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

PENGEMBANGAN LAYANAN IKLIM PREDIKTIF OPERASIONAL MELALUI INTEGRASI MODEL MUSIMAN ECMWF SEAS5 DAN ADAPTASI MODEL FENOLOGI CLISAGRI PADA PERTANIAN PADI

MARJUKI

PROGRAM STUDI KLIMATOLOGI TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

IPB University
Bogor Indonesia

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

@Hak cipta milik IPB University

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi berjudul "Pengembangan Layanan Iklim Prediktif Operasional Melalui Integrasi Model Musiman ECMWF SEAS5 Dan Adaptasi Model Fenologi Clisagri Pada Pertanian Padi" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun ke perguruan tinggi manapun. 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, Juli 2026

Marjuki
NIM G2601211002

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

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

RINGKASAN

MARJUKI. Pengembangan Layanan Iklim Prediktif Operasional Melalui Integrasi Model Musiman ECMWF SEAS5 Dan Adaptasi Model Fenologi Clisagri Pada Pertanian Padi. Dibimbing oleh YONNY KOESMARYONO, ARDHASENA SOPAHELUWAKAN, I PUTU SANTIKAYASA.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh ancaman perubahan iklim terhadap ketahanan pangan nasional, khususnya sensitivitas padi tropis pada sawah tadah hujan yang sangat bergantung pada iklim monsun dan dipengaruhi fenomena global ENSO dan IOD. Terdapat potensi kesenjangan yang cukup dalam terkait penyediaan layanan iklim yang mudah diterjemahkan menjadi adaptasi agronomis presisi di sektor pertanian. Penelitian bertujuan mengintegrasikan model prediksi musiman ECMWF SEAS5 dengan adaptasi model fenologi Clisagri guna membangun paradigma layanan iklim prediktif operasional. Kebaruan riset terletak pada transformasi model fenologi gandum subtropis untuk diadaptasi padi tropis serta pengembangan strategi optimasi waktu tanam dan varietas berbasis risiko iklim di Indonesia.

Systematic Literature Review (SLR) dengan protokol PRISMA telah dilakukan menggunakan 1.981 artikel Scopus. Hasil SLR ditemukan ketimpangan riset antara strategi adaptasi (77.4%) dan penyediaan layanan iklim (22.6%). Mayoritas riset di negara berkembang masih bersifat deskriptif retrospektif pada tahap pemahaman dasar, bukan aksi presisi. Temuan menekankan urgensi pergeseran menuju layanan iklim lanjut (*advanced*) yang mengintegrasikan *Seasonal Climate Forecast* (SCF) dengan pemodelan fenologi dinamis melalui pendekatan *co-design* untuk meningkatkan kapasitas operasional petani.

Metode evaluasi diagnostik diterapkan pada luaran model *re-forecast* SEAS5 terhadap data referensi MSWEP (presipitasi) dan ERA5 (suhu) periode 1991–2020 menggunakan metode korelasi Pearson dan analisis *hit/miss*. Hasil menunjukkan SEAS5 sangat mumpuni mereproduksi siklus tahunan monsunal ($r > 0,8$), namun memiliki *wet bias* di wilayah pegunungan dan *cold bias* pada suhu maksimum di wilayah barat Indonesia. Berdasarkan seleksi bertingkat (100% *Hit* dan korelasi sangat kuat), ditetapkan lima wilayah yang memiliki karakteristik iklim paling dominan dapat dijelaskan SEAS5 yaitu: Rote Ndao, Kota Kupang, Kabupaten Kupang, Kepulauan Tanimbar, dan Maros.

Penelitian ini melakukan transformasi struktural model Clisagri melalui re-parameterisasi kebutuhan termal *Growing Degree Days* (GDD) spesifik padi tropis. Menggunakan metode Algoritma Genetika (GA) dan Indeks Risiko Komposit (IRK), model mensimulasikan optimasi varietas dan pergeseran waktu tanam di Maros dan Cilacap. Di Maros, ditemukan titik ekuilibrium aman pada penanaman April (risiko 0,169) melalui strategi percepatan umur genjah saat El Niño. Di Cilacap, terdeteksi rigiditas kalender tanam akibat monsun basah persisten, sehingga solusi optimal beralih pada eksploitasi genetik menggunakan varietas berumur dalam yang mampu mereduksi risiko hingga 23%.

