

# Adaptasi Pertanian dalam Menghadapi Perubahan Iklim: Peluang Dan Tantangan

Taufiq Ihsan<sup>1\*</sup>, Vioni Derosya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang,

<sup>2</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas, Padang

\*Koresponden email: taufiqihsan@eng.unand.ac.id

Diterima: 18 September 2024

Disetujui: 23 September 2024

## Abstract

Climate change is reported to have huge potential impacts on global agriculture, which vary by geographical region, crop or livestock type, and by the nature of the climatic changes. This paper reviews the relevant literature to determine how the economic impacts of climate change on the agricultural sector are compounded and specified at the regional level. The results show that rising temperatures generally reduce crop yields, and that the negative effects can sometimes be offset by increased precipitation. The winners and losers of climate change will vary geographically, but net yield losses are more likely in warmer semi-arid regions. This review also covers some of the methods used to assess the economic impacts of climate change on agriculture, such as experimental and cross-sectional studies and the Ricardian approach - each with its strengths and limitations. It also discusses the need for mitigation and adaptation strategies in the face of the challenges posed by climate change and highlights the need for context-specific approaches. The review concludes with a call for further research into rainfall patterns, the duration of natural disasters and the specific impacts of climate change on crop yields and nutrition.

**Keywords:** *agriculture, climate change, economic impacts, adaptation strategies, food security*

## Abstrak

Perubahan iklim dilaporkan mempunyai potensi dampak yang sangat besar terhadap pertanian di seluruh dunia, yang berbeda-beda berdasarkan wilayah geografis dan tanaman atau jenis ternak yang dipelihara, serta sifat perubahan iklim. Dalam makalah ini, literatur yang relevan dikaji untuk mengetahui bagaimana dampak ekonomi dari perubahan iklim terhadap sektor pertanian digabungkan dan dijelaskan pada tingkat regional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu secara umum menurunkan hasil panen, dan dampak negatifnya terkadang dapat diimbangi dengan peningkatan curah hujan. Pihak yang diuntungkan dan dirugikan dalam perubahan iklim akan berbeda secara geografis, namun penurunan hasil panen lebih mungkin terjadi di wilayah semi-kering yang hangat. Tinjauan ini juga mencakup beberapa metode yang digunakan dalam menilai dampak ekonomi perubahan iklim terhadap pertanian, seperti studi eksperimental dan potong-lintang serta pendekatan Ricardian—yang masing-masing memiliki kekuatan dan keterbatasannya masing-masing. Selanjutnya, kajian ini menguraikan persyaratan strategi mitigasi dan adaptasi mengingat tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan iklim dan memunculkan pendekatan berbasis konteks persyaratan. Tinjauan ini diakhiri dengan seruan untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pola curah hujan, durasi bencana alam, dan dampak spesifik perubahan iklim terhadap hasil panen dan nutrisi.

**Kata Kunci:** *pertanian, perubahan iklim, dampak ekonomi, strategi adaptasi, ketahanan pangan*

## 1. Pendahuluan

Hubungan antara iklim dan pertanian dengan cepat muncul sebagai salah satu bidang terpenting dalam wacana kontemporer, terutama karena bidang ini merupakan pekerjaan andalan bagi sebagian besar orang di seluruh dunia [1]. Sektor ini tidak hanya mencakup budidaya tanaman pangan dan hewan ternak, namun mencakup keseluruhan jaringan kegiatan yang berpusat pada kelangsungan hidup manusia dan perekonomian [2].

Urgensi untuk memahami hubungan ini datang dari meningkatnya kekhawatiran terhadap perubahan iklim dan dampak multi-aspeknya terhadap sistem pertanian di seluruh dunia. Perubahan iklim, yang ditunjukkan melalui perubahan pola suhu, pola curah hujan, dan meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem, telah meningkatkan ancaman terhadap produktivitas pertanian dan, akibatnya, ketahanan pangan global [3], [4].

Literatur dan penelitian telah menyaring secara rinci bagaimana perubahan iklim dapat mengganggu praktik dan hasil pertanian. Gangguan ini terjadi melalui: dampak negatif terhadap hasil panen, perubahan pola produksi ternak, gangguan rantai pasok barang vital, dan perubahan keseimbangan hidrologi [5]–[7]. Gangguan-gangguan tersebut mempunyai konsekuensi di berbagai tingkatan, mulai dari dampak pribadi langsung terhadap petani dan komunitas mereka hingga tingkat tidak langsung yang berdampak pada struktur sosial ekonomi suatu negara dan wilayah.

