



HUJAN MONSUN INDONESIA: KARAKTERISTIK, VARIABILITAS DAN PROYEKSI PERUBAHANNYA DI MASA DEPAN

ADI MULSANDI



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

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



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Hujan Monsun Indonesia: Karakteristik, Variabilitas dan Proyeksi Perubahannya di Masa Depan” 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 disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, November 2024

Adi Mulsandi
G261190051



RINGKASAN

ADI MULSANDI. Hujan Monsun Indonesia: Karakteristik, Variabilitas dan Proyeksi Perubahannya di Masa Depan. Dibimbing oleh YONNY KOESMARYONO, RAHMAT HIDAYAT, AKHMAD FAQIH, dan ARDHASENA SOPAHELWAKAN.

Monsun secara sederhana didefinisikan sebagai variasi musiman angin dan curah hujan. Monsun menjadi dasar iklim di wilayah ekuator, di mana setiap variasi iklim yang terjadi mengacu pada kondisi normal monsun. Monsun memainkan peran penting dalam berbagai sektor kehidupan manusia, seperti pertanian, ekonomi, sumber daya air, dan ekosistem. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa iklim Indonesia didominasi oleh pola monsun, yang menjadi fondasi iklim utama di wilayah ini.

Meskipun penting, pengetahuan tentang aktivitas monsun di Indonesia masih terbatas, dengan banyak fitur yang belum terungkap. Saat ini, pemantauan hujan monsun di Indonesia menggunakan Indeks Monsun Australia (AUSMI), yang tidak akurat dalam menangkap variabilitas hujan monsun Indonesia karena perbedaan karakteristik regional. Penggunaan AUSMI kurang tepat, dan penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman lebih baik tentang karakteristik dan variabilitas hujan monsun Indonesia, serta proyeksi perubahan di masa mendatang.

Penelitian ini menganalisis karakteristik hujan monsun Indonesia menggunakan metode *Singular Value Decomposition* (SVD) pada variabel curah hujan, suhu muka laut (SST), dan angin. Hasil analisis mengungkap bahwa wilayah hujan monsun Indonesia mencakup bagian selatan dan tengah, dengan dua fase utama: musim hujan (November–April) dan musim kemarau (Mei–Oktober). Selain itu, hujan monsun Indonesia dipengaruhi oleh dipol meridional SST, anomali tekanan di Siberia dan Indo-Australia, serta angin baratan di Samudra Hindia.

Untuk memahami lebih dalam karakteristik hujan monsun Indonesia, penelitian ini mendefinisikan Indeks Monsun Indonesia berdasarkan komponen angin zonal pada ketinggian 850 hPa, yang berkorelasi erat dengan curah hujan di wilayah monsun. Indeks ini lebih akurat dalam menangkap variabilitas antar tahunan curah hujan monsun Indonesia dibandingkan AUSMI.

Variabilitas hujan monsun Indonesia sangat luas, dipengaruhi oleh interaksi dengan fenomena iklim global seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD), *Quasi-Biennial Oscillation* (QBO), dan *Pacific Decadal Oscillation* (PDO). Di antara fenomena tersebut, ENSO paling banyak dikaji. Sementara itu, QBO belum banyak diteliti meskipun berpotensi memengaruhi variabilitas musiman hujan monsun Indonesia.

Hasil analisis variabel iklim juga menunjukkan bahwa perubahan iklim telah berdampak nyata di Indonesia, terutama di sektor pertanian yang sangat rentan terhadap kekeringan. Penelitian ini mengkaji dampak kekeringan di masa depan akibat perubahan curah hujan monsun. Meskipun intensitas curah hujan secara umum tidak berubah signifikan, durasi kekeringan diperkirakan akan meningkat, dengan rata-rata mencapai 9 bulan di masa depan, baik pada *near future* (NF: 2025–2055) maupun *far future* (FF: 2071–2100). Kekeringan di masa depan cenderung dimulai pada awal musim kemarau, dengan peningkatan kejadian yang dimulai sejak bulan Juni di semua skenario.

Kata Kunci: CMIP6, Kekeringan Indonesia, Proyeksi Iklim, QDM, SPEI.

@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.



