

Bab I

Sistem Prediksi Iklim dalam Rangkaian Kebutuhan untuk Penguatan Ketahanan Pangan

Danang Eko Nuryanto, Ibnu Fathrio

A. Prediksi Iklim: Sebuah Kebutuhan

Di tengah tantangan global yang dihadapi akibat perubahan iklim, ketahanan pangan menjadi isu yang makin mendesak. Negara-negara di seluruh dunia, termasuk Indonesia, menghadapi risiko serius terkait produksi pangan, terutama dalam konteks ketergantungan pada sektor pertanian (Porter & Semenov, 2005). Sektor ini tidak hanya berfungsi sebagai penyedia makanan, tetapi juga sebagai sumber mata pencarian bagi jutaan orang.

Perubahan iklim yang terjadi saat ini tidak dapat dipandang remeh. Persoalan ini telah menimbulkan kekhawatiran terhadap kemampuan sistem pertanian untuk dapat beradaptasi terhadap perubahan iklim yang terjadi, yang berpotensi menurunkan produksi tanaman pangan

D. E. Nuryanto & I. Fathrio*

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: ibnufathrio@gmail.com

(Wing et al., 2021). Hal ini karena produksi tanaman pangan rentan terhadap variabilitas iklim. Peningkatan suhu, peningkatan CO₂, dan perubahan pola curah hujan yang terkait dengan perubahan iklim dapat menyebabkan penurunan produksi tanaman pangan yang cukup besar (Eftekhari, 2022). Perubahan suhu, kelembapan, siklus basah-kering, serta beku-cair, dan sebagainya dapat menyebabkan perubahan dalam pertumbuhan dan fisiologi mikroorganisme tanah (Alkorta et al., 2017). Perubahan parameter lingkungan yang disebabkan oleh iklim memang dapat memengaruhi struktur dan fungsi komunitas mikroba tanah dan memodifikasi. Misalnya, tingkat interaksi di antara mikroorganisme yang diperlukan untuk degradasi polutan organik di tanah, stok karbon organik tanah, sifat tanah, seperti pH, kapasitas tukar kation (CEC), kapasitas menahan air (WEC), dan stok nutrisi (Garbisu et al., 2020; Baldrian et al., 2023; Hung et al., 2022). Peristiwa cuaca ekstrem, seperti kekeringan, gelombang panas ekstrem, dan curah hujan lebat yang menyebabkan banjir, telah meningkat dalam beberapa dekade terakhir, meningkatkan pencucian, erosi tanah, dan limpasan pada tingkat yang mengkhawatirkan.

Data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa perubahan pola cuaca dapat mengakibatkan fluktiasi hasil pertanian. Hal ini sangat berpengaruh pada komoditas utama, seperti padi, jagung, dan kedelai, yang merupakan pangan pokok bagi masyarakat Indonesia. Dampak perubahan iklim ini tidak hanya terbatas pada aspek produksi, tetapi juga pada ketahanan sosial ekonomi masyarakat yang bergantung pada pertanian. Oleh karena itu, pemahaman yang lebih mendalam tentang dampak perubahan iklim ini sangat penting sebagai landasan untuk merumuskan strategi adaptasi yang efektif dan dapat lebih memahami seberapa besar risiko yang dihadapi oleh petani dan masyarakat yang bergantung pada sektor pertanian.

Penelitian menunjukkan bahwa suhu yang meningkat dapat memperpendek siklus pertumbuhan tanaman, mengurangi hasil panen, dan merusak kualitas tanah. Hal ini menjadi tantangan besar bagi petani yang bergantung pada pola cuaca yang telah mapan