Salah satu aspek penting yang menyebabkan masalah dalam memahami tingkat kerentanan pertanian terhadap perubahan iklim adalah sistem iklim dan praktik pertanian pada dasarnya bervariasi dan kompleks [8]. Perubahan iklim bervariasi di seluruh dunia, dan demikian pula dampaknya terhadap pertanian sehubungan dengan lokasi geografis, jenis tanaman, dan sifat serta besarnya perubahan iklim. Variabilitas inilah yang menuntut pemahaman dan penanganan yang tepat terhadap tantangan perubahan iklim terhadap sektor pertanian [9].

Sektor pertanian sendiri merupakan salah satu sistem adaptif dinamis di mana petani dan produsen selalu menyesuaikan praktik mereka terhadap perubahan lingkungan, kekuatan pasar, dan perkembangan teknologi [10]. Semua kemampuan beradaptasi ini menambah kompleksitas pada studi dampak perubahan iklim karena hal ini memerlukan pemahaman tidak hanya dampak biofisik langsung dari perubahan iklim namun juga respons sosial ekonomi dan perilaku tidak langsung dari para pemangku kepentingan yang terkait dengan pertanian.

Dibutuhkan lebih dari itu jika pertanian ingin berhasil menegosiasikan kompleksitas ini, dan merancang metodologi yang memungkinkan pengurangan dampak negatif perubahan iklim terhadap pertanian. Pendekatan ini harus bersifat komprehensif, integratif, berdasarkan tinjauan mendalam terhadap literatur ilmiah yang ada, konteks sosial ekonomi pertanian yang beragam dan dipahami melalui komitmen interdisipliner di antara para peneliti, pembuat kebijakan, dan praktisi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan kerangka kerja baru untuk menilai dampak ekonomi perubahan iklim terhadap pertanian di negara-negara berkembang, dengan fokus pada kerentanan dan kapasitas adaptasi petani skala kecil. Melalui sintesis kritis atas pengetahuan dan literatur sebelumnya, artikel tinjauan ini memberikan pandangan menyeluruh tentang pemahaman yang ada, tentang bagaimana variabilitas iklim mempengaruhi sistem pertanian. Kajian ini juga membahas secara spesifik seputar implikasi ekonomi dari perubahan iklim terhadap sektor pertanian dengan menilai dampak negatif dan positifnya.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan tinjauan literatur yang komprehensif untuk mensintesis pengetahuan dan penelitian yang ada mengenai dampak perubahan iklim terhadap pertanian, dengan penekanan khusus pada implikasi ekonominya. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada beberapa database ilmiah terkemuka, termasuk Web of Science, ScienceDirect, DOAJ, Garuda, dan Google Scholar. Untuk memastikan cakupan literatur yang luas dan relevan, berbagai kata kunci dan kombinasi kata kunci digunakan, termasuk "perubahan iklim", "pertanian", "dampak ekonomi", "strategi adaptasi", "mitigasi", "ketahanan pangan", "produksi tanaman", "produksi ternak", "model iklim", "penilaian risiko", "climate change", "agriculture", "economic impact", "adaptation strategies", "mitigation", "food security", "crop production", "livestock production", "climate models" dan "risk assessment".

Kriteria inklusi dan eksklusi diterapkan dalam pemilihan studi. Studi yang membahas dampak ekonomi perubahan iklim pada sektor pertanian, menggunakan metodologi kuantitatif atau kualitatif, dan diterbitkan dalam jurnal ilmiah yang ditinjau oleh rekan sejawat atau laporan terkemuka dipertimbangkan untuk dimasukkan. Studi yang tidak secara eksplisit membahas dampak ekonomi, tidak memiliki metodologi yang jelas, atau diterbitkan dalam sumber yang tidak memiliki reputasi ilmiah yang baik dikeluarkan dari tinjauan ini. Pencarian literatur mencakup publikasi dari tahun 1990 hingga 2024 untuk memastikan relevansi dengan perkembangan terbaru dalam bidang ini.

Informasi yang relevan dari setiap studi yang dipilih diekstraksi mencakup desain studi, lokasi geografis, jenis tanaman atau ternak, variabel iklim yang dipertimbangkan, hasil ekonomi, dan strategi adaptasi yang dibahas atau diterapkan. Kualitas setiap studi dinilai menggunakan alat penilaian kualitas yang telah ditetapkan, mempertimbangkan faktor-faktor seperti desain studi, metodologi, analisis data, dan potensi bias. Data yang diekstraksi dan dinilai kualitasnya kemudian disintesis untuk mengidentifikasi tren, pola, dan kesenjangan dalam literatur yang ada, membentuk dasar dari analisis dan diskusi dalam tinjauan ini.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### *Respon Tanaman dan Peternakan terhadap Perubahan Iklim*

