, klasterisasi pola hujan, telekoneksi ENSO/IOD dan penerapan faktor bobot pada rata-rata ansambelnya. Instrumen analisis data dalam penelitian ini menggunakan pemograman Python hasil adopsi dan modifikasi dari aplikasi *open source* RCMES (*Regional Climate Models Evaluation System*) pada laman https://rcmes.jpl.nasa.gov. Modifikasi yang dilakukan berupa penyesuaian berorientasi kebutuhan dan penambahan beberapa aspek evaluasi yang belum ada yaitu: korelasi pada tiap titik grid domain, klasterisasi pola hujan menggunakan metode *hierarchical* dan *non-hierarchical (k-means) clustering*, rata-rata ansambel dengan faktor bobot, analisis *wavelet*, *Fast Fourier Transform* (FFT), *Empirical Orthogonal Function* (EOF). Hasil pengembangan sistem evaluasi model hujan untuk Asia Tenggara tersebut diunggah dan dapat diunduh pada laman https://github.com/tugiyo523/RCMES_CORDEX-SEA.

Hasil evaluasi performa model pada aspek spasial menunjukkan bahwa, pada musim hujan (DJF), *over-estimate* yang tinggi terjadi pada model ECE-RegCM4-3 dan GFDL-RegCM4-3 khususnya pada wilayah Indonesia dan model IPSL-RegCM4-3 di wilayah Myanmar dan sekitarnya sedangkan pada musim kemarau (JJA) terjadi hal yang sama namun cenderung pada wilayah yang berkebalikan. Di antara 9 model CORDEX-SEA yang diperbandingkan, CNRM-RCA4 memiliki performa terbaik (rata-rata skor = 0.83) sedangkan rata-rata ansambelnya mengungguli semua model (0.91). Pada aspek temporal, semua model di wilayah sekitar Laut Cina Selatan dan separuh model di wilayah Indonesia memiliki performa rendah, model dengan skor performa tertinggi adalah CNRM-RCA4 (0.31) diikuti oleh HadGEM2-RCA4 (0.30) sedangkan rata-rata ansambelnya (*Multi Model Ensembel* atau MME) mengungguli semua model tunggal (0.39).

Hasil klasterisasi pola hujan berdasarkan data reanalisis ERA5 menggunakan metode *k-means clustering* dengan jumlah klaster optimalnya ditentukan dari grafik

dendogram menunjukkan bahwa jumlah klaster yang diperoleh untuk domain Asia Tenggara, Indonesia dan Sumatera yaitu masing-masing 6, 4 dan 3. Hasil ini teramati berbeda-berbeda terhadap hasil klasterisasi pada 6 data observasi yang ditinjau. Penentuan jumlah klaster optimal dengan metode dendogram hasilnya lebih sesuai dibanding menggunakan 5 metrik berbasis statistik yang digunakan. Sensitivitas metrik tersebut rendah pada domain Asia Tenggara dan Indonesia (ukuran domain besar) namun untuk Sumatera (domain lebih kecil) hasil jumlah klasternya cukup sesuai. Selain itu, pada kebanyakan data model dan juga ERA5 teramati pola hujan tinggi di sepanjang wilayah pantai barat dan Bukit Barisan Sumatera namun hal ini tidak terdeteksi pada semua data observasi yang digunakan. Perbedaan ini kemungkinan akibat data observasi di daerah pegunungan umumnya memiliki jumlah stasiun pengukur hujan yang jumlahnya sedikit dan/atau sebaranya tidak merata. Terkait klaster pola hujan, mayoritas model menghasilkan kemiripan yang sangat kurang terhadap data referensi (ERA5) sedangkan model IPSL-RegCM4-3 similaritasnya cukup baik. Tipe hujan monsunal dan equatorial di Sumatera tertangkap dengan baik oleh model IPSL-RegCM4-3 namun tidak tertangkap model lainya. Hasil dari metode klasterisasi dengan *k-means clustering* ini berimplikasi dalam upaya meningkatan presisi dalam penentuan batas-batas klaster dan kepraktisan dalam mengkarakterisasi variabilitas temporal pada suatu klaster serta perlunya perspektif klaster pola hujan sebagai salah satu indikator dalam evaluasi performa model hujan.