selama bertahun-tahun. Beberapa riset menunjukkan bahwa secara historis, petani masih menghadapi kesulitan dalam beradaptasi dan merespons perubahan suhu dan curah hujan (Blanc & Reilly, 2017) sehingga perlu upaya-upaya yang lebih kuat untuk menghadapi perubahan iklim. Dalam hal ini, peranan prediksi iklim menjadi sangat vital untuk membantu para petani, peneliti, dan pembuat kebijakan dalam merumuskan langkah-langkah strategis yang diperlukan untuk memastikan ketahanan pangan pada masa depan. Dalam konteks ini, prediksi iklim menjadi sangat penting untuk membantu petani dan pemangku kepentingan merencanakan strategi yang tepat dalam menghadapi kondisi yang tidak menentu (Charalampopoulos & Droulia, 2024). Peranan prediksi iklim juga menjadi kunci untuk merencanakan dan mengelola sumber daya pertanian dengan lebih efektif. Dengan informasi yang akurat mengenai kondisi iklim pada masa yang akan datang, para petani dapat mengambil keputusan yang lebih baik mengenai waktu tanam, jenis tanaman yang akan ditanam, serta teknik pengelolaan yang diperlukan untuk meminimalkan risiko.

Berbagai pihak terkait—terutama pemerintah—melakukan berbagai pendekatan adaptasi untuk meningkatkan produktivitas dan untuk menjaga keberlanjutan lingkungan. Adaptasi bukan hanya sekadar respons terhadap perubahan yang terjadi, melainkan juga merupakan langkah proaktif untuk mengurangi kerentanan terhadap dampak perubahan iklim. Misalnya, penggunaan sistem irigasi yang efisien dan pengelolaan sumber daya air yang baik dapat membantu petani menghadapi kekeringan. Selain itu, pelatihan dan pendidikan bagi petani mengenai praktik pertanian yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk meningkatkan ketahanan pangan. Adaptasi dalam konteks pertanian pada umumnya mencakup sejumlah strategi, mulai dari pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap kondisi ekstrem, hingga penerapan praktik pertanian berkelanjutan. Pengetahuan tentang teknik pengelolaan air, pemupukan yang efisien, dan rotasi tanaman akan menjadi bagian penting dari diskusi ini. Dengan pendekatan adaptasi yang tepat, kita dapat meningkatkan ketahanan pangan dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Hal lain yang penting

untuk dipertimbangkan juga adalah bahwa setiap daerah bersifat unik sehingga riset-riset di berbagai daerah mutlak diperlukan agar strategi dan program-program yang diterapkan menjadi efektif dan efisien.

B. Beberapa Persoalan dalam Prediksi Iklim

Prediksi iklim telah berkembang mulai lebih dari satu abad yang lalu, diawali oleh Joseph Fourier tahun 1824 yang menjelaskan efek rumah kaca, dilanjutkan oleh John Tyndall pada tahun 1859 yang berhasil mengidentifikasi gas-gas tertentu, seperti uap air dan karbon dioksida sebagai gas rumah kaca utama. Tahun 1896 Svante Arrhenius mengungkapkan bagaimana menghitung dampak peningkatan karbon dioksida pada suhu Bumi dan memperkirakan bahwa penggandaan kadar CO₂ dapat menghangatkan planet ini secara signifikan. Perhitungan-perhitungan efek rumah kaca tersebut terus berkembang dan menjadi salah satu dasar dalam perhitungan model-model atmosfer dan prediksi iklim.

Prediksi cuaca numerik mulai berkembang pada 1950-an, yang meletakkan dasar-dasar pemodelan iklim modern. *General circulation models* (GCM) berhasil menyimulasikan sistem iklim Bumi dan telah menjadi makin canggih, menggabungkan interaksi antara atmosfer, lautan, daratan, dan lapisan es. Berbagai kemajuan dan kebutuhan dalam pemodelan dan prediksi iklim, mendorong berbagai negara untuk membentuk Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC dibentuk oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 1988 yang bertujuan untuk mengevaluasi ilmu pengetahuan terkait perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

Pada dekade terakhir, sistem komputasi yang ada telah memungkinkan simulasi iklim yang lebih terperinci dan akurat. Bersama dengan perkembangan sistem pengamatan dengan satelit dan kecerdasan buatan, sistem prediksi iklim terus mengalami peningkatan resolusi dan akurasi.