Dampak perubahan iklim terhadap produksi pertanian berbeda-beda menurut wilayah dan jenis tanaman yang berbeda. Seperti yang baru-baru ini ditunjukkan, tanaman sangat sensitif bahkan terhadap perubahan kecil dalam ketersediaan air dan suhu. Misalnya, Masutomi et al. [11] memperkirakan dampak perubahan iklim terhadap produksi beras di Asia. Mereka telah menunjukkan bahwa, meskipun kekeringan, yang diperparah oleh pemanasan global, dapat meningkatkan potensi evapotranspirasi dan variasi curah hujan, dampak aktualnya terhadap hasil panen masih terbatas pada tingkat yang relatif rendah.

Sebaliknya, Deressa et al. [12] mengevaluasi hubungan antara perubahan iklim dan produksi tebu di Afrika Selatan dan menetapkan bahwa kenaikan suhu berkorelasi negatif dengan hasil tebu. Studi lain yang dilakukan oleh Gbetibouo dan Hassan [13] mengevaluasi kerentanan lahan pertanian di Afrika terhadap perubahan iklim dan menyimpulkan bahwa produksi tanaman lapangan lebih rentan terhadap variabilitas suhu dibandingkan curah hujan.

Wasko et al. [14] berfokus pada iklim global yang relatif lebih hangat dan menemukan bahwa, meskipun peningkatan suhu dan curah hujan pada tahap awal mungkin berdampak positif, peningkatan suhu dan curah hujan lebih lanjut daripada titik tertentu menyebabkan penurunan pendapatan bersih pertanian. Sebaliknya, Wang et al. [15] mengamati bahwa kenaikan suhu di Cina mungkin tidak berbahaya dalam jangka pendek karena sebagian besar wilayah di sana relatif dingin, namun pemanasan lebih lanjut mungkin berdampak negatif pada wilayah tadah hujan.

Penelitian lain juga menyoroti interaksi yang kompleks antara suhu, curah hujan, dan parameter input pertanian lainnya. Menurut Parthasarathi et al. [16], kenaikan suhu rata-rata sebesar 1°C dapat mengurangi penggunaan pupuk sebesar 4,5 persen. Akhtar [17] memperkirakan bahwa sehubungan dengan suhu musim gugur yang lebih tinggi, terdapat kerugian di Asia Selatan dan Tenggara, dan secara keseluruhan, terdapat dampak buruk dari suhu yang lebih tinggi di wilayah tersebut. Namun, di negara-negara Asia tropis, kombinasi suhu yang lebih tinggi dan curah hujan selama musim panas dapat meningkatkan produktivitas pertanian.

Deressa et al. [12] secara ringkas merangkum bahwa peningkatan suhu sebesar satu unit selama musim panas akan menurunkan pendapatan bersih pertanian sekitar USD 177,62, sementara peningkatan suhu serupa selama musim dingin diperkirakan menyebabkan penurunan yang lebih parah sebesar USD 464,70. Peningkatan kecil curah hujan selama musim semi sebesar satu unit diperkirakan menambah pendapatan riil sebesar USD 225,09. Interaksi kenaikan suhu dan penurunan curah hujan merupakan kombinasi yang paling merugikan bagi pertanian Etiopia.

Nasr Ahmed et al. [18] mengevaluasi dampak ekonomi perubahan iklim pada pertanian Mesir, dan menyimpulkan bahwa fenomena ini menimbulkan bahaya besar terhadap produksi tanaman. Mano dan Nhemachena [19] berkomentar bahwa "secara umum, meskipun peningkatan curah hujan menguntungkan produksi tanaman, suhu tinggi justru merugikan produksi tanaman".

Kabubo-Mariara dan Karanja [20], melaporkan bahwa peningkatan suhu selama musim panas, menurunkan pendapatan bersih pertanian. Sedangkan peningkatan suhu selama musim dingin, meningkatkan pendapatan bersih pertanian. Mereka lebih lanjut melaporkan bahwa di sektor pertanian di Kenya, perubahan suhu lebih penting dibandingkan dengan perubahan curah hujan. Hu et al. [7] menemukan bahwa kenaikan suhu berdampak buruk pada hasil panen, namun curah hujan di musim panas dan musim dingin dapat berdampak positif pada hasil panen.

