



Transformasi Pertanian Berkelanjutan Dalam Menghadapi Perubahan Iklim Global

Wahid¹, Fathnur¹, Baharudin¹, Maryam Nurdin¹, Edwen D. Waas¹, Musyadik¹, Risma Fira Suneth¹, Sheny Kaihatu¹

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Email: wahid.mujahid@gmail.com

Article Info	
Article History Received : 02-06-2026 Accepted : 30-06-2026 Online : 02-07-2026	
Kata Kunci: pertanian berkelanjutan; perubahan iklim global; Climate-Smart Agriculture; ketahanan pangan, pertanian presisi; Keywords <i>sustainable agriculture; global climate change; Climate-Smart Agriculture; food security;s precision agriculture;</i>	Abstrak: Perubahan iklim global menjadi tantangan utama bagi sektor pertanian karena berdampak pada penurunan produktivitas tanaman, degradasi sumber daya alam, peningkatan serangan hama dan penyakit, serta ketidakstabilan produksi pangan. Kondisi ini menuntut transformasi sistem pertanian menuju pendekatan yang lebih berkelanjutan, adaptif, dan tangguh terhadap perubahan iklim. Artikel review ini bertujuan untuk mengkaji konsep, tantangan, serta strategi transformasi pertanian yang berkelanjutan dalam menghadapi perubahan iklim global berdasarkan berbagai literatur ilmiah terkini. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan pertanian berkelanjutan melalui pendekatan <i>Climate-Smart Agriculture</i> (CSA), pertanian presisi, pengelolaan bahan organik, konservasi tanah dan air, agroforestri, serta diversifikasi sistem pertanian mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, memperkuat kapasitas adaptasi, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, digitalisasi pertanian dan penguatan kelembagaan petani menjadi faktor penting dalam mendukung keberhasilan transformasi pertanian. Meskipun implementasinya masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan teknologi, modal, dan kapasitas sumber daya manusia, pertanian berkelanjutan memiliki potensi besar untuk mendukung ketahanan pangan dan pembangunan pertanian yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan sinergi antara pemerintah, peneliti, sektor swasta, dan petani untuk mempercepat transformasi menuju sistem pertanian yang produktif, efisien, dan berkelanjutan. Abstract: <i>Global climate change poses a major challenge to the agricultural sector, as it leads to reduced crop productivity, natural resource degradation, increased pest and disease outbreaks, and instability in food production. These conditions necessitate a transformation of agricultural systems toward approaches that are more sustainable, adaptive, and resilient to climate change. This review article examines the concepts, challenges, and strategies for sustainable agricultural transformation in the face of global climate change, drawing on recent scientific literature. The findings indicate that implementing sustainable agriculture—through approaches such as Climate-Smart Agriculture (CSA), precision agriculture, organic matter management, soil and water conservation, agroforestry, and agricultural system diversification—can enhance resource use efficiency, strengthen adaptive capacity, and reduce greenhouse gas emissions. Furthermore, the digitalization of agriculture and the strengthening of farmer institutions are crucial factors in supporting successful agricultural transformation. Although implementation faces various obstacles—such as limitations in technology, capital, and human resource capacity—sustainable</i>

	<i>agriculture holds immense potential to support food security and environmentally friendly agricultural development. Therefore, synergy among the government, researchers, the private sector, and farmers is essential to accelerate the transformation toward a productive, efficient, and sustainable agricultural system.</i>
Support by:  Crossref	 This is an open access article under the CC-BY-SA license

A. PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu faktor yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca menyebabkan kenaikan suhu global yang mempengaruhi pola cuaca dan siklus hidrologi. Kondisi tersebut berdampak pada perubahan musim tanam, peningkatan serangan hama dan penyakit, penurunan kesuburan tanah, serta berkurangnya ketersediaan air untuk pertanian. Berbagai studi menunjukkan bahwa perubahan iklim berpotensi menurunkan produktivitas tanaman pertanian dan mengancam ketahanan pangan global (Saleem et al., 2024).

Di sisi lain, sektor pertanian juga berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca melalui penggunaan pupuk sintesis, perubahan penggunaan lahan, dan aktivitas peternakan. Oleh karena itu, diperlukan transformasi menuju sistem pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan. Konsep pertanian berkelanjutan menjadi pendekatan yang semakin relevan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim global (Kabato et al., 2025).