Terkait pengaruh telekoneksi ENSO/IOD, hasil korelasi spasial indek Niño3.4 dengan data anomali hujan observasi di Asia Tenggara menunjukkan bahwa model yang memiliki kemiripan tertinggi (terhadap data observasi) adalah GFDL-RegCM4-3 (0,57) diikuti oleh CNRM-RCA4 (0,40) sedangkan terkait indek IOD skor tertinggi juga dimiliki dua model tersebut (dengan skor 0,63 dan 0,76).

Hasil penerapan faktor bobot pada rata-rata ansambel menunjukkan bahwa ansambel terbobot WE-Rand memiliki performa yang sedikit lebih baik (0,93) dibanding ansambel tanpa faktor bobot (0,90) dan model lainnya. Untuk model tunggal, skor performa model CNRM-RCA4 lebih tinggi (0,83) dari model individu lainnya (berkisar 0,50-0,73). Pada aspek temporal, tidak ada rata-rata ansambel yang secara konsisten memiliki performa tertinggi di setiap wilayah demikian juga untuk model tunggal.

Hasil evaluasi model hujan yang sistematis dan komprehensif tersebut diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam memilih model hujan dan tipe ansambel terbaiknya sebagai upaya mendapatkan analisa dan proyeksi iklim yang lebih akurat di wilayah Asia Tenggara. Selain itu, sistem evaluasi model berbasis Python yang dikembangkan dan digunakan dalam penelitian ini dapat menjadi sistem evaluasi model hujan untuk wilayah Asia Tenggara. Sistem ini sangat bermanfaat seiring dengan banyaknya dan meningkatnya jumlah model iklim di masa yang akan datang.

Kata kunci: ansambel terbobot, *k-means clustering*, simulasi hujan CORDEX-SEA, performa model

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 University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

SUMMARY

TUGIYO AMINOTO. Performance of CORDEX-SEA Rainfall Model on Spatial-Temporal Aspect and Implementation of Weighting Factors on Ensemble Mean. Supervised by YONNY KOESMARYONO, BAMBANG DWI DASANTO, PERDINAN and AKHMAD FAQIH

The multi-model CORDEX-SEA simulations represent the most comprehensive set of high-resolution regional climate models in Southeast Asia. The research literature concerning the evaluation of rainfall model performance in CORDEX-SEA simulations exhibits several notable gap. Firstly, the focus is generally on the spatial aspect, while temporal aspect evaluations are still limited. Secondly, comparisons of rainfall patterns between certain subregions often use square boundary approximations, whereas these boundaries would be more accurately determined using clustering methods. Thirdly, the models' ability to capture ENSO/IOD teleconnections to rainfall anomalies in Southeast Asia has not yet been investigated. Fourth, the ensemble mean used does not account for weighting factors based on the performance of each constituent model.

The aims of this research are to systematically and comprehensively evaluate the performance of nine rainfall models in the CORDEX-SEA database in terms of spatial, temporal, rainfall pattern clustering, ENSO/IOD teleconnections, and applying weighting factors to its ensemble mean. The data analysis instrument in this research used Python programming, adapted and modified from the open-source RCMES (Regional Climate Models Evaluation System) available at https://rcmes.jpl.nasa.gov. Modifications were made to orient towards specific needs and add several evaluation aspects that were not previously included: correlation and trend analysis at each domain point, rainfall pattern clustering using hierarchical and non-hierarchical k-means clustering methods, weighted ensemble mean, wavelet analysis, Fast Fourier Transform (FFT), Empirical Orthogonal Function (EOF). The modified version is available at https://github.com/tugiyo523/RCMES_ORDEX-SEA.

The spatial performance evaluation results show that among the nine CORDEX-SEA models, CNRM-RCA4 has the best performance (average score = 0.83), while the ensemble mean (MME) outperforms all models (0.91). During the rainy season (DJF), a high over-estimate occurs in the ECE-RegCM4-3 and GFDL-RegCM4-3 models, especially in Indonesia, and in the IPSL-RegCM4-3 model in Myanmar and surrounding areas, whereas during the dry season (JJA), similar over-estimates occur but tend to be in the opposite regions. In the temporal aspect, all models in the South China Sea region and half of the models in the Indonesian region have low performance. The model with the highest performance score is CNRM-RCA4 (0.31), followed by HadGEM2-RCA4 (0.30), while the multi-model ensemble mean (MME) outperforms all individual models (0.39).