Ojo dan Baiyegunhi [21] menyimpulkan bahwa pengaruh variabel iklim terhadap tanaman padi di Nigeria sangat serius. Sekali lagi, hasil-hasil ini menekankan bahwa perubahan iklim dapat mempunyai dampak yang sangat kompleks dan bersifat regional terhadap pertanian, sehingga memerlukan strategi adaptasi yang disesuaikan

Dampak kenaikan suhu terhadap produktivitas pertanian berbeda-beda antara tipe pertanian lahan kering dan irigasi. Secara umum, pada pertanian lahan kering, dampak kenaikan suhu berdampak buruk, sedangkan pada pertanian beririgasi, dampaknya positif. Curah hujan juga sejalan dengan tren suhu, dimana biasanya curah hujan yang lebih tinggi berkontribusi pada hasil panen yang lebih baik. Secara khusus, Malhi et al. [22] menyatakan bahwa peningkatan suhu menurunkan pendapatan bersih pertanian dan mengurangi produksi tanaman, sementara peningkatan curah hujan menunjukkan efek positif.

Sebagian besar penelitian berupaya menghubungkan populasi ternak dengan dampak perubahan iklim global. Misalnya, suhu musim panas yang lebih hangat kemungkinan besar semakin menekan nafsu makan ternak. Menurut Rojas-Downing et al. [5], peningkatan suhu sebesar 5,0°C di Amerika mengakibatkan penurunan produksi ternak sebesar 10 persen. Seo et al. [23] mengevaluasi dampak

pemanasan global terhadap produksi ternak di Afrika. Dilaporkan bahwa dengan meningkatnya suhu, jumlah ternak berkurang di peternakan besar (berimplikasi pada berkurangnya pendapatan bersih per hewan), meskipun hal sebaliknya terjadi di peternakan kecil. Hal ini disebabkan oleh jenis ternak: peternakan besar lebih cenderung memelihara sapi potong yang memiliki toleransi lebih rendah terhadap suhu tinggi dibandingkan dengan jenis ternak lain seperti kambing dan peternakan kecil yang lebih cenderung mudah dipelihara. Sebaliknya, curah hujan yang tinggi mengurangi keuntungan bersih dan persediaan ternak di peternakan kecil dan besar karena kemungkinan berkembang biaknya penyakit dalam kondisi hangat dan basah. Banyak dari mereka bahkan meninggalkan peternakan dan fokus pada produksi tanaman setelah curah hujan membaik.

Senda et al. [24] melakukan simulasi untuk mengetahui dampak perubahan iklim global terhadap produksi ternak rangeland berdasarkan tiga model iklim global (global climate model). Menurut mereka, perubahan iklim akan menurunkan produksi ternak. Skenario perubahan iklim dikaitkan dengan penurunan produksi susu. Di sisi lain, Seo dan Mendelsohn [25] menunjukkan bahwa petani cenderung beralih ke peternakan yang lebih tahan panas dibandingkan bercocok tanam; oleh karena itu, pendapatan pertanian tetap terjaga meskipun ada kesulitan karena faktor iklim.

Pemanasan dapat berdampak positif pada produksi peternakan dan dapat membantu sektor ini dengan cara membantu mengkompensasi kerugian yang timbul akibat peningkatan suhu dalam produksi tanaman. Seo dan Mendelsohn [25] mencatat bahwa pemanasan lebih menguntungkan peternak skala kecil atau rumah tangga di Afrika dibandingkan operasi komersial yang lebih besar. Tibesigwa et al. [26] juga berpendapat bahwa zona pertanian campuran yang beririgasi dan peternakan tidak terlalu rentan terhadap pemanasan dibandingkan pertanian lahan kering. Hal ini merupakan situasi unik di Afrika Selatan: zona tanaman campuran dan peternakan, yang didominasi oleh pertanian skala kecil, lebih tahan terhadap pemanasan dibandingkan zona tanaman khusus dengan pertanian lahan kering intensif.

#### *Metode Penilaian Dampak Ekonomi*

Metode kuantitatif yang digunakan untuk memperkirakan dampak perubahan iklim meliputi studi eksperimental dan potong lintang/cross-sectional. Pendekatan berbasis eksperimen biasanya didasarkan pada model simulasi agroekonomi (*agro-economic simulation models*), yang telah dikembangkan dalam penelitian sebelumnya, di mana eksperimen terkontrol memvariasikan iklim dan faktor lain untuk mengamati respons dalam hal hasil; namun, Zhengfei et al. [27] dan Young et al. [28] menunjukkan kekurangan metode agronomi dalam fungsi produksi dan penerapannya untuk estimasi kerusakan. Salah satu kritik utama adalah asumsi perkiraan hasil dari percobaan terkontrol tidak disesuaikan dengan adaptasi praktik pertanian dan dilakukan dalam kondisi yang tidak realistis.