Perubahan iklim mempengaruhi produktivitas, luas areal tanam dan panen tanaman pangan. Kenaikan suhu udara, perubahan pola dan jumlah curah hujan, kenaikan salinitas air tanah, menurunkan produktivitas tanaman. Meningkatnya frekuensi dan intensitas iklim ekstrem (banjir, kekeringan dan angin kencang), ledakan hama/penyakit dan meningkatnya muka air laut mempengaruhi pola tanam, indeks panen, mengurangi luas areal panen dan luas kawasan pertanian (Rusmayadi et al., 2024).

Sejalan dengan Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim, Indonesia telah mengembangkan teknologi: (1) Varietas tanaman yang toleran terhadap cekaman abiotik, (2) Teknologi budidaya tanaman, (3) Teknologi irigasi berselang, dan (4) Teknologi untuk menciptakan kondisi lingkungan yang kondusif untuk pertumbuhan tanaman. Varietas adaptif perubahan iklim dikemas dengan teknologi budidaya spesifik lokasi dalam suatu paket Pengelolaan Tanaman Terpadu dan teknologi (Widiarta, 2016).

B. METODE PELAKSANAAN

Jenis penelitian yang digunakan yaitu studi literatur. Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengolah bahan penelitian. Data yang digunakan berasal dari textbook, jurnal, artikel ilmiah, literature review yang berisikan tentang konsep yang diteliti (Nofitria, 2022).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sektor Pertanian

Peningkatan suhu udara dapat mengganggu proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis, respirasi, dan pembentukan hasil. Kekeringan yang berkepanjangan

menyebabkan stres air sehingga mengurangi produktivitas tanaman pangan seperti padi, jagung, dan gandum. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim telah memperlambat pertumbuhan produktivitas pertanian global selama beberapa dekade terakhir (Ortiz-Bobea, *et al.*, 2020).

Dampak langsung perubahan iklim pada pertanian adalah melalui degradasi sumber daya pertanian dan infrastruktur, seperti degradasi dan penciptaan sumber daya lahan, potensi sumber daya air, kerusakan sumber daya genetika, kapasitas irigasi serta serangan hama dan penyakit tanaman. Selain itu, kondisi hujan dan pengelolaan yang kurang tepat akan menyebabkan banjir, longsor dan kekeringan (Nofitria, 2022).

Estiningtyas, (2017) mengatakan bahwa peningkatan suhu global, perubahan pola curah hujan, peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂), serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem telah menyebabkan perubahan signifikan pada sistem produksi pertanian. Dampak tersebut dapat terjadi melalui gangguan proses fisiologis tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung.

Peningkatan suhu udara merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap produktivitas tanaman. Wulandari (2025) Suhu yang melebihi kisaran optimum dapat menurunkan laju fotosintesis, meningkatkan respirasi, mempercepat fase pertumbuhan vegetatif dan generatif, serta mengurangi akumulasi biomassa tanaman. Pada tanaman pangan seperti padi dan jagung, peningkatan suhu selama fase pembungaan dapat menyebabkan sterilitas serbuk sari sehingga menurunkan pembentukan biji dan hasil panen.

Dampak perubahan iklim terhadap produktivitas tanaman juga dipengaruhi oleh jenis tanaman, kondisi agroekosistem, dan kemampuan adaptasi petani. Di Indonesia, tanaman padi, jagung, dan kedelai termasuk komoditas yang rentan terhadap perubahan iklim karena sebagian besar dibudidayakan pada sistem pertanian lahan terbuka yang sangat bergantung pada kondisi cuaca (Wulandari, 2025).

Konsep pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) merupakan sistem pertanian yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pangan saat ini. Konsep ini mencakup tiga dimensi utama yaitu keberlanjutan ekonomi, sosial dan lingkungan. Pertanian berkelanjutan tidak hanya berorientasi pada peningkatan hasil produksi, tetapi juga memperhatikan efisiensi penggunaan sumber daya alam, konservasi lingkungan, serta peningkatan kualitas hidup petani dan masyarakat pedesaan (Rivai, 2023).

Menurut Food and Agriculture Organization (FAO), pertanian berkelanjutan adalah pengelolaan sumber daya alam yang mampu memenuhi kebutuhan manusia sekaligus menjaga kualitas dan keseimbangan lingkungan, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, mempertahankan produktivitas lahan, serta mendukung pembangunan ekonomi dan sosial secara berkelanjutan.