SUMMARY

ADI MULSANDI. The Indonesian Monsoon Rainfall: Its Characteristics, Variability, and Projected Changes in the Future. Supervised by YONNY KOESMARYONO, RAHMAT HIDAYAT, AKHMAD FAQIH, dan ARDHASENA SOPAHELWAKAN.

The monsoon is simply defined as the seasonal variation of wind and rainfall. The monsoon serves as the foundation of the climate in equatorial regions, where all climate variations refer to the normal monsoon conditions. The monsoon plays a crucial role in various sectors of human life, such as agriculture, economy, water resources, and ecosystems. Previous studies have shown that Indonesia's climate is dominated by the monsoonal pattern, which forms the primary basis of the country's climate.

Despite its importance, knowledge about monsoon activity in Indonesia is still limited, with many features remaining undiscovered. Currently, monsoon monitoring in Indonesia uses the Australian Summer Monsoon Index (AUSMI), which is inaccurate in capturing the variability of Indonesia's monsoon due to its distinct regional characteristics. The use of AUSMI is less suitable, and this study aims to provide a better understanding of Indonesia's monsoon rainfall characteristics, variability, and future projections.

This study analyzes the characteristics of the Indonesian monsoon rainfall using Singular Value Decomposition (SVD) on variables such as rainfall, sea surface temperature (SST), and wind. The results reveal that the monsoon region of Indonesia includes the southern and central parts, with two main phases: the rainy season (November–April) and the dry season (May–October). Additionally, the Indonesian monsoon is influenced by the meridional SST dipole, pressure anomalies in Siberia and Indo-Australia, and westerly winds in the Indian Ocean.

To gain deeper insights into Indonesia's monsoon rainfall characteristics, this study defines the Indonesian Monsoon Index based on the zonal wind component at 850 hPa, which is strongly correlated with rainfall in the monsoon region. This index is more accurate in capturing the interannual variability of Indonesian monsoon rainfall compared to AUSMI.

The variability of the Indonesian monsoon is extensive, influenced by interactions with global climate phenomena such as the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD), Quasi-Biennial Oscillation (QBO), and Pacific Decadal Oscillation (PDO). Among these phenomena, ENSO has been the most studied, while QBO has received little attention, despite its potential impact on the seasonal variability of Indonesia's monsoon.

Climate variable analysis also shows that climate change has had a significant impact on Indonesia, especially in the agricultural sector, which is highly vulnerable to drought. This study examines the potential future impact of drought due to changes in monsoon rainfall. While the overall intensity of rainfall is not expected to change significantly, the duration of drought is projected to increase, with an average duration of up to 9 months in the future, both in the near future (NF: 2025–2055) and the far future (FF: 2071–2100). Future droughts are likely to start in the early dry season, with an increase in occurrences starting as early as June under all scenarios.

Keywords: CMIP6, Climate Projection, Future Drought, QDM, SPEI.

@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 mengumunkan 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



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 mengumunkan 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 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.



HUJAN MONSUN INDONESIA: KARAKTERISTIK, VARIABILITAS DAN PROYEKSI PERUBAHANNYA DI MASA DEPAN

ADI MULSANDI

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**

- 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.



Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. I Putu Santikayasa
- 2 Dr. Donaldi Sukma Permana

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Rizaldi Boer
- 2 Dr. Donaldi Sukma Permana

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



Judul Disertasi : Hujan Monsun Indonesia: Karakteristik, Variabilitas dan
Proyeksi Perubahannya di Masa Depan.

Nama : Adi Mulsandi
NIM : G261190051

Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, MS.

Pembimbing 2:
Dr. Rahmat Hidayat, S.Si, M.Si.

Pembimbing 3:
Dr. Akhmad Faqih, S.Si.

Pembimbing 4:
Dr. Ardhasena Sopaheluwakan, M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Tania June, M.Sc.
NIP. 196306281988032001

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



Tanggal Ujian Tertutup : 5 September 2024
Tanggal Sidang Promosi : 14 Oktober 2024

Tanggal Lulus:



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 Juli 2020 sampai bulan Juli 2024 ini ialah hujan monsun Indonesia, dengan judul “Hujan Monsun Indonesia: Karakteristik, Variabilitas, dan Perubahannya”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, MS., Dr. Rahmat Hidayat, M.Si., Dr. Akhmad Faqih, S.Si., Dr. Ardhasena Sopaheluwakan, M.Sc., yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, sidang tertutup dan terbuka, serta penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada seluruh staf pengajar yang telah memberikan ilmu selama penulis kuliah dan staf administrasi Departemen Geofisika dan Meteorologi Institut Pertanian Bogor yang telah memberikan bantuan administrasi untuk kelancaran pelaksanaan penelitian.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Ketua STMKG, Kabag STMKG atas izin yang telah diberikan kepada penulis untuk menempuh pendidikan doctoral di Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor dan telah memberikan bantuan pendidikan melalui beasiswa BMKG.