Dengan pesatnya perkembangan teknologi komputasi dan pengindraan jauh, tidak berarti bahwa pengembangan sistem prediksi

iklim berjalan tanpa masalah. Prediksi iklim merupakan bidang yang kompleks dengan beberapa tantangan. Berikut ini adalah beberapa masalah utama yang dihadapi berbagai negara untuk memperoleh akurasi yang lebih baik.

- 1) Pemahaman yang tidak lengkap tentang sistem bumi. Pengetahuan kita tentang interaksi antara atmosfer, lautan, daratan, dan es masih terus berkembang melalui berbagai riset. Pemahaman mengenai sistem interaksi ini sangat penting untuk memperoleh hasil prediksi iklim yang akurat.
- 2) Variabilitas alami. Sistem iklim memiliki variabilitas yang inheren pada skala waktu yang berbeda (misalnya, musiman, antartahunan, dan dekade). Variabilitas ini dapat mengaburkan tren jangka panjang dan membuat prediksi menjadi lebih sulit.
- 3) Keterbatasan model. Model iklim merupakan alat yang penting, tetapi memiliki keterbatasan. Model bergantung pada perkiraan dan asumsi yang dapat menimbulkan kesalahan. Selain itu, model yang berbeda dapat menghasilkan hasil yang berbeda untuk skenario yang sama.
- 4) Kualitas dan ketersediaan data. Untuk menghasilkan prediksi iklim yang akurat memerlukan data observasional berkualitas tinggi. Namun, terdapat kesenjangan dalam cakupan data, terutama di daerah terpencil. Kesalahan pengukuran dan bias dalam instrumen observasional juga menimbulkan tantangan.
- 5) Keterbatasan prediktibilitas. Terdapat batasan teoretis sejauh mana kita dapat memprediksi iklim secara akurat pada masa mendatang. Kesalahan kecil pada kondisi awal dapat bertambah seiring waktu, yang menyebabkan ketidakpastian signifikan dalam prediksi jangka panjang.
- 6) Pengaruh manusia. Memprediksi iklim masa depan juga melibatkan estimasi aktivitas manusia pada masa depan, seperti emisi gas rumah kaca, perubahan penggunaan lahan, dan kemajuan teknologi. Faktor-faktor ini sangat tidak pasti dan dapat berdampak signifikan pada hasil prediksi iklim.

Meskipun terdapat berbagai tantangan ini, kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi iklim terus meningkatkan kemampuan kita untuk memprediksi dan memahami perubahan iklim. Selain itu, sebuah prediksi iklim tidak akan menjadi sebuah alat yang berharga apabila tidak diiringi oleh langkah-langkah bagaimana menyikapinya. Pengembangan langkah-langkah strategi adaptasi dan mitigasi merupakan langkah nyata untuk menyikapi apa yang dihasilkan dari sistem prediksi yang telah dilakukan dan memberikan kebermanfaatan terhadap berbagai sektor.

C. Mencari Jalan Menuju Ketahanan Pangan

Peningkatan ketahanan pangan bukan merupakan persoalan yang sederhana, tetapi menjadi tantangan kompleks dan memerlukan keberlanjutan. Ketahanan pangan tidak dapat dicapai hanya oleh tingginya tingkat produktivitas pertanian, tetapi harus ditunjang oleh praktik-praktik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, kemampuan untuk beradaptasi terhadap perubahan iklim, dukungan sistem rantai pasokan yang optimal, dukungan kebijakan dan sistem tata kelola, riset dan inovasi, serta upaya-upaya lainnya yang melibatkan berbagai pihak. Peningkatan produktivitas pertanian mutlak diperlukan untuk memenuhi permintaan pangan yang terus meningkat. Upaya ini termasuk mengadopsi teknik pertanian modern, meningkatkan varietas tanaman, dan memanfaatkan teknologi pertanian presisi. Praktik berkelanjutan diperlukan untuk meminimalkan dampak buruk praktik-praktik pertanian terhadap lingkungan, seperti penghematan air, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan menjaga keseimbangan nutrisi tanah. Beradaptasi dengan perubahan iklim pun menjadi strategi yang tidak dapat diabaikan karena perubahan iklim menimbulkan ancaman signifikan terhadap ketahanan pangan dengan memengaruhi hasil panen, ketersediaan air, dan frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Dalam hal ini, mengembangkan tanaman dan praktik pertanian yang tahan iklim menjadi opsi yang sangat penting. Semua hal tersebut, tidak lepas dari proses riset dan inovasi dalam mengembangkan teknologi dan praktik baru yang dapat

