

Interaksi Perubahan Iklim dan Ketersediaan Air terhadap Produktivitas Tanaman: Sintesis Literatur dan Strategi Adaptasi di Jawa Timur Bagian Timur

Abdul Jalil ^{1*}, Faridatul Munawaroh ¹, Dwika Nano Hariyanto ², Muhammad Nuril Fitriyandi ¹

¹ Universitas Muhammadiyah Jember

² Universitas Moch. Sroedji Jember

DOI: <https://doi.org/10.47134/trilogi.v5i2.1718>

*Correspondensi: Abdul Jalil

Email: abduljalil@unmuhjember.ac.id



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

adaptasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa perubahan distribusi curah hujan yang tidak merata secara temporal dan spasial menjadi faktor utama penurunan produktivitas tanaman, terutama pada lahan tadah hujan dan wilayah dengan sistem irigasi yang belum optimal. Selain itu, perubahan siklus hidrologi turut menurunkan cadangan air tanah dan efisiensi distribusi air irigasi, yang berimplikasi pada peningkatan risiko produksi dan tekanan ekonomi petani. Kajian ini juga menemukan bahwa strategi adaptasi berbasis teknologi, seperti irigasi presisi, pemanenan air hujan, dan pemanfaatan informasi iklim digital, berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air dan ketahanan sistem pertanian. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya transformasi sistem pengelolaan air pertanian menuju pendekatan adaptif berbasis hidroklimatologi yang terintegrasi dengan kelembagaan lokal dan kebijakan berbasis wilayah.

Kata kunci: Perubahan iklim; ketersediaan air; produktivitas tanaman; irigasi; adaptasi pertanian; Jawa Timur bagian timur

Abstract: Climate change has led to increasing uncertainty in rainfall patterns and a decline in water availability, directly affecting agricultural productivity, particularly in tropical regions such as eastern East Java. This study aims to synthesize national scientific evidence regarding the interaction between climate change and water availability and their impacts on crop productivity, while identifying relevant adaptation strategies within locally climate-based agricultural systems. The method employed was a systematic literature review (SLR) of scientific articles published between 2016 and 2025, retrieved from Google Scholar, Garuda, and accredited national journals. The analysis focused on four main aspects: rainfall changes, water availability, hydrological cycles, and adaptation technologies. The findings indicate that uneven temporal and spatial distribution of rainfall is a major factor contributing to reduced crop productivity, particularly in rainfed agricultural areas and regions with suboptimal irrigation systems. Furthermore, changes in the hydrological cycle have reduced groundwater reserves and irrigation water distribution efficiency, resulting in increased production risks and economic pressures on farmers. The review also found that technology-based adaptation strategies, such as precision irrigation, rainwater harvesting, and the utilization of digital climate information, have significant potential to improve water-use efficiency and enhance agricultural system resilience. Overall, this study highlights the importance of transforming agricultural water management systems toward an adaptive hydroclimatology-based approach integrated with local institutions and region-based policies.

Keywords: Climate change; water availability; crop productivity; irrigation; agricultural adaptation; eastern East Java

Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan isu global yang memberikan dampak signifikan terhadap sektor pertanian, terutama di negara tropis seperti Indonesia. Fenomena ini ditandai oleh peningkatan suhu udara, perubahan pola curah hujan yang tidak menentu, serta meningkatnya frekuensi kejadian iklim ekstrem seperti banjir dan kekeringan. Kondisi tersebut berimplikasi pada terganggunya sistem produksi pangan dan berpotensi memengaruhi stabilitas sosial-ekonomi masyarakat agraris (Surmaini & Faqih, 2016). Salah satu tantangan utama yang muncul akibat perubahan iklim adalah penurunan ketersediaan air untuk pertanian. Air sebagai komponen esensial dalam proses fotosintesis, transpirasi, dan transportasi nutrisi sangat bergantung pada keseimbangan iklim regional. Ketika pola hujan berubah dan ketersediaan air tanah menurun, tanaman mengalami stres fisiologis yang berujung pada penurunan produktivitas. Dampak ini semakin terasa pada lahan-lahan pertanian tadah hujan, yang luasnya masih mendominasi di Indonesia (Stiyanto et al. 2025; Zakariyah, Silvia, and Fitriana 2025).

Kabupaten Jember dan Bondowoso, dua wilayah di Jawa Timur bagian timur, mencerminkan bagaimana perubahan iklim berdampak nyata terhadap produktivitas pertanian lokal. Berdasarkan hasil kajian Istikorini et al. (2023), petani kopi di Desa Garahan, Jember mengalami penurunan produktivitas akibat musim kering yang berkepanjangan. Sementara itu, penelitian lain di Bondowoso menunjukkan bahwa pergeseran pola tanam tembakau sebagai akibat perubahan curah hujan menyebabkan kerugian ekonomi tahunan yang cukup besar (Pratiwi et al. 2025). Perubahan pola curah hujan di Jawa Timur dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan kecenderungan fluktuatif yang signifikan dan berdampak langsung terhadap sektor pertanian. Kajian empiris terbaru menunjukkan bahwa ketidakaturan distribusi curah hujan tahunan serta peningkatan kejadian iklim ekstrem telah memengaruhi hasil produksi tanaman pangan. Kondisi ini juga berimplikasi pada pengambilan keputusan dalam manajemen usaha tani, termasuk penentuan varietas, pola tanam, dan waktu tanam yang semakin adaptif terhadap risiko iklim (Amirusholihin et al. 2025; Masahid, Dawud, and Abryandoko 2025).

Situasi serupa juga terjadi di Kabupaten Situbondo dan Banyuwangi. Santikayasa, Syarifah, and Taufik (2021) mencatat bahwa pola curah hujan yang makin terkonsentrasi dalam beberapa bulan saja menyebabkan ketidakseimbangan ketersediaan air antar musim. Di Situbondo, wilayah pertanian tebu dan hortikultura mengalami penurunan debit irigasi dari DAS Sampean dan Bluncong Wahyudi et al. (2024), sementara di Banyuwangi, daerah sentra hortikultura dataran tinggi mengalami gagal tanam kentang karena keterlambatan musim hujan dan tidak adanya sistem panen air (Ahmad, Mardiyah, and Wiwoho 2025). Selain penurunan kuantitas air, kualitas sumber daya air di