Terima kasih penulis sampaikan atas kebaikan, ketulusan dan dukungan para sahabat tercinta dan teman-teman seperjuangan pada Program Studi Klimatologi Terapan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, yang tanpa mengurangi penghargaan tidak saya sebutkan satu persatu, khususnya mahasiswa program Doktor angkatan 2019.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga untuk yang terkasih alm. Ibu Solicha dan alm. Bapak Marwadi atas kasih sayang, dukungan, doa dan nasehat yang tiada henti kepada penulis sehingga penulis dapat mencapai pendidikan ini. Terima kasih kepada Srimulatsih, Irwan Mulyanto, Arman Mulyawan, Irsan Muldiyanto, dan Santi Mulyawati atas semangat yang diberikan untuk penulis dalam menyelesaikan pendidikan ini. Terima kasih untuk istri tercinta Carolina Septiana Cutiningsih, serta anak-anak tercinta (Naila dan Evan) atas doa dan dukungan serta kesabaran dalam menemani dan menguatkan hati penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan ini.

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

Bogor, November 2024

Adi Mulsandi

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Ruang Lingkup	5
1.6 Kerangka Pemikiran	5
1.7 Kebaruan	7
II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Definisi Monsun	8
2.2 Fitur Monsun	9
2.3 Variabilitas Monsun Indonesia	14
2.4 Pemodelan Monsun	19
2.5 Perubahan monsun	21
2.6 Teknik Singular Value Decomposition (SVD)	22
2.7 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)	22
2.8 Potential Evapotranspiration (PET)	23
2.9 Karakteristik Kekeringan	23
III KARAKTERISASI MONSUN INDONESIA MENGGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD)	25
3.1 Pendahuluan	26
3.2 Data	27
3.3 Metode	28
3.4 Hasil dan Pembahasan	33
3.5 Simpulan	43
IV VARIABILITAS INTERANNUAL MONSUN INDONESIA DALAM RESPON TERHADAP QUASI-BIENNIAL OSCILLATION (QBO)	45
4.1 Pendahuluan	45
4.2 Data dan Metode	47
4.3 Hasil dan Pembahasan	51
4.4 Kesimpulan	56
V PERUBAHAN MONSUN INDONESIA DAN DAMPAKNYA TERHADAP KEKERINGAN DI MASA DEPAN	58
5.1 Pendahuluan	59
5.2 Data dan Metode	61
5.3 Hasil dan Pembahasan	66
5.4 Simpulan	76
VI PEMBAHASAN UMUM	77
6.1 Karakteristik Monsun Indonesia	77
6.2 Variabilitas Monsun Indonesia	79



6.3	Perubahan Monsun Indonesia dan Dampaknya Terhadap Kekeringan Di Masa Depan	80
6.4	Keterbatasan Penelitian	81
6.5	Pemanfaatan dan Tindak Lanjut Hasil Penelitian	82
VII SIMPULAN DAN SARAN		84
7.1	Simpulan	84
7.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA		86
RIWAYAT HIDUP		104

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

DAFTAR TABEL

1	Perbandingan performa indeks monsun AUSMI dalam menggambarkan variabilitas curah hujan di Australia dan di Indonesia.	27
2	Persentase proporsi nilai masing-masing PC dan akumulasinya dari hasil analisis SVD variabel hujan.	35
3	Proporsi nilai SCF PC hasil SVD variabel berpasangan.	39
4	Daftar tahun kejadian setiap fase QBO	50
5	Spesifikasi model CMIP6s yang digunakan dalam penelitian ini	62