Sintesis hasil menegaskan adanya hambatan prediksi di benua maritim *Maritime Continent Prediction Barrier* (MCBI) yang ditandai dengan bias sistematis model global akibat kompleksitas orografis. Kebaruan metodologis dibuktikan melalui pendekatan delineasi spasial bertingkat yang mengekstraksi

wilayah dengan karakteristik iklim dominan luaran data mentah SEAS5 yang berkinerja tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan secara operasional sebelum dilakukan koreksi bias. Integrasi ini membuat terobosan antara disiplin ilmu antara klimatologi dan agronomi sehingga menyediakan informasi terstruktur yang mengubah paradigma kesadaran iklim pasif menjadi strategi adaptasi teknis yang terukur dan antisipatif.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa integrasi model seasonal SEAS5 dan model fenologi dinamis Clisagri termodifikasi sangat efektif dalam mengkuantifikasi risiko iklim pada fase kritis pertumbuhan padi. Rekomendasi strategis berupa adopsi konsep rekayasa algoritma model ini ke dalam sistem kalender tanam nasional. Saran penelitian lanjutan mencakup integrasi prediksi skala sub-musiman (S2S) untuk dapat mendeteksi *dry spells* mingguan dan penyempurnaan indikator cekaman termal berbasis suhu malam hari (*Tmin*) guna mengantisipasi sterilitas *spikelet* akibat pemanasan global.

Kata Kunci: Layanan Iklim Prediktif, ECMWF SEAS5, Model Fenologi Clisagri, Padi Tropis

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

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

SUMMARY

MARJUKI. Development of Operational Predictive Climate Services Through Integration of the ECMWF SEAS5 Seasonal Model and Adaptation of the Clisagri Phenology Model in Rice Farming. Supervised by YONNY KOESMARYONO, , ARDHASENA SOPAHELUWAKAN, I PUTU SANTIKAYASA.

This research is driven by the threat of climate change to national food security, particularly the sensitivity of tropical rice in rainfed fields that are highly dependent on the monsoon climate and influenced by global phenomena such as ENSO and IOD. There is a significant gap in providing climate services that can be easily translated into precise agronomical adaptations in the agricultural sector. This study aims to integrate the ECMWF SEAS5 seasonal prediction model with the adaptation of the Clisagri phenology model to establish an operational-predictive climate service paradigm. The research novelty lies in the structural transformation of the Clisagri phenology model originally designed for temperate wheat to be adapted for tropical rice, along with the development of climate risk-based planting time and variety optimization strategies in Indonesia.

Utilizing a Systematic Literature Review (SLR) method with the PRISMA protocol on 1,981 Scopus-indexed articles, a sharp imbalance was identified between research on adaptation strategies (77.4%) and climate service provision (22.6%). Most research in developing countries remains trapped in descriptive-retrospective approaches at the basic understanding level rather than precision action. The findings emphasize the urgent need for a shift toward advanced climate services that integrate Seasonal Climate Forecasts (SCF) with dynamic phenology modeling through a co-design approach to enhance farmers' operational capacity.

A diagnostic evaluation method was applied to the ECMWF SEAS5 re-forecast outputs against MSWEP (precipitation) and ERA5 (temperature) reference datasets for the 1991–2020 period using Pearson correlation and hit/miss analysis. The results indicate that SEAS5 is highly capable of reproducing the annual monsoonal cycle ($r>0.8$), although it exhibits a wet bias in mountainous regions and a cold bias in maximum temperatures across Western Indonesia. Based on a tiered selection process (100% Hit rate and very strong correlation), five regions with the most dominant climate characteristics explainable by SEAS5 were established: Rote Ndao, Kupang City, Kupang Regency, Tanimbar Islands, and Maros.