Prinsip keberlanjutan ekologi menekankan pentingnya menjaga kualitas lingkungan dan kelestarian sumber daya alam. Nofitria (2022) bahwa sistem pertanian harus mampu mempertahankan kesuburan tanah, menjaga ketersediaan air, mengurangi pencemaran lingkungan, serta melestarikan keanekaragaman hayati. Penggunaan pupuk organik, konservasi tanah dan air, agroforestri, serta pengendalian hama terpadu merupakan contoh penerapan prinsip ini.

Pertanian berkelanjutan merupakan upaya penting dalam menjawab tantangan global, yang mencakup ketahanan pangan, konservasi lingkungan, dan pembangunan pedesaan. Pertanian berkelanjutan juga harus mampu menjawab tantangan yang

dihadapi oleh petani. Produktivitas yang tinggi, efisiensi penggunaan input, akses pasar yang baik, dan stabilitas pendapatan adalah faktor penting dalam keberlanjutan ekonomi usaha tani, disamping itu pertanian berkelanjutan harus mampu menciptakan lapangan kerja, meningkatkan kapasitas sumber daya manusia, serta menjamin akses yang adil terhadap sumber daya produksi dan teknologi (Djibrin, *et al.*, 2023).

Sahnabel (2025) bahwa transformasi pertanian berkelanjutan pada era modern didukung oleh berbagai inovasi teknologi dan pendekatan baru. Pertanian presisi memanfaatkan sensor, drone, Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (Artificial Intelligence), dan analisis data dalam meningkatkan efisiensi penggunaan input pertanian. Teknologi semacam ini memungkinkan petani untuk melakukan pemupukan, irigasi dan pengendalian hama secara lebih tepat sasaran.

Strategi Transformasi Pertanian Berkelanjutan

Tujuan utama transformasi pertanian adalah meningkatnya produktivitas dan ketahanan pangan yang berkelanjutan. Menurut Djibrin (2023) bahwa transformasi pertanian merupakan proses perubahan sistem pertanian dari pendekatan konvensional ke sistem yang lebih efisien, adaptif, produktif, dan ramah lingkungan. Hal ini tidak hanya pada perubahan teknologi budidaya, akan tetapi juga mencakup aspek kelembagaan, kebijakan, ekonomi, sosial, dan pengelolaan sumber daya alam.

Berbagai pendekatan inovatif mulai dikembangkan untuk mendukung terwujudnya sistem pertanian yang berkelanjutan dan tangguh terhadap perubahan iklim antara lain:

Climat-Smart Agriculture

Climate-Smart Agriculture (CSA) merupakan pendekatan yang mengintegrasikan tiga tujuan utama yaitu peningkatan produktivitas, adaptasi terhadap perubahan iklim, dan mitigasi emisi gas rumah kaca. Praktik CSA meliputi penggunaan varietas tahan cekaman, pengelolaan air yang efisien, agroforestri, serta diversifikasi usaha tani. CSA terbukti mampu meningkatkan produktivitas sekaligus memperkuat ketahanan petani terhadap perubahan iklim (Lipper, 2014).

Climate-Smart Agriculture (CSA) merupakan salah satu pendekatan yang paling banyak direkomendasikan dalam menghadapi perubahan iklim. Konsep ini diperkenalkan oleh FAO sebagai pendekatan yang mengintegrasikan tiga tujuan utama, yaitu: 1. Meningkatkan produktivitas dan pendapatan pertanian secara berkelanjutan. 2. Meningkatkan kapasitas adaptasi dan ketahanan terhadap perubahan iklim dan 3. Mengurangi atau memitigasi emisi gas rumah kaca (Parwito, 2022).

Penerapan CSA meliputi penggunaan varietas unggul tahan cekaman lingkungan, pengelolaan air yang efisien, konservasi tanah, agroforestri, serta penggunaan teknologi informasi iklim dalam pengambilan keputusan usaha tani. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan CSA mampu meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi risiko kegagalan panen akibat perubahan iklim (Lipper, 2014).