meningkatkan ketahanan pangan. Hal ini termasuk bioteknologi, pertanian digital, metode pertanian berkelanjutan, dan riset-riset yang mendukung peningkatan pemahaman terhadap interaksi alam dan sistem prediksi yang lebih baik.

Sistem prediksi iklim yang diperlukan untuk menunjang sistem pertanian dan ketahanan pangan nasional adalah sistem prediksi yang andal dengan akurasi dan resolusi yang sesuai tingkatan pengambilan keputusan. Kebijakan-kebijakan yang bersifat lokal tentunya akan membutuhkan data prediksi yang lebih resolusi waktu dan resolusi spasial yang tinggi. Dengan demikian, persoalan-persoalan yang menentukan keakuratan dan resolusi perlu terus diurai dan dipecahkan bersama oleh berbagai pemangku kepentingan.

Buku ini menyajikan berbagai perspektif tentang peranan prediksi iklim dalam mendukung ketahanan pangan. Melalui analisis mendalam mengenai dampak perubahan iklim, upaya adaptasi yang diperlukan, serta teknologi yang dapat digunakan, naskah ini akan membahas tantangan yang dihadapi serta solusi yang dapat diimplementasikan.

Bab II dari buku ini membahas secara mendalam mengenai dampak perubahan iklim pada sektor pertanian. Penulis menunjukkan bahwa perubahan suhu dan pola curah hujan yang tidak menentu dapat mengganggu pertumbuhan tanaman yang pada gilirannya berpengaruh terhadap hasil panen. Fenomena cuaca ekstrem, seperti banjir, kekeringan, dan serangan hama, makin sering terjadi dan menyebabkan kerugian besar bagi petani. Selain itu, penulis juga menguraikan berbagai pendekatan adaptasi untuk meningkatkan produktivitas dan untuk menjaga keberlanjutan lingkungan. Adaptasi bukan hanya sekadar respons terhadap perubahan yang terjadi, melainkan juga merupakan langkah proaktif untuk mengurangi kerentanan terhadap dampak perubahan iklim. Misalnya, penggunaan sistem irigasi yang efisien dan pengelolaan sumber daya air yang baik dapat membantu petani menghadapi kekeringan. Selain itu, pelatihan dan pendidikan bagi petani mengenai praktik pertanian yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk meningkatkan ketahanan pangan.

Bab III memberikan pembahasan yang spesifik mengenai pengaruh kondisi iklim terhadap pertanian padi dan jagung di Nusa Tenggara Timur (NTT). Nusa Tenggara Timur (NTT), sebuah provinsi di Indonesia yang dikenal dengan keindahan alam dan keragaman budayanya, juga menghadapi tantangan serius terkait pola curah hujan dan indeks kekeringan. Penulis mengkaji pola curah hujan dan analisis indeks kekeringan di NTT, serta klasifikasi iklimnya, untuk memahami interaksi antara iklim dan pertanian. Dengan mempelajari fenomena ini, diharapkan dapat ditemukan solusi adaptasi yang efektif bagi masyarakat agraris di NTT sehingga mereka dapat mempertahankan dan meningkatkan produktivitas pertanian dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