The study undertook a structural transformation of the Clisagri model through the re-parameterization of thermal requirements Growing Degree Days (GDD) specific to tropical rice. Using Genetic Algorithms (GA) and the Composite Risk Index, the model simulated variety optimization and planting time shifts in Maros and Cilacap. In Maros, a safe equilibrium point was identified for April planting (risk index 0.169) through a strategy of utilizing early-maturing varieties during El Nino events. In Cilacap, planting calendar rigidity was detected due to persistent wet monsoons; thus, the optimal solution shifted toward genetic exploitation using long-duration varieties, which effectively reduced the aggregate risk by up to 23%.

The synthesis of results confirms the existence of the Maritime Continent Prediction Barrier (MCPB), characterized by systematic biases in global models due to orographic complexity. Methodological novelty was demonstrated through

a tiered spatial delineation approach that extracts regions where raw SEAS5 high-performance outputs can be utilized operationally before statistical bias correction. This integration represents a breakthrough bridging climatology and agronomy, providing structured information that transforms the paradigm from passive climate awareness to measurable and anticipatory technical adaptation strategies.

The dissertation concludes that the integration of the SEAS5 seasonal model and the modified Clisagri dynamic phenology model is highly effective in quantifying climate risks during critical rice growth phases. Strategic recommendations include the adoption of this algorithmic engineering concept into the national Integrated Crop Calendar system. Future research suggestions include integrating sub-seasonal to seasonal (S2S) predictions to detect weekly dry spells and refining thermal stress indicators based on nighttime temperatures (Tmin) to anticipate spikelet sterility due to global warming.

Keywords: Predictive Climate Services, ECMWF SEAS5, Clisagri Phenology Model, Tropical Rice

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

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 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 apapun tanpa izin IPB.

IPB University
Bogor Indonesia

PENGEMBANGAN LAYANAN IKLIM PREDIKTIF OPERASIONAL MELALUI INTEGRASI MODEL MUSIMAN ECMWF SEAS5 DAN ADAPTASI MODEL FENOLOGI CLISAGRI PADA PERTANIAN PADI

MARJUKI

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
2026

@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

Penguji Luar Komisi Pembimbing Pada Ujian Tertutup Disertasi:

1. Dr. Aris Pramudia, M.Si
2. Dr. Ir. Rini Hidayati, M.S

Penguji Luar Komisi Pembimbing Pada Sidang Terbuka Disertasi:

1. Prof. Dr. Ir. Fadjry Djufry, M.Si
2. Dr. Ir. Rini Hidayati, M.S

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 : Pengembangan Layanan Iklim Prediktif Operasional Melalui Integrasi Model Musiman ECMWF SEAS5 Dan Adaptasi Model Fenologi Clisagri Pada Pertanian Padi

Nama : Marjuki

NIM : G2601211002

Disetujui oleh

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

Pembimbing 2:
Dr. Ardhasena Sopaheluwakan, S.Si., M.Sc.

Pembimbing 3:
Dr. I Putu Santikayasa, S.Si., 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 : 11 Juni 2026
Tanggal Sidang Promosi : 13 Juli 2026

Tanggal Lulus:

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

PRAKATA

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulisan disertasi yang berjudul Pengembangan Layanan Iklim Prediktif Operasional Melalui Integrasi Model Musiman ECMWF SEAS5 dan Adaptasi Model Fenologi Clisagri Pada Pertanian Padi ini dapat diselesaikan. Karya illmiah ini, penulis dedikasikan untuk menjembatani kesenjangan kebutuhan layanan iklim untuk mitigasi risiko pertanian di tingkat operasional. Penyelesaian karya ilmiah ini tidak terlepas dari bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rasa hormat dan ketulusan, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, M.S. selaku Ketua Komisi Pembimbing, atas arahan strategis, ketajaman visi ilmiah, serta kebijaksanaan dalam membimbing penulis menstrukturkan konsep penelitian ini.
2. Dr. I Putu Santikayasa, S.Si.,M.Sc dan Dr. Ardhasena Sopaheluwakan, S.Si.,M.Sc. selaku Anggota Komisi Pembimbing, atas koreksi kritis, wawasan komprehensif, serta masukan teknis yang sangat berharga dalam menyempurnakan kualitas analisis disertasi ini.
3. Rektor IPB University dan Dekan Sekolah Pascasarjana IPB, atas fasilitas dan ekosistem akademik yang sangat dinamis, kondusif, dan penuh inspirasi selama masa studi doktoral penulis.
4. Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) beserta jajaran pimpinan, sebagai institusi tempat penulis bernaung, atas dukungan tugas belajar, penyediaan infrastruktur data, serta kesempatan yang memungkinkan penelitian operasional ini terwujud.
5. Keluarga tercinta, Famiyana Dewi, yang memberikan dukungan tanpa batas, putri-putriku tersayang Fathania Radinka Putri, Falyn Althakani Putri dan tidak lupa putri kedua almarhumah Farryn Naqiyya Ilmi yang senantiasa menjadi motivasi untuk terus berjuang.
6. Tidak lupa, tim Direktorat Iklim Terapan atas dukungan teknis, pengelolaan basis data, serta fasilitas komputasi. Dedikasi rekan-rekan sangat mempermudah langkah penulis dalam menyelesaikan seluruh tahapan analisis data.