Sebagian besar penelitian terbaru berfokus pada metode respons adaptif [29]. Metode Ricardian digunakan dalam analisis ekonomi untuk mengamati variabel iklim, ekonomi, dan lingkungan yang mempengaruhi pendapatan bersih atau nilai tanah pertanian. Metode ini sangat umum digunakan dibandingkan metode lainnya karena sudah mencakup langkah-langkah adaptasi yang dilakukan petani terhadap perubahan iklim [30]–[32].

Terlepas dari kelebihan, pendekatan Ricardian telah dikritik karena gagal menangkap konsekuensi parameter utama yang berkontribusi terhadap perubahan pendapatan pertanian secara memadai. Secara khusus, metode ini dikaitkan dengan perkiraan yang terlalu rendah terhadap kerusakan dan perkiraan yang terlalu tinggi terhadap manfaat. Yang paling penting, asumsi harga konstan adalah kelemahan utamanya. Huong et al. [30] telah mengakui, namun berpendapat bahwa semua model agronomi memiliki kelemahan terkait harga.

#### *Strategi Mitigasi dan Adaptasi*

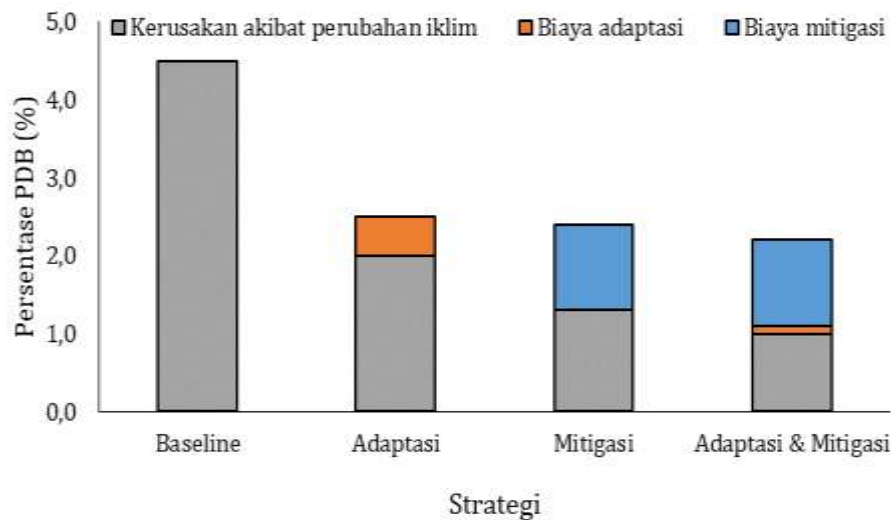
*The United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) menyajikan dua strategi besar dalam menghadapi tantangan perubahan iklim: mitigasi dan adaptasi [33]. Mitigasi mengacu pada intervensi yang dilakukan manusia dengan tujuan mengurangi emisi gas rumah kaca sehingga memperlambat perubahan iklim, sedangkan adaptasi mengacu pada penyesuaian sistem manusia dan alam agar lebih tahan terhadap kerusakan iklim saat ini atau yang diperkirakan terjadi. Meskipun mitigasi sering kali merupakan ranah tawar-menawar pemerintah dan internasional, adaptasi lebih cenderung pada pengelola sumber daya lokal, rumah tangga, dan perusahaan yang secara langsung menghadapi dampak perubahan iklim [34].

Dessai dan Hulme [35] dan Tol [36] menyatakan bahwa, bahkan dengan upaya mitigasi yang berat, perubahan iklim selama beberapa dekade sudah tidak dapat dihindari. Adaptasi saja dapat mengurangi namun tidak pernah menghilangkan dampak buruknya. Lebih jauh lagi, ketergantungan hanya pada

adaptasi, dapat meningkatkan perubahan iklim ke tingkat di mana adaptasi sangat mahal atau bahkan tidak mungkin dilakukan, sehingga menggagalkan tujuan adaptasi. Dalam hal ini, mitigasi dan adaptasi menjadi hal yang saling melengkapi fungsi terhadap perubahan iklim.

Meskipun adaptasi merupakan cara yang lebih ampuh dalam mengatasi masalah seperti kenaikan permukaan laut, mitigasi memang menawarkan upaya untuk meminimalkan total biaya dan kerusakan [37]. Di bidang pertanian, mitigasi dan adaptasi sama pentingnya karena kurangnya kinerja salah satu dari kedua elemen tersebut dapat berdampak negatif pada hasil panen. Lebih khusus lagi, tindakan yang paling tepat mungkin memerlukan gabungan tindakan mitigasi dan adaptasi yang relevan dengan konteks dan kerentanan tertentu [38], [39].