Bab IV membahas seputar pemodelan untuk prediksi iklim. Dalam era perubahan iklim yang makin nyata, pemahaman terhadap model iklim menjadi makin penting. Model iklim, yang awalnya merupakan pengembangan dari prediksi cuaca, memiliki sejarah panjang yang dimulai pada tahun 1940-an. Vilhelm Bjerknes, seorang ilmuwan meteorologi, menjadi pelopor dalam pendekatan matematis untuk memprediksi cuaca, menekankan perlunya memahami sirkulasi atmosfer melalui persamaan fisika. Sejak saat itu, berbagai inovasi dan kolaborasi ilmiah telah membentuk perkembangan model iklim, dari penggunaan komputer pertama untuk simulasi sirkulasi global hingga teori *chaos* yang menambah kompleksitas prediksi atmosfer. Melalui bab ini, penulis memberikan hasil penelusurannya mengenai evolusi model iklim, dari pencapaian awal hingga inovasi terkini, serta bagaimana berbagai lembaga penelitian di seluruh dunia berkontribusi dalam menciptakan pemahaman yang lebih baik tentang iklim kita. Dalam konteks ini, akan dibahas berbagai jenis model yang digunakan oleh ilmuwan untuk menganalisis dan memprediksi pola cuaca, serta bagaimana hasil model ini dapat diterapkan dalam perencanaan pertanian. Selain itu, penting untuk memahami bahwa model iklim harus terus diperbarui dan disesuaikan dengan data terbaru untuk memastikan akurasi prediksi.

Bab V membahas lebih jauh bagaimana perkembangan metode prediksi iklim yang mengarah pada perbaikan akurasi data hasil prediksi. Penulis mengulas inovasi terbaru dalam teknik dan alat prediksi yang dapat mendukung sistem pengambilan keputusan untuk meningkatkan ketahanan pangan. Teknologi ini diharapkan tidak hanya dapat meningkatkan akurasi prediksi, tetapi juga membantu dalam analisis data yang lebih kompleks. Dengan penerapan metode terbaru ini, sektor pertanian dapat beradaptasi dengan lebih cepat dan efisien terhadap perubahan iklim yang terjadi. Penggunaan teknologi, seperti kecerdasan buatan dan analisis *big data*, memungkinkan kita untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat dan *real-time* mengenai kondisi iklim. Dengan menggunakan berbagai metode, dari yang berbasis statistik hingga model dinamik yang canggih, teknologi ini menyediakan data tentang anomali iklim dan curah hujan yang esensial untuk perencanaan pertanian. Di tengah ketidakpastian yang disebabkan oleh perubahan iklim dan fenomena global, seperti ENSO, pendekatan prediksi yang terintegrasi dan berbasis data menawarkan harapan untuk meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian.

Bab VI memuat uraian bagaimana operasional analisis dan prediksi musim di Indonesia. Sistem analisis dan prediksi musim yang operasional menjadi hal yang krusial. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) berperan penting dalam merumuskan prediksi musim yang akurat untuk membantu masyarakat dan pemerintah dalam merencanakan aktivitas pembangunan. Melalui serangkaian tahapan yang terstruktur, mulai dari penyiapan rancangan hingga pemutakhiran informasi, BMKG tidak hanya memberikan data kuantitatif, tetapi juga mempertimbangkan berbagai faktor ilmiah dan sosial. Bab ini juga mengupas tahapan-tahapan dalam pembuatan prediksi musim di BMKG, menjelaskan metode yang digunakan, dan menggambarkan bagaimana informasi ini disebarluaskan untuk memberikan manfaat maksimal kepada masyarakat, serta pihak-pihak mana saja yang terlibat dalam pengolahan, analisis, dan validasi datanya.

Bab VII membahas digitalisasi untuk prediksi iklim. Di tengah tantangan perubahan iklim yang makin mendesak, digitalisasi muncul sebagai alat penting untuk mengatasi dampak lingkungan dan memastikan keberlanjutan. Data iklim, yang mencatat pola atmosfer, lautan, dan lingkungan selama bertahun-tahun, menjadi dasar bagi analisis dan perencanaan yang lebih baik. Dengan teknologi mutakhir, seperti sensor, *internet of things* (IoT), dan kecerdasan buatan, kita dapat mengumpulkan dan menganalisis data dengan lebih efisien sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Dalam bab ini juga dibahas bagaimana digitalisasi dapat memfasilitasi mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim melalui pengelolaan data yang lebih baik, serta aplikasinya dalam prediksi iklim dan manajemen pertanian. Dengan pendekatan kolaboratif yang didukung oleh data yang kuat, kita dapat meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim dan mewujudkan masa depan yang lebih berkelanjutan.