Pertanian Presisi dan Digitalisasi

Perkembangan teknologi digital membuka peluang besar dalam meningkatkan efisiensi sistem pertanian. Menurut Sahnabel (2025) bahwa teknologi seperti sensor tanah, drone, citra satelit, Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan sistem informasi geografis memungkinkan petani melakukan pengelolaan lahan secara lebih akurat. Parwito, (2022) bahwa pertanian presisi mampu mengurangi penggunaan input, meningkatkan produktivitas, dan menekan dampak lingkungan.

Perkembangan teknologi digital telah mendorong lahirnya konsep pertanian presisi (*precision agriculture*). Pertanian presisi merupakan pendekatan pengelolaan lahan yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi penggunaan input pertanian berdasarkan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi lahan. Lipper (2024) menjelaskan bahwa teknologi yang banyak digunakan dalam pertanian presisi meliputi, Global Positioning System (GPS), Geographic Information System (GIS), Drone dan citra satelit, Sensor tanah dan cuaca, Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI) dan Big Data Analytics. Penerapan teknologi tersebut memungkinkan petani melakukan pemupukan, irigasi, dan pengendalian hama secara lebih tepat sasaran. Selain meningkatkan produktivitas, pertanian presisi juga mampu mengurangi penggunaan pupuk, pestisida, dan air sehingga lebih ramah lingkungan.

Penggunaan Bahan Organik.

Aplikasi pupuk organik, kompos, pupuk kandang, dan biochar dapat meningkatkan kesuburan dan kualitas tanah melalui perbaikan struktur tanah, kapasitas menahan air, dan aktivitas mikroorganisme. Penggunaan bahan organik juga membantu meningkatkan cadangan karbon tanah sehingga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim (Lorens, 2014).

Kesehatan tanah merupakan fondasi utama pertanian berkelanjutan. Lorenz (2014) bahan organik seperti kompos, pupuk kandang, pupuk hijau, biochar, dan residu tanaman memiliki berbagai manfaat antara lain: Meningkatkan kandungan karbon organik tanah, memperbaiki struktur dan porositas tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, Meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah dan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia.

Prospek Masa Depan Pertanian Berkelanjutan

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat menyebabkan kebutuhan pangan nasional semakin besar. Kondisi tersebut menuntut adanya transformasi sistem pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga keberlanjutan sumber daya alam (Nugrahapsari, *at al.*, 2020). Salah satu strategi utama yang perlu dikembangkan adalah penerapan *Climate-Smart Agriculture* (CSA) Parwito (2022). Pendekatan ini dapat dilakukan melalui penggunaan varietas unggul adaptif, sistem tanam yang sesuai dengan kondisi iklim lokal, pemanfaatan informasi iklim dalam perencanaan usaha tani, serta pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien.

Digitalisasi pertanian menjadi salah satu agenda penting dalam pembangunan pertanian nasional. Pemanfaatan sensor lahan, drone, sistem informasi geografis, dan teknologi berbasis kecerdasan buatan dapat membantu petani dalam mengambil keputusan yang lebih tepat terkait pemupukan, irigasi, dan pengendalian hama. Penggunaan kompos, pupuk kandang, pupuk hijau, dan biochar dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan efisiensi penggunaan air dan unsur hara (Parwito, 2022).

D. SIMPULAN DAN SARAN

Peningkatan suhu udara, perubahan pola curah hujan, meningkatnya cuaca ekstrem, serta meningkatnya serangan hama dan penyakit tanaman telah memberikan dampak menurunnya produktivitas pertanian dan ketahanan pangan. Pertanian berkelanjutan tidak hanya berorientasi pada peningkatan produksi pangan, tetapi juga menekankan keseimbangan antara produktivitas, keberlanjutan lingkungan, dan kesejahteraan sosial-ekonomi petani. Penerapan *Climate-Smart Agriculture* (CSA), pertanian presisi

berbasis teknologi digital, penggunaan bahan organik, konservasi tanah dan air, agroforestri, diversifikasi sistem pertanian, serta penguatan kelembagaan dan kebijakan pertanian, terbukti mampu memperkuat ketahanan agroekosistem, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi dampak negatif perubahan iklim terhadap sektor pertanian. Integrasi inovasi teknologi, penguatan kapasitas petani, dukungan kebijakan yang adaptif, serta pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan perlu menjadi prioritas dalam pembangunan pertanian nasional..