Penelitian ini mengusung kebaruan berupa penerapan arsitektur evaluasi model global ECMWF SEAS5 dengan metode bertingkat serta validasi probabilistik tingkat lanjut untuk selanjutnya diintegrasikan dengan sistem pemodelan fenologi Clisagri. Bagi masyarakat pertanian, integrasi sistem SEAS5-Clisagri memberikan navigasi dalam menghadapi risiko iklim ekstrem sehingga petani dapat merumuskan taktik adaptasi teknis yang presisi untuk menghindari kegagalan panen. Sebagai insan BMKG, penulis menyadari bahwa disertasi ini bukanlah garis akhir untuk berinovasi dalam menjawab tantangan penyediaan layanan iklim kedepan. Penulis berharap karya ini menjadi representasi negara dalam melindungi ketahanan pangan nasional ditengah meningkatnya variabilitas iklim ekstrem dampak dari perubahan iklim.

Bogor, Juli 2026
Marjuki

IPB University
Bogor Indonesia

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR LAMPIRAN xv

I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.4 Manfaat 4
1.5 Kebaruan (*Novelty*) 4
1.6 Sistematika Penyusunan Disertasi 5

II TINJAUAN PUSTAKA SISTEMATIS : ANALISIS KESENJANGAN LAYANAN IKLIM DAN STRATEGI ADAPTASI PADA PERTANIAN SKALA KECIL 8
2.1 Abstrak 8
2.2 Pendahuluan 8
2.3 Data dan Metode 10
2.4 Hasil dan Pembahasan 13
2.5 Simpulan 22

III EVALUASI MODEL ECMWF SEAS5 DI INDONESIA BERDASARKAN KARAKTERISTIK IKLIM DOMINAN 24
3.1 Pendahuluan 24
3.2 Data dan Metode 26
3.3 Hasil dan Pembahasan 31
3.4 Kesimpulan dan Saran 51

IV ADAPTASI MODEL FENOLOGI CLISAGRI BERBASIS PREDIKSI IKLIM SEAS5 UNTUK OPTIMASI TANAM PADI TROPIS 53
4.1 Abstrak 53
4.2 Penduhuluan 54
4.3 Data dan Metode 55
4.4 Hasil dan Pembahasan 70
4.5. Simpulan 101

V PEMBAHASAN UMUM 103
5.1 Studi Pustaka Sistematis 103
5.2 Analisis Penetapan Karakteristik Iklim Dominan Di Indonesia Melalui Simulasi Performa Model ECMWF SEAS5 104
5.3 Adaptasi Model Fenologi Dinamis Clisagri Berbasis Prediksi Iklim ECMWF SEAS5 untuk Optimalisasi Waktu Tanam Padi Tropis 105
5.4 Integrasi Prediksi Iklim dan Fenologi Dinamis untuk Ketahanan Pertanian Padi Tropis 105