Bab VIII menunjukkan salah satu kompleksitas pemodelan deret waktu untuk cuaca. Pemodelan deret waktu untuk cuaca merupakan metode kompleks yang digunakan untuk menganalisis data cuaca historis. Dalam bab ini, penulis mengupas bagaimana pemodelan ini dapat memberikan wawasan tentang kelembapan relatif dan penyinaran matahari. Memahami kompleksitas ini adalah langkah penting untuk mengembangkan model prediksi yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Dengan mengangkat kasus di Kota Bandung, bab ini juga menyoroti pentingnya mencermati beberapa kesalahan hasil prediksi mengenai kelembapan dan durasi penyinaran dalam pertanian. Hal ini penting untuk menjaga konsistensi logis nilai parameter iklim. Dalam bab ini, disampaikan salah satu teknik bagaimana menjaga konsistensi logis tersebut.

Bab IX menyajikan pemodelan ekstrapolasi profil kelembapan dari pengamatan GNSS-RO. Teknologi GNSS dan pengamatan *radio occultation* (RO) memberikan kesempatan baru dalam memodelkan kelembapan atmosfer. Dalam bab ini, kita akan membahas bagaimana teknik ini digunakan untuk memperkirakan total kandungan uap air

di atmosfer dan bagaimana data ini dapat digunakan untuk meningkatkan sistem prediksi iklim. Pada bab ini juga diberikan penjelasan tentang keterbatasan balon radiosonde dan keuntungan dari pengamatan menggunakan GNSS-RO, seperti resolusi yang lebih tinggi, memberikan konteks yang kuat bagi pembaca mengenai pentingnya inovasi ini. Data yang diperoleh dari GNSS-RO, yang mencapai ketinggian hingga 50 km dengan resolusi tinggi, menegaskan keunggulan teknologi ini. Bab ini juga memberikan informasi mengenai pengaruh signifikan dari data RO terhadap sistem *numerical weather prediction* (NWP) di berbagai lembaga meteorologi. Ini menunjukkan validitas dan aplikasi praktis dari teknologi ini dalam meningkatkan akurasi prediksi cuaca, yang penting untuk berbagai sektor, termasuk pertanian.

Bab X memuat bahasan mengenai Early Warning System (EWS) Perlindungan Hortikultura dan Pengelolaan Tanam Komoditas Strategis (SIPANTARA). EWS ini merupakan aplikasi yang dibangun oleh Direktorat Jenderal Hortikultura, Kementerian Pertanian, dengan tujuan untuk memberi dukungan kepada berbagai *stakeholder* yang menangani pengembangan hortikultura dalam menentukan strategi mitigasi dampak perubahan iklim. Dalam SIPANTARA disajikan informasi iklim, DPI (data banjir dan kekeringan, baik data *real-time* maupun prediksinya), serta data OPT.

Bab XI memuat uraian bagaimana pertanian cerdas iklim atau *climate-smart agriculture* (CSA) menjadi sebuah pendekatan yang dilakukan untuk mencapai pembangunan pertanian berkelanjutan. Pertanian cerdas iklim juga bertujuan untuk menyusun strategi adaptasi yang tepat, serta bagaimana aktivitas pertanian dapat berkontribusi dalam mengatasi permasalahan meningkatnya gas rumah kaca (GRK) di atmosfer dan menetapkan langkah mitigasi yang dapat menurunkan emisi GRK dari praktik sistem pertanian. Konsep pertanian cerdas iklim menjadi makin relevan dalam konteks ketahanan pangan, yang memberikan berbagai strategi untuk mencapai emisi nol dalam sektor pertanian, termasuk praktik pengelolaan yang berkelanjutan dan inovatif. Dengan integrasi teknologi dan

pendekatan yang lebih efisien, kita dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan tetap menjaga produktivitas pertanian. Konsep pertanian cerdas iklim juga memungkinkan mengintegrasikan kearifan lokal dengan pendekatan modern dalam menghadapi perubahan iklim. Dalam bab ini diangkat kasus di Lampung Barat, yang memberi wawasan berharga mengenai praktik pertanian cerdas iklim.