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pemikiran penelitian	6
2	Definisi wilayah monsun berdasarkan kriteria Ramage (1968). Kontur dengan warna kuning menunjukkan wilayah monsun yang terdefinisi sesuai kriteria.	8
3	Definisi wilayah monsun berdasarkan kriteria Wang dan Ding (2008). Wilayah monsun direpresentasikan dengan kotak dengan garis putus-putus berwarna oranye. Untuk keterangan lain bisa mengacu pada keterangan yang tertera di gambar.	9
4	Perkembangan sub sistim monsun Asia	12
5	Cakupan pembahasan monsun (topik yang belum di bahas di Indonesia ditandai dengan warna merah) (Rasul dan Chaudhry 2005).	14
6	Ilustrasi karakteristik kekeringan berdasarkan nilai indeks SPEI yang meliputi: durasi (D), tingkat keparahan (S), intensitas (I), dan frekuensi (F).	24
7	Diagram Taylor yang menunjukkan perbandingan data curah hujan CHIRPS asli dengan data curah hujan CHIRPS hasil koreksi terhadap data pengamatan (Corr-CHIRPS).	34
8	Pola spasial PC1 data hujan wilayah Indonesia yang disajikan dalam bentuk nilai korelasi homogen dengan tingkat signifikansi 99%. Warna dalam gambar menunjukkan nilai korelasi.	35
9	Spektrum daya dari PC1 time series hasil analisis SVD data hujan di wilayah Indonesia. Kurva warna biru menunjukkan nilai periodisitas. Titik warna merah merepresentasikan nilai periodisitas tertinggi.	36
10	Grafik Fan yang menyajikan variasi siklus tahunan nilai PC1 <i>time series</i> . Garis warna merah menunjukkan variasi siklus tahunan PC sedangkan garis warna hitam menunjukkan rata-rata siklus tahunan dalam periode 30 tahun.	36
11	Wilayah monsun Indonesia yang terdefinisi (warna cyan) berdasarkan nilai korelasi PC1 >55 dan nilai periodisitas PC1 time series antara 6-12 bulan.	37
12	Rata-rata curah hujan wilayah monsun Indonesia selama periode 30 tahun. Bar warna biru (oranye) menunjukkan fase basah (kering) atau musim hujan (kemarau).	38

Pola spasial PC1 hasil SVD variabel berpasangan untuk a) hujan dan b) SST yang disajikan dalam peta korelasi homogen dengan tingkat kepercayaan 99%. Warna dalam peta merepresentasikan nilai koefisien korelasi antara PC time series dan data aslinya. PC1 menjelaskan 70% dari total nilai kovariansi dengan nilai korelasi 0.86.

40

Spektrum daya PC1 time series hasil dari SVD variabel berpasangan antara data hujan (panel atas) dan SST global (panel bawah) di wilayah Indonesia. Kurva warna biru menunjukkan nilai periodisitas. Titik warna merah merepresentasikan nilai periodisitas tertinggi.

41

Peta korelasi heterogen antara PC1 time series variabel hujan dengan komponen angin u dan v pada level 850 hPa. Arah vektor menggambarkan arah sirkulasi monsun, sedangkan panjang vektor merepresentasikan nilai korelasi. Nilai korelasi memiliki tingkat signifikansi 99%.

42

Skematik diagram yang menggambarkan fitur-fitur utama pada proses fisis dan dinamis puncak musim hujan bulan Desember-Januari. Fitur monsun Indonesia digambarkan oleh: 1) dipole suhu muka laut antara bumi bagian utara dan selatan, 2) pola tekanan tinggi (rendah) di utara (selatan), 3) fluktuasi angin baratan. Garis putus-putus warna merah menunjukkan lokasi konvergensi.

44

Nama-nama provinsi yang termasuk dalam wilayah monsun Indonesia.

48

Penampang melintang atmosfer antara waktu dan ketinggian data angin zonal bulanan yang disediakan oleh (satuan: ms^{-1}).

50

Rata-rata klimatologis (1981-2014) data curah hujan (warna) yang di overlay dengan data angin level 850 hPa (vektor panah) untuk wilayah monsun Indonesia pada saat puncak musim hujan yaitu Desember-Januari (DJF) dan puncak musim kemarau dalam satuan mm/bulan.

51

Anomali curah hujan (kontur warna dalam satuan mm/bulan) dan angin (vektor) terhadap kondisi klimatologis (1981-2014): (a) anomali DJF saat fase WQBO, (b) anomali DJF saat fase EQBO, (c) anomali JJA saat fase WQBO, dan (d) anomali JJA saat fase EQBO.