Menurut Howarth dan Robinson [40], setiap kebijakan pengendalian perubahan iklim yang efektif harus mengintegrasikan kebijakan mitigasi dan adaptasi. Dalam upaya mengatasi hal ini, Gambar 1 [41] menunjukkan bahwa mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut akan mengurangi dampak ekonomi dari perubahan iklim. Gambar tersebut menunjukkan besarnya dampak perubahan iklim terhadap PDB. Terlihat bahwa, dalam skenario yang berbeda, menurut model FAIR, biaya adaptasi, biaya mitigasi, dan sisa dampak/ kerusakan [41]. Hal ini pada akhirnya memberikan penekanan pada kerangka kebijakan komprehensif yang menangani pengurangan emisi gas rumah kaca—yang disebut mitigasi—dan kebutuhan untuk menyesuaikan sistem untuk mengatasi dampak perubahan iklim yang tidak dapat dihindari, yang disebut adaptasi.



**Gambar 1.** Dampak Ekonomi Perubahan Iklim dan Strategi Adaptasi/Mitigasi  
 Sumber: [41]

#### *Tantangan dan Keterbatasan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim di Indonesia*

Dalam sebagian besar kasus, negara-negara berkembang kekurangan inovasi dan sarana untuk menerapkan metode baru dalam beradaptasi terhadap perubahan iklim [42]. Misalnya saja di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pasar input dan output, infrastruktur yang kurang memadai, dan sektor-sektor lain yang belum berkembang sehingga mengurangi kemampuannya [43]. Keberhasilan dalam melaksanakan adaptasi, memerlukan ketersediaan modal fisik dan finansial lokal, pengetahuan teknis, dukungan, dan masukan seperti air dan pupuk. Terkadang, adaptasi menghasilkan dampak lingkungan lain yang tidak diinginkan. Misalnya, peningkatan produksi dapat berujung pada food loss [44], hingga meningkatkan penggunaan pestisida dan eksploitasi lahan marginal, yang selanjutnya dapat memperburuk kondisi lingkungan [45].

#### **4. Kesimpulan**

Tinjauan ini menyoroti kompleksitas dampak perubahan iklim terhadap pertanian, menekankan variabilitas dampak berdasarkan wilayah geografis, jenis tanaman, dan sifat perubahan iklim. Peningkatan suhu umumnya berdampak negatif pada hasil panen, sementara peningkatan curah hujan dapat memberikan efek positif. Dampak ekonomi dari perubahan iklim terhadap pertanian sangat signifikan, mempengaruhi petani, masyarakat, dan negara secara keseluruhan. Kemampuan petani untuk beradaptasi melalui penyesuaian praktik pertanian menjadi kunci dalam mengurangi dampak ekonomi ini. Penelitian lebih

lanjut diperlukan untuk mengatasi ketidakpastian terkait pola curah hujan, bencana alam, dan dampak spesifik perubahan iklim terhadap hasil panen dan nutrisi. Secara keseluruhan, tinjauan ini menekankan pentingnya mengembangkan strategi adaptasi dan mitigasi yang efektif dan berbasis konteks untuk memastikan ketahanan dan keberlanjutan pertanian dalam menghadapi perubahan iklim.