Bab XII mendeskripsikan salah satu opsi bagaimana transformasi pertanian padi Indonesia dilakukan. Sistem padi aerobik dapat menjadi pilihan utama jalur transformatif menuju praktik pertanian berkelanjutan yang memiliki relevansi global, memberikan pondasi penting bagi pendekatan pertanian inovatif dalam menghadapi tantangan mendesak pada saat ini dan pada masa depan. Dalam pembahasannya ditunjukkan bahwa emisi metana berkontribusi secara signifikan terhadap pemanasan global dalam konteks pertanian. Budi daya padi, yang sering dilakukan di lahan tergenang, menciptakan kondisi anaerobik yang ideal untuk produksi metana. Data menunjukkan bahwa sektor ini menyumbang sekitar 12% dari emisi metana antropogenik global. Penjelasan mengenai model-model simulasi terkait skenario iklim untuk memprediksikan konsentrasi metana, seperti MERES, DAYCENT, DNDC, dan DSSAT, sangat informatif. Masing-masing model memiliki pendekatan unik untuk menyimulasikan emisi metana dari lahan padi dan mempertimbangkan variabel, seperti iklim, tanah, dan praktik pertanian.

Melalui buku ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pentingnya prediksi iklim dalam mendukung ketahanan pangan. Dengan mengintegrasikan berbagai aspek yang dibahas, kita dapat bersama-sama merumuskan langkah-langkah yang diperlukan untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih tangguh, berkelanjutan, dan mampu menghadapi tantangan iklim pada masa depan. Ketahanan pangan tidak hanya menjadi tanggung jawab petani, tetapi juga menjadi tanggung jawab kita bersama sebagai masyarakat untuk menjamin masa depan yang lebih baik bagi generasi yang mendatang.

Referensi

- Alkorta, I., Epelde, L., & Garbisu, C. (2017). Environmental parameters altered by climate change affect the activity of soil microorganisms involved in bioremediation. *FEMS Microbiology Letters*, 364(19). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx200>
- Baldrian, P., López-Mondéjar, R., & Kohout, P. (2023). Forest microbiome and global change. *Nature Reviews Microbiology*, 21(8), 487–501. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00876-4>
- Blanc, E., & Reilly, J. (2017). Approaches to assessing climate change impacts on agriculture: An overview of the debate. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(2). <https://www.journals.uchicago.edu/doi/epdf/10.1093/reep/rex011>
- Charalampopoulos, I., & Droulia, F. (2024). A pathway towards climate services for the agricultural sector. *Climate*, 12(2), 18. <https://doi.org/10.3390/cli12020018>
- Eftekhari, M. S. (2022). Impacts of climate change on agriculture and horticulture. Dalam S. A. Bandh (Ed.), *Climate change: The social and scientific construct* (117–131). Springer.
- Garbisu, C., Alkorta, I., Kidd, P., Epelde, L., & Mench, M. (2020). Keep and promote biodiversity at polluted sites under phytomanagement. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 44820–44834. <https://doi.org/10.1007/S-11356-020-10854-5>
- Hung, H., Halsall, C., Ball, H., Bidleman, T., Dachs, J., De Silva, A., Hermanson, M., Kallenborn, R., Muir, D., Sühring, R., Wang, X., & Wilson, S. (2022). Climate change influence on the levels and trends of persistent organic pollutants (POPs) and chemicals of emerging Arctic concern (CEACs) in the Arctic physical environment – a review. *Environmental Science Processes & Impacts*, 24(10), 1577–1615. <https://doi.org/10.1039/d1em00485a>
- Porter, J. R., & Semenov, M. A. (2005). Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 360(1463), 2021–2035. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1752>
- Wing, I. S., De Cian, E., & Mistry, M. N. (2021). Global vulnerability of crop yields to climate change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 109, 102462. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102462>