@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

VI SIMPULAN UMUM DAN SARAN 107
6.1 Simpulan Umum 107
6.2 Saran 107
DAFTAR PUSTAKA 109
LAMPIRAN 114
RIWAYAT HIDUP 121

DAFTAR TABEL

2.1 Kriteria inklusi dan ekslusi studi literatur 26
2.2 Metode studi literatur 14
2.3 Ringkasan kesenjangan adaptasi iklim dan layanan iklim 16
2.4 Pengaruh sosio-ekonomi dari intervensi layanan iklim dan strategi adaptasi iklim 19
3.1 Profil data model SEAS5 ECMWF, dataset MSWEP dan ERA5 26
3.2 Indikator yang digunakan untuk perbandingan antara model dan observasi 30
3.3 Indikator kesesuaian temporal (fase waktu) 46
3.4 Indikator statistik berbasis korelasi untuk penilaian akhir kinerja model 47
4.1 Jenis dan sumber data penelitian 56
4.2 Parameterisasi tipikal untuk gandum dan padi 57
4.3 Dampak kekeringan terhadap fase pertumbuhan padi 58
4.4 Dampak cekaman suhu terhadap fase pertumbuhan padi 59
4.5 Indikator risiko iklim dan dampaknya pada fase fenologi 60
4.6 Penjelasan dan formulasi tipe risiko agroklimat 63

DAFTAR GAMBAR

1.1 Kerangka alir penelitian dalam sistematika penyusunan disertasi 7
2.1 Kerangka alir tahapan penelaahan literatur 12
2.2 Peningkatan studi layanan iklim skala global 13
2.3 Sebaran fokus studi literatur 13
2.4 Komposisi pemanfaatan metode statistik studi literatur 15
2.5 Peta topik riset (nomor literatur) pada level layanan iklim dan level strategi adaptasi iklim 17
2.6 Pengaruh informasi iklim terhadap intervensi layanan dalam strategi adaptasi iklim 18
2.7 Frekuensi riset yang sudah dilakukan dan belum dilakukan terkait layanan iklim dan strategi adaptasi berdasarkan komponen risiko iklim (%) 22
3.1 Akumulasi curah hujan musiman pada observasi 32
3.2 Curah hujan musiman pada model SEAS5 33
3.3 Bias curah hujan musiman antara model dan observasi 34
3.4 Perbandingan bulan terbasah pada model (kiri atas), observasi (kanan atas), dan kecocokannya (bawah) 35

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

3.5 Perbandingan bulan terkering pada model (kiri atas), observasi (kanan atas), dan kecocokannya (bawah) 36
3.6 Korelasi curah hujan series bulanan antara model dan observasi (kiri), dan korelasi normal curah hujan kumulatif bulanan (kanan) selama periode 1991-2020 37
3.7 Korelasi series jumlah hari dengan kategori tidak hujan hingga ke hujan rendah (≤20 mm per hari) (kiri), dan korelasi series jumlah hari dengan kategori hujan sedang keatas (> 20 mm) (kanan) 38
3.8 Suhu minimum rata-rata tahunan (kiri) dan suhu maksimum rata-rata tahunan (kanan) untuk model (atas) dan observasi (bawah) 39
3.9 Bias rata-rata tahunan suhu minimum (kiri) dan bias suhu maksimum (kanan) antara model dan observasi 40
3.10 Perbandingan bulan terpanas pada model (kiri atas), observasi (kanan atas), dan kecocokannya (bawah) 41
3.11 Perbandingan bulan bulan terdingin pada model (kiri atas), observasi (kanan atas), dan kecocokannya (bawah) 42
3.12 Korelasi suhu rata-rata tahunan periode 1991-2020 antara model dan observasi (kiri), dan korelasi normal curah hujan kumulatif bulanan (*annual cycle*) pada periode yang sama (kanan) 43
3.13 distribusi statistik *boxplot* dan distribusi spasial dari nilai CRPSS di wilayah Indonesia 44
3.14 Statistik *boxplot* TSS berdasarkan fase ENSO di wilayah Indonesia 45
3.15 Peta Kinerja SEAS5 berdasarkan indikator korelasi dan kecocokan temporal 49
3.16 Komparasi *Time Series* (kiri) dan *Probability Density Function* (kanan) curah hujan antara Model SEAS5 (Biru) dan Observasi MSWEP (Kuning) di lokasi: (a) Rote Ndao, (b) Kupang, (c) Tanimbar, dan (d) Maros. 50
3.17 Grafik PDF dengan syarat ambang batas hari hujan minimal 1 mm Obs (in situ) Stamet Tunggul Wulung Cilacap dan Staklim Sulawesi Selatan 51
4.1 Diagram alur perhitungan siklus *Genetic Algoritm* 67
4.2 Komputasi metode OPT pergeseran jadual tanam 69
4.3 Profil klimatologis curah hujan dan suhu tahunan Kabupaten Maros 71
4.4 Profil klimatologis curah hujan dan suhu tahunan Kabupaten Cilacap 72
4.5 Kalender awal tanam padi di Kabupaten Maros (referensi) 73
4.6 Kalender fase pertumbuhan padi di Kabupaten Maros (referensi) 74
4.7 Perbandingan indikator risiko (sbu x) pada tiap skenario awal tanam (sbu y) 75
4.8 Matrik risiko agroklimat per skenario 75
4.9 Profil risiko hari basah persisten, CH ≥ 5mm (T10) 76
4.10 Profil risiko deret hari kering (T13) 77
4.11 Optimasi kalender fenologi tanam Maret 78
4.12 Optimasi kalender fenologi tanam April 79
4.13 Optimasi kalender fenologi tanam Mei 80
4.14 Optimasi kalender fenologi tanam November 81
4.15 Optimasi kalender fenologi tanam Desember 82
4.16 Optimasi kalender fenologi tanam Januari 83