52

Anomali stratifikasi suhu (kontur warna dalam satuan Kelvin) dan angin (vektor) terhadap kondisi klimatologis (1981-2014): (a) anomali DJF saat fase WQBO, (b) anomali DJF saat fase EQBO, (c) anomali JJA saat fase WQBO, dan (d) anomali JJA saat fase EQBO

55

Anomali OLR (kontur warna dalam satuan $Watt/m^2$) terhadap kondisi klimatologis (1981-2014): (a) anomali DJF saat fase WQBO, (b) anomali DJF saat fase EQBO, (c) anomali JJA saat fase WQBO, dan (d) anomali JJA saat fase EQBO

55

Anomali divergensi (kontur warna dalam satuan s^{-1}) dan angin (vektor) terhadap kondisi klimatologis (1981-2014): (a) anomali DJF saat fase WQBO, (b) anomali DJF saat fase EQBO, (c) anomali JJA saat fase WQBO, dan (d) anomali JJA saat fase EQBO

56

Skematik diagram pengaruh QBO terhadap anomali curah hujan dan sirkulasi monsun Indonesia.

57

Variabilitas musiman hujan monsun Indonesia (mm/bulan). Garis tebal warna hitam menunjukkan batas wilayah monsun Indonesia seperti yang didefinisikan oleh Mulsandi et al. (2024).

67

- 26 Diagram Taylor yang menyajikan perbandingan nilai statistik antara ansamble GCM terkoreksi dengan GCM terkoreksi tunggal untuk periode kalibrasi (1981-2014). Gambar sebelah kiri untuk variabel hujan sedangkan kanan untuk PET. 68
- 27 Sama seperti Gambar 24 akan tetapi untuk periode validasi (2015-2020). 68
- 28 Boxplot perubahan curah hujan untuk periode NF(2025-2055) (warna jingga) dan FF(2071-2100) (warna biru) relatif terhadap kondisi klimatologis (1981-2014) dibawah skenario SSP1-2.6, SSP2-4.5 dan SSP5-8.5. (a), (b), (c), dan (d) masing-masing untuk musim DJF, MAM, JJA, dan SON. 69
- 29 Distribusi spasial karakteristik kekeringan: a) rata-rata frekuensi kekeringan (jumlah kejadian), b) rata-rata durasi kekeringan (bulan), c) rata-rata intensitas kekeringan, dan d) rata-rata tingkat keparahan kekeringan. 70
- 30 Grafik PDF yang menggambarkan distribusi statistik karakteristik kekeringan di wilayah monsun Indonesia, mencakup durasi (a-b), intensitas (c-d), tingkat keparahan (e-f), dan frekuensi (g-h). 72
- 31 Siklus tahunan onset kekeringan untuk semua periode data (baseline, NF, dan FF). 73
- 32 Distribusi frekuensi kekeringan dengan kategori "Sangat Kering" (SPEI < -2.0) untuk periode histori (a), periode NF(2025-2055) (b-d), dan periode FF(2071-2100) (e-g). 74
- 33 Lokasi pendefinisian indeks monsun Indonesia (kotak warna merah) 78
- 34 Time series Indeks monsun Indonesia untuk musim hujan (DJF). Indeks monsun Indonesia didefinisikan menggunakan komponen angin zonal 850 hPA yang berkorelasi kuat dengan curah hujan wilayah monsun Indonesia yaitu wilayah di 750 BT - 1100 BT, 100 LS - 00. 79
- 35 Peta korelasi antara curah hujan DJF dengan indeks monsun Indonesia (gambar kiri) dan AUSMI (gambar kanan). Korelasi memiliki tingkat signifikansi 99%. 79
- 36 PC1 hasil analisis SVD variabel berpasanagn. a) peta korelasi homogen antara PC1 time series data hujan monsun Indonesia dengan data hujan monsun Indonesia asli. b) peta korelasi heterogen antara PC1 timeseries kumpulan indeks iklim global dengan data hujan monsun Indonesia asli. c) dan d) adalah periodisitas hasil FFT PC1 time series masing-masing untuk variabel hujan dan kumpulan indek monsun global. 80

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