For rainfall pattern classification using k-means clustering method, the use of a dendrogram graph to estimate the optimal number of clusters is more accurate than those of five statistical-based metics considered. The accuracy of the metrics is very low for large domains (Southeast Asia and Indonesia), but for smaller domains (Sumatera), the number of clusters is quite suitable. Based on ERA5 data, the best number of clusters for Southeast Asia, Indonesia, and Sumatera are six,

four, and three, respectively. These results varied among six observational datasets used. Additionally, in most model data and ERA5, a distinctive rainfall pattern was observed along the west coast and Bukit Barisan of Sumatera, but this was not observed in all observational data used. This difference is likely due to sparse and uneven distribution of observational rain gauge stations in mountainous regions. Regarding rainfall pattern clusters, most models perform inadequately, while the IPSL-RegCM4-3 model shows good similarity to the reference data (ERA5). The IPSL-RegCM4-3 model effectively captures monsoonal and equatorial rainfall types in Sumatra but not in other models. The results of k-means clustering imply improvements in defining cluster boundaries and practicality in characterizing temporal variability within a cluster. This highlights the importance of rainfall pattern clusters as indicators in evaluating rainfall model performance.

Concerning ENSO/IOD teleconnections, spatial correlation of the Niño3.4 index with modeled rainfall anomaly in Southeast Asia show that the model with the highest similarity to the reference (ERA5) is GFDL-RegCM4-3 (0.57), followed by CNRM-RCA4 (0.40), while for the IOD index, the highest scores are also held by these two models (0.63 and 0.76).

Applying weighting factors to the ensemble averages shows that the weighted ensemble WE_Rand performs slightly better (0.93) than the unweighted ensemble (0.90) and other models. For single models, CNRM-RCA4 has a higher performance score (0.83) than other individual models (ranging from 0.50 to 0.73). In the temporal aspect, the weighted ensemble WE_Tian shows slightly higher performance (0.60) than the unweighted ensemble (0.57), while for individual models, CNRM-RCA4 has the highest score (0.50) among other single models (ranging from 0.08 to 0.49).

The results of this systematic and comprehensive evaluation of rainfall models are intended to guide the selection of the best rainfall model and ensemble type, thereby enhancing the accuracy of climate analysis and projections in the Southeast Asia region. Additionally, the Python-based model evaluation system developed in this research can serve as a robust tool for evaluating rainfall models in Southeast Asia. This system will be particularly valuable as the number and complexity of climate models continue to grow in the future.

Keywords: CORDEX-SEA rainfall simulations, k-means clustering, spatial temporal performance, weighted ensemble mean

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 University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
Perpustakaan IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
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.

PERFORMA MODEL HUJAN CORDEX-SEA PADA ASPEK SPATIAL-TEMPORAL DAN IMPLEMENTASI FAKTOR BOBOT PADA RATA-RATA ANSAMBEL

TUGIYO AMINOTO

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Klimatologi Terapan

PROGRAM STUDI KLIMATOLOGI TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing Pada Ujian Tertutup Disertasi:

1. Prof. Dr. Liew Juneng
2. Dr. Bagus Sartono, M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing Pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

1. Dr. Bagus Sartono, M.Si.
2. Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T.

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
Perpustakaan IPB University

Judul Disertasi : Spatial-Temporal Dan Implementasi Faktor Bobot Pada Rata-rata Ansambel
Nama : Tugiyo Aminoto
NIM : G2601202001

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, M.S.

Pembimbing 2:
Dr. Drs. Bambang Dwi Dasanto, M.Si.

Pembimbing 3:
Perdinan, S.Si, M.Nat.Res.Econ., Ph.D.

Pembimbing 4:
Dr. Akhmad Faqih, S.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. I. Putu Santikayasa, S.Si, M.Sc.
NIP. 19790224 2005011002

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam :
Dr. Berry Juliandi, S.Si, M.Si.
NIP. 197807232007011001

Tanggal Ujian Tertutup : 5 Agustus 2024
Tanggal Sidang Promosi : 19 Agustus 2024

Tanggal Lulus:

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB Universi

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Alhamdulillahirrobbil ‘aalamiin, segala puji syukur penulis haturkan kepada Allah subhanahu wa ta’ala atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan disertasi berjudul “Performa Model Hujan CORDEX-SEA pada Aspek Spatial-Temporal dan Implementasi Faktor Bobot pada Rata-rata Ansambel” telah dapat diselesaikan.