## 6. Referensi

- [1] P. Singh, A. Raj, and B. Yadav, "Impacts of Agriculture-Based Contaminants on Groundwater Quality BT - Sustainability of Water Resources: Impacts and Management," B. Yadav, M. P. Mohanty, A. Pandey, V. P. Singh, and R. D. Singh, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 249–261.
- [2] H. A. Prajapati and K. Yadav, "Impact of Climate Change on Global Agriculture : Challenges and Adaptation," vol. 14, no. 4, pp. 372–379, 2024, doi: 10.9734/IJECC/2024/v14i44123.
- [3] A. Robinson, J. Lehmann, D. Barriopedro, S. Rahmstorf, and D. Coumou, "Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate," *npj Clim. Atmos. Sci.*, vol. 4, no. 1, p. 45, 2021, doi: 10.1038/s41612-021-00202-w.
- [4] S. Bolan *et al.*, "Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events," *Sci. Total Environ.*, vol. 909, p. 168388, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388>.
- [5] M. M. Rojas-Downing, A. P. Nejadhashemi, T. Harrigan, and S. A. Woznicki, "Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation," *Clim. Risk Manag.*, vol. 16, pp. 145–163, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>.
- [6] C. M. Godde, D. Mason-D'Croz, D. E. Mayberry, P. K. Thornton, and M. Herrero, "Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence," *Glob. Food Sec.*, vol. 28, p. 100488, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>.
- [7] T. Hu *et al.*, "Climate change impacts on crop yields: A review of empirical findings, statistical crop models, and machine learning methods," *Environ. Model. Softw.*, vol. 179, p. 106119, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106119>.
- [8] T. Tanir, E. Yildirim, C. M. Ferreira, and I. Demir, "Social vulnerability and climate risk assessment for agricultural communities in the United States," *Sci. Total Environ.*, vol. 908, p. 168346, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168346>.
- [9] IPCC, "Climate change: a threat to human wellbeing and health of the planet. Taking action now can secure our future," <https://www.ipcc.ch/2022/02/28/pr-wgii-ar6/>, 2022. .
- [10] Y. Benitez-Alfonso *et al.*, "Enhancing climate change resilience in agricultural crops," *Curr. Biol.*, vol. 33, no. 23, pp. R1246–R1261, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.10.028>.
- [11] Y. Masutomi, K. Takahashi, H. Harasawa, and Y. Matsuoka, "Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 131, no. 3, pp. 281–291, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.02.004>.
- [12] T. T. Deressa and R. M. Hassan, "Economic Impact of Climate Change on Crop Production in Ethiopia: Evidence from Cross-section Measures," *J. Afr. Econ.*, vol. 18, no. 4, pp. 529–554, Aug. 2009, doi: 10.1093/jae/ejp002.
- [13] G. A. Gbetibouo and R. M. Hassan, "Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach," *Glob. Planet. Change*, vol. 47, no. 2, pp. 143–152, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.10.009>.
- [14] C. Wasko, R. Nathan, L. Stein, and D. O'Shea, "Evidence of shorter more extreme rainfalls and increased flood variability under climate change," *J. Hydrol.*, vol. 603, p. 126994, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126994>.
- [15] J. Wang, R. O. Mendelsohn, A. Dinar, J. Huang, S. Rozelle, and L. Zhang, "Can China Continue Feeding Itself? The Impact of Climate Change on Agriculture," *World Bank Policy Res. Work. Pap. Ser.*, 2008, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55140714>.
- [16] T. Parthasarathi, S. Firdous, E. M. David, K. Lesharadevi, and M. Djanaguiraman, "Effects of High Temperature on Crops," in *Advances in Plant Defense Mechanisms*, J. N. Kimatu, Ed. Rijeka: IntechOpen, 2022.
- [17] R. Akhtar, "Climate Change and Geocology of South and Southeast Asia: An Introduction.," *Climate Change and Human Health Scenario in South and Southeast Asia*. pp. 1–10, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-23684-1\_1.
- [18] Y. Nasr Ahmed, H. Delin, C. Belford, V. Shaker, and N. A. M. Abdelrahman, "An estimate of the