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

4.17 Sensitivitas tanggal tanam terhadap risiko agroklimat 84
4.18 Jendela tanam optimal berdasarkan tipe risiko agroklimat 85
4.19 Sensitivitas tanggal tanam 1 November terhadap risko agroklimat 86
4.20 Sensitivitas tanggal tanam 1 Januari terhadap risko agroklimat 86
4.21 Sensitivitas tanggal tanam 1 April terhadap risko agroklimat 87
4.22 Sensitivitas tanggal tanam 1 Mei terhadap risiko agroklimat 88
4.23 Matriks risiko indikator kunci T8, T10 dan T13 89
4.24 Pola distribusi awal musim tanam Kabupaten Cilacap 90
4.25 Kalender tanam fase pertumbuhan padi di Kab Cilacap 90
4.26 Perbandingan indikator risiko pada tiap skenario awal tanam 91
4.27 Matrik risiko iklim pada skenario awal tanam 92
4.28 Profil risiko hari basah persisten (T10) 92
4.29 Optimasi kalender fenologi tanam Januari 93
4.30 Optimasi kalender fenologi tanam Desember 94
4.31 Optimasi kalender fenologi tanam November 94
4.32 Sensitivitas tanggal tanam terhadap risiko 96
4.33 Jendela tanam optimal berdasarkan tipe risiko agroklimat 96
4.34 Sensitivitas tanggal tanam optimal (November) terhadap risiko agroklimat 97
4.35 Sensitivitas tanggal tanam optimal (Januari) terhadap risiko agroklimat 98

DAFTAR LAMPIRAN

1. Literatur terpilih hasil screening SLR berdasarkan *Digital Object Identifier* (DOI) 115
2. Metode statistik yang digunakan lieratur terpilih (sesuai nomor literatur pada lampiran1) untuk menganalisis pengaruh informasi iklim dan strategi adaptasi terhadap berbagai jenis intervensi 115
3. Daftar 66 wilayah (kabupaten/kota) dengan kecocokan waktu kejadian puncak 100% dan sekaligus memiliki kategori korelasi kuat hingga korelasi sangat kuat (rata-rata korelasi > 0,6) 116
4. Konfigurasi skenario tanam kabupaten maros 117
5. Nilai rata-rata indikator (klimatologi 30 tahun, 1991–2020) Kabupaten Maros 118
6. Tabel nilai risiko optimasi dan risiko R Kabupaten Maros 118
7. Tanggal tanam optimal Kabupaten Maros 119
8. Konfigurasi skenario tanam Kabupaten Cilacap 119
9. Nilai rata-rata indikator (klimatologi 30 tahun, 1991–2020) Kabupaten Cilacap 120
10. Tabel nilai risiko optimasi dan risiko R Kab Cilacap 120
11. Tanggal tanam optimal Kabupaten Cilacap 120

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