Atas selesainya penulisan disertasi ini, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada:

1. Rektor IPB University dan Jajaranya
2. Dekan FMIPA IPB dan Jajarannya
3. Ketua Departemen Geomet dan Ketua Program Studi Klimatologi dan Jajarannya
4. Komisi Pembimbing Bapak Prof. Dr. Yonny Koesmaryono, M.S. selaku ketua dan bapak Dr. Bambang Dwi Dasanto, M. Si, Perdinan, S.Si, .Nat.Res.Econ., Ph.D serta Dr. Akhmad Faqih, M.Si sebagai anggota komisi pembimbing atas semua saran dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis selama penyusunan dan penyelesaian disertasi ini
5. Bapak Prof. Dr. Lie Juneng (UKM) dan Bapak Dr. Bagus Sartono, MSi atas kesediaannya menjadi Penguji Luar Komisi pada sidang tertutup
6. Bapak Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T. dan Bapak Dr. Bagus Sartono, MSi atas kesediaannya menjadi Promotor Luar Komisi
7. Direktur Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) RI dan Jajaranya atas beasiswa LPDP-BUDI yang diberikan kepada penulis untuk pendidikan doktor ini.
8. Bapak Dr. Dodo Gunawan dan Bapak Supari, PhD dari BMKG (selaku penguji proposal disertasi) atas saran dan masukanya
9. Para dosen pengajar pada Program Studi Klimatologi Terapan IPB
10. Kedua orang tua saya, Bapak dan ibu mertua, istri dan anak-anak tercinta, serta seluruh keluarga besar semuanya atas doa dan dukungannya yang sangat besar selama ini kepada penulis.

Akhirnya semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan semua pihak yang membutuhkan. Kritik dan saran dari para pembaca sangat penulis butuhkan dalam memperbaiki dan mengembangkan penelitian ini selanjutnya.

Bogor, Agustus 2024

Tugiyo Aminoto

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR LAMPIRAN xvi

I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Rumusan masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.4 Manfaat 3
1.5 Sistematika Penulisan Disertasi 4
1.6 Ruang Lingkup 4
1.7 Kebaruan 4

II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Evaluasi Model Iklim 6
2.2 Klasterisasi pola hujan 7
2.3 Monsun Asia-Australia 8
2.4 Telekoneksi ENSO dan IOD 9
2.5 Rata-rata ansambel dan faktor bobot 10

III METODOLOGI PENELITIAN 11
3.1 Lokasi dan data 11
3.2 Instrumen analisis data 13
3.3 Prosedur penelitian 13

IV HASIL DAN PEMBAHASAN 19
4.1 Validasi data input 19
4.2 Performa spasial 19
4.3 Performa temporal 26
4.4 Klasifikasi pola hujan dengan metode *k-means clustering* 30
4.5 Performa model terkait ENSO/IOD 41
4.6 Performa Rata-rata Ansambel dengan Faktor bobot 51

V SIMPULAN DAN SARAN 62
5.1 Simpulan 62
5.2 Saran 63

DAFTAR PUSTAKA 64

LAMPIRAN 73

RIWAYAT HIDUP 123

IPB University
Bogor Indonesia
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.
IPB University
Perpustakaan 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 University
IPB University
Perpustakaan IPB University

DAFTAR TABEL

1. Deskripsi model iklim yang digunakan 11
2. Deskripsi data referensi 12
3. Nilai minimum dan maksimum pada data input 19
4. Perbandingan evaluasi performa temporal model berdasarkan skor Taylor 28
5. Ringkasan performa model dan ansambel yang memiliki skor tertinggi 30
6. Hasil uji reliabilitas lima metrik dengan data sintetis 31
7. Jumlah klaster optimal pada tiga domain berdasarkan data ERA5 31
8. Ringkasan performa model dan rata-rata ansambel 61