- potential economic impacts of climate change on Egypt's agriculture: a multi-market model approach," *Clim. Dev.*, vol. 13, no. 3, pp. 228–241, Mar. 2021, doi: 10.1080/17565529.2020.1754156.
- [19] R. Mano and C. Nhemachena, "Assessment of the Economic Impacts of Climate Change on Agriculture in Zimbabwe A Ricardian Approach," 2007.
- [20] J. Kabubo-Mariara and F. K. Karanja, "The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach," *Glob. Planet. Change*, vol. 57, no. 3, pp. 319–330, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.01.002>.
- [21] T. O. Ojo and L. J. S. Baiyegunhi, "Impact of climate change adaptation strategies on rice productivity in South-west, Nigeria: An endogeneity corrected stochastic frontier model," *Sci. Total Environ.*, vol. 745, p. 141151, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141151>.
- [22] G. S. Malhi, M. Kaur, and P. Kaushik, "Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review," *Sustainability*, vol. 13, no. 3. 2021, doi: 10.3390/su13031318.
- [23] S. N. Seo, B. A. McCarl, and R. Mendelsohn, "From beef cattle to sheep under global warming? An analysis of adaptation by livestock species choice in South America," *Ecol. Econ.*, vol. 69, no. 12, pp. 2486–2494, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.07.025>.
- [24] T. S. Senda, G. A. Kiker, P. Masikati, A. Chirima, and J. van Niekerk, "Modeling Climate Change Impacts on Rangeland Productivity and Livestock Population Dynamics in Nkayi District, Zimbabwe," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 7. 2020, doi: 10.3390/app10072330.
- [25] S. N. Seo and R. Mendelsohn, "A Ricardian Analysis Of The Impact Of Climate Change On South American Farms," *Chil. J. Agric. Res.*, vol. 68, no. August 2007, pp. 69–79, 2008.
- [26] B. Tibesigwa, M. Visser, and J. Turpie, "Climate change and South Africa's commercial farms: an assessment of impacts on specialised horticulture, crop, livestock and mixed farming systems," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 19, no. 2, pp. 607–636, 2017, doi: 10.1007/s10668-015-9755-6.
- [27] G. Zhengfei, A. Oude Lansink, M. van Ittersum, and A. Wossink, "Integrating Agronomic Principles into Production Function Specification: A Dichotomy of Growth Inputs and Facilitating Inputs," *Am. J. Agric. Econ.*, vol. 88, no. 1, pp. 203–214, 2006, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2006.00848.x>.
- [28] M. D. Young, G. H. Ros, and W. de Vries, "Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 319, p. 107551, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107551>.
- [29] V. Radchuk *et al.*, "Adaptive responses of animals to climate change are most likely insufficient," *Nat. Commun.*, vol. 10, no. 1, p. 3109, 2019, doi: 10.1038/s41467-019-10924-4.
- [30] N. T. L. Huong, Y. S. Bo, and S. Fahad, "Economic impact of climate change on agriculture using Ricardian approach: A case of northwest Vietnam," *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 18, no. 4, pp. 449–457, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.02.006>.
- [31] F. Bareille and R. Chakir, "The impact of climate change on agriculture: A repeat-Ricardian analysis," *J. Environ. Econ. Manage.*, vol. 119, p. 102822, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102822>.
- [32] A. Mulagha-Maganga, L. S. Chiwaula, P. Kambewa, and M. E. Ngaiwi, "A Ricardian analysis of the economic impacts of climate change on agricultural production in the low-income agrarian economy: Estimates from Malawi's 2010–2019 LSMS longitudinal data," *J. Agric. Food Res.*, vol. 15, p. 100995, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100995>.
- [33] B. Mantlana and A. O. Jegede, "Understanding the multilateral negotiations on climate change ahead of COP27: Priorities for the African region," *South African J. Int. Aff.*, vol. 29, no. 3, pp. 255–270, Jul. 2022, doi: 10.1080/10220461.2022.2134201.
- [34] J. J. Lawler *et al.*, "Mitigation and Adaptation Strategies to Reduce Climate Vulnerabilities and Maintain Ecosystem Services.," *Climate Vulnerability*. pp. 315–335, 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-384703-4.00436-6.
- [35] S. Dessai and M. Hulme, "Climatic Implications of Revised IPCC Emissions Scenarios, the Kyoto Protocol and Quantification of Uncertainties," *Integr. Assess.*, vol. 2, no. 3, pp. 159–170, 2001, doi: 10.1023/A:1013300520580.
- [36] R. S. J. Tol, "Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods," *Environ. Sci. Policy*, vol. 8, no. 6, pp. 572–578, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2005.06.011>.
- [37] S. Brown *et al.*, "Global costs of protecting against sea-level rise at 1.5 to 4.0 °C," *Clim. Change*, vol. 167, no. 1, p. 4, 2021, doi: 10.1007/s10584-021-03130-z.

- [38] S. Chen and B. Gong, "Response and adaptation of agriculture to climate change: Evidence from China," *J. Dev. Econ.*, vol. 148, p. 102557, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102557>.
- [39] E. Grigorieva, A. Livenets, and E. Stelmakh, "Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review," *Climate*, vol. 11, no. 10, 2023, doi: 10.3390/cli11100202.
- [40] C. Howarth and E. J. Z. Robinson, "Effective climate action must integrate climate adaptation and mitigation," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 14, no. 4, pp. 300–301, 2024, doi: 10.1038/s41558-024-01963-x.
- [41] D. P. van Vuuren *et al.*, "The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 21, no. 2, pp. 575–591, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.11.003>.
- [42] S. Villamayor-Tomas *et al.*, "Developing countries can adapt to climate change effectively using nature-based solutions," *Commun. Earth Environ.*, vol. 5, no. 1, p. 214, 2024, doi: 10.1038/s43247-024-01356-0.
- [43] L. Rachmawati, A. D. Ekaputri, L. K. Katherina, and H. Santoso, "Climate Change Adaptation in Indonesia BT - Climate Change Adaptation in Southeast Asia," J. J. Pereira, M. K. Zain, and R. Shaw, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2022, pp. 57–75.
- [44] T. Ihsan and V. Derosya, "Tinjauan Strategi Pengemasan Buah dan Sayur dalam Memerangi Food Loss dalam Rantai Pasokan Pascapanen di Indonesia," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 22, no. 4, pp. 1078–1087, Jun. 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ilmulingkungan/article/view/58507>.
- [45] W. Neil Adger, N. W. Arnell, and E. L. Tompkins, "Successful adaptation to climate change across scales," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 15, no. 2, pp. 77–86, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005>.