DAFTAR RUJUKANS

- Djibran, M. M., Andiani, P., Nurhasanah, D. P., & Mokoginta, M. M. (2023). *Analisis Pengembangan Model Pertanian Berkelanjutan yang Memperhatikan Aspek Sosial dan Ekonomi di Jawa Tengah*. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(10).
- Estiningtyas, W., & Syakir, M. (2017). *Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Produksi Padi di Lahan Tadah Hujan*. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 18(2), 89–103. <https://doi.org/10.31172/jmg.v18i2.406>
- Kabato, W., Getnet, G. T., Sinore, T., Nemeth, A., & Molnár, Z. (2025). Towards Climate-Smart Agriculture: Strategies for Sustainable Agricultural Production, Food Security, and Greenhouse Gas Reduction. *Agronomy*, 15(3), 565.
- Kartiningrum, E. D. 2015. *Panduan Penyusunan Studi Literatur*. Mojokerto: Politeknik Kesehatan Majapahit.
- Limb, M. (2015). Countries must prepare for more frequent food shortages, says task force. *BMJ*, 351. <https://doi.org/10.1136/BMJ.H4449>
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., et al. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(5), 651–670. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400058>
- Nofitria, A. S., Ningsih, I. S., Putri, P. A., Yulia, R., & Fevria, R. (2022). Antisipasi perubahan iklim untuk keberlanjutan ketahanan pangan (*Anticipate climate change for sustainable food security*). Dalam *Prosiding Seminar Nasional Biologi (SEMNAS BIO) 2022* (hlm. 804–811). UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. ISSN 2809-8447.
- Nofitria, A. S., Ningsih, I. S., Putri, P. A., Yulia, R., & Fevria, R. (2022). *Antisipasi perubahan iklim untuk keberlanjutan ketahanan pangan (Anticipate climate change for sustainable food security)*. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 2(2), 804–811. <https://doi.org/10.24036/prosemnasbio/vol2/517>
- Nugrahapsari, R. A., Setiani, R., Marwoto, B., Anwarudinsyah, J., & Prabawati, S. (2020). *Penilaian keberlanjutan sistem usaha kentang dengan kriteria multidimensi: Studi kasus di Dataran Tinggi Dieng, Wonosobo*. *Jurnal Agro Ekonomi*, 38(1), 1–13. <https://doi.org/10.21082/jae.v38n1.2020.1-13>
- Ortiz-Bobea, A., Ault, T. R., Carrillo, C. M., Chambers, R. G., & Lobell, D. B. (2020). The Historical Impact of Anthropogenic Climate Change on Global Agricultural Productivity. *Nature Climate Change*, 11, 306–312.
- Parwito, & Arifin, I. (2022). *Digitalisasi pertanian presisi: Tinjauan literatur pada teknologi sensor, monitoring, dan otomasi*. *SMART: Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 1(2), 49–54. <https://doi.org/10.58222/fp2ann81>
- Rivai, R. S., & Anugrah, I. S. (2023). *Konsep dan Implementasi Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia*. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 40(2), 123–139
- Rusmayadi, G., Silamat, E., Abidin, Z., Anripa, N., Rubijantoro, S., & Sitopu, J. W. (2024). *Analisis Dampak Perubahan Iklim terhadap Produktivitas Tanaman Pangan*. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(3). <https://doi.org/10.31004/jrpp.v7i3.31300>
- Sahnabel, S.F., dan Kurniati, E., (2025). Strategi Pembangunan Pertanian berkelanjutan di Indonesia: Evakuasi Kebijakan Digital, dan Pendekatan Lokal *Jurnal Perubahan Ekonomi Vol. 9 No. 4 Hal. 18-28*.
- Saleem, A., Anwar, S., Nawaz, T., Fahad, S., Saud, S., Rahman, T. U., & Khan, M. N. R. (2024). Securing a Sustainable Future: The Climate Change Threat to Agriculture, Food Security, and Sustainable Development Goals. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 11, 595–611.
- Widiarta, I. N. (2016). *Teknologi Pengelolaan Tanaman Pangan dalam Beradaptasi Terhadap Perubahan Iklim pada Lahan Sawah*. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 91–102.

Wulandari, P.R., 2025. *Dampak implementasi pertanian berkelanjutan terhadap stabilitas ekonomi dan pembangunan daerah tertinggal*. Metta: Jurnal Ilmu Multidisiplin, 5(2), pp.35–44.
<https://doi.org/10.37329/metta.v5i2.4020>