DAFTAR GAMBAR

1. Peta topografi wilayah Asia Tenggara 11
2. Bagan alir penelitian 14
3. Diagram alir proses klasterisasi dengan metode k-means clustering 15
4. Visualisasi data sintesis dengan k=6, implementasi PCA dan contoh kodingnya 16
5. (a) Diagram Taylor bulan DJF (kiri) dan (b) JJA (kanan) yang menunjuk-kan performa sembilan model CORDEX-SEA (A-I), rata-rata ansambel (J), dan referensi (ERA5). Label huruf kecil setelah nama model menyatakan singkatan (a=RC4, b= RegCM4-3, c= RegCM4-7 20
6. Plot hujan rata-rata klimatologis bulan DJF pada data ERA5 dan sembilan model CORDEX-SEA periode 1976-2005 di wilayah SEA. Nilai di dalam tanda kurung menyatakan skor kesamaan pola dengan referensi (ERA5). Label huruf kecil setelah nama model menyataka 21
7. Perbandingan ERA5 dengan empat data observasi pada bulan DJF 22
8. Seperti Gambar 6 kecuali untuk musim panas boreal (JJA) 23
9. Perbandingan performa model pada bulan DJF (biru) dan JJA (merah) 23
10. Plot bias rata-rata hujan klimatologis bulan DJF di wilayah Asia Tenggara, nilai di dalam kurung menyatakan persentase bias rata-rata terhadap referensi (ERA5). Label huruf kecil setelah nama model menyatakan singkatan (a=RC4, b= RegCM4-3, c= RegCM4-7 d 24
11. Seperti Gambar 10 kecuali untuk bulan JJA 24
12. Plot rata-rata zonal hujan di wilayah Asia Tengara pada model CORDEX-SEA, nilai di dalam tanda kurung menyatakan skor similaritas model dengan referensi (ERA5). Label huruf kecil setelah nama model menyatakan singkatan (a=RC4, b= RegCM4-3, c= RegCM4-7 25
13. Plot meridional (kiri) dan zonal (kanan) hujan rata-rata dalam model CORDEX-SEA di wilayah Asia Tenggara 25
14. Plot dendrogram hasil clustering pada tiga domain berdasarkan data hujan ERA5, garis putus-putus merah digunakan untuk memperkirakan jumlah klaster optimal 32

15. Hasil klasifikasi pola hujan (skala curah hujan) menggunakan k-means clustering (k=3) di Asia Tenggara untuk ERA5, CNRM-RCA4 dan MME 33
16. Hasil klasifikasi pola hujan (skala curah hujan x 25) menggunakan k-means clustering (k=6) di Asia Tenggara untuk ERA5, CNRM-RCA4 dan MME 33
17. Hasil klasterisasi pola hujan (skala curah hujan x 25) pada wilayah daratan dan lautan Indonesia dengan k=4 36
18. Perbandingan hasil klasterisasi pola hujan (skala curah hujan x 25) untuk k=4 pada wilayah Indonesia berdasarkan data model CORDEX- 38
19. Hasil klasterisasi pola hujan (skala curah hujan x 25) untuk k=3 pada wilayah Sumatera berdasarkan data observasi 39
20. Hasil klasterisasi pola hujan (skala curah hujan x 25) untuk k=3 pada wilayah Sumatera berdasarkan sembilan model CORDEX-SEA 39
21. Plot analisis spektral dan wavelet untuk klaster 1, 2 dan 3 (warna biru, merah dan pink) pada wilayah Sumatera berdasarkan data ERA5 (atas) dan IPSL-RegCM4-3 (bawah). 40
22. Anomali SST pada wilayah Niño3.4 (kiri) dan IOD (kanan) berdasarkan 5 model dan data observasi 41
23. Anomali SST di wilayah Niño3.4 pada 5 model dan data observasi. Nilai dalam kurung menyatakan rasio deviasi standar (sr), korelasi (r) dan skor Taylor (T) 42
24. Sama seperti Gambar 24 kecuali untuk indek IOD 43
25. Plot wavelet dari variabilitas SST wilayah Niño3.4 berdasarkan 5 model iklim CMIP5 dan observasi (Obs), nilai S menyatakan nilai similaritas model terhadap referensi (Obs) 44
26. (a) Simpangan baku indek Niño3.4 dari lima model GCMs, (b) Korelasi anomali hujan (dari simulasi CORDEX-SEA) dengan indek Niño3.4 observasi, (c) sama seperti (b) kecuali indek Niño3.4 diukur dari model 45
27. Sama seperti Gambar 27 kecuali untuk indek IOD 46
28. Peta korelasi indek Niño3.4 observasi dengan anomali hujan pada data ERA5, GPCP dan model CORDEX-SEA di kawasan Asia Tenggara (1981-2005), nilai di dalam kurung menyatakan skor similaritas model dengan referensi (ERA5, GPCP) 46
29. Seperti Gambar 23 kecuali bahwa indek Niño3.4 diukur dari model, wilayah yang bergaris menunjukkan tingkat signifikansi statistik (p-value < 0,01) 48
30. Peta korelasi indek IOD dengan anomali hujan observasi (ERA5, GPCP) dan model hujan (CORDEX-SEA) untuk periode 1981-2005, nilai di dalam kurung menyatakan skor similaritas model dengan referensi (ERA5) 48
31. Seperti Gambar 31 kecuali indek IOD diukur dari model, wilayah yang diarsir menunjukkan tingkat signifikansi statistik (p-value < 0,01) 49
32. Plot EOF komponen utama untuk data hujan ERA5 dan STT COBE pada wilayah Asia Tenggara, IOD dan Niño3.4, nilai dalam tanda kurung adalah fraksi varians (vf), korelasi curah hujan dengan STT (r), dan p-value (pv) 50

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
Perpustakaan IPB University

33. Seperti Gambar 33 kecuali untuk model CNRM 51
34. (a) Time series hujan rata-rata tahunan di wilayah Asia Tenggara, (b) skor performa model hasil 5 metrik, (c) korelasi silang di antara lima skor metrik, (d) faktor bobot yang diperoleh dari 3 metrik (Taylor, SS, Tian) dan metode random 52
35. Plot rata-rata hujan bulan DJF di wilayah Asia Tenggara. Nilai dalam tanda kurung adalah skor similaritas terhadap data referensi (ERA5) 53
36. Plot rata-rata hujan bulan JJA di wilayah Asia Tenggara. Nilai dalam tanda kurung adalah skor similaritas terhadap data referensi (ERA5) 54
37. Distribusi rata-rata zonal hujan di wilayah Asia Tenggara. Nilai dalam tanda kurung adalah skor similaritas model terhadap referensi (ERA5) 54
38. Diagram Taylor bulan DJF (kiri) dan JJA (kanan) menunjukkan performa 9 model (A-I), rata-rata ansambel (J), dan empat ansambel terbobot 55
39. Plot wavelet dari variabilitas hujan di Asia Tenggara pada model CORDEX-SEA. Nilai T menyatakan skor similaritas model terhadap referensi (ERA5) 56
40. Plot wavelet untuk wilayah Sumatera pada sub wilayah R1 (koordinat 6o LU–EQ dan 95 o BB – 104o BT) 57
41. Plot wavelet untuk wilayah Sumatera pada sub wilayah R2 (koordinat EQ – 6 o LU dan 99 o BB – 106 o BT) 58
42. Plot FFT untuk model (merah) vs referensi (hitam) dari anomali hujan di wilayah Asia Tenggara, nilai di dalam tanda kurung menyatakan skor similaritas pola terhadap referensi (ERA5) 59
43. Plot FFT untuk model (merah) dan referensi (hitam) dari anomali hujan di wilayah Sumatera sub R1, nilai di dalam tanda kurung menyatakan skor similaritas pola terhadap referensi (ERA5) 59
44. Plot FFT untuk model (merah) dan referensi (hitam) dari anomali hujan di wilayah Sumatera sub R2, nilai di dalam tanda kurung menyatakan skor similaritas pola terhadap referensi (ERA5) 60

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
Perpustakaan IPB University

DAFTAR LAMPIRAN

1. Diagram alir systematic literature review (SLR) dengan metode PRISMA 74
2. Hasil sintesis pustaka terpilih dalam tinjauan pustaka sistematis 75
3. Hasil pengecekan nama variabel, satuan dan konversinya pada data model dan observasi (dicek dengan software ncivew) 100
4. Deskripsi Regional climate models (RCMs) 101
5. Deskripsi file netcdf data model dalam dataset CORDEX-SEA 102
6. Mode utama pada analisis EOF untuk model NorESM1 (data curah hujan dan SST) di wilayah Asia Tenggara, IOD dan Nino3.4 108
7. Mode utama pada analisis EOF untuk model GFDL (data curah hujan dan SST) di wilayah Asia Tenggara, IOD dan Nino3.4. 108
8. Mode utama pada analisis EOF untuk ansambel multi model (MME) untuk data curah hujan dan SST selama 1981-2005 di wilayah Asia Tenggara, IOD dan Nino3.4. 109
9. Koding Python untuk pengukuran performa model pada aspek tempora 110
10. Koding Python klasterisasi pola hujan metode k-means clustering 114
11. Deskripsi lima metrik pengukur jumlah klaster optimal 116
12. Koding Python pengukuran jumlah klaster optimal dengan 5 metrik 118
13. Koding Python untuk klasterisasi dengan metode hirarki 121

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.
Perpustakaan IPB University
© Hak cipta milik IPB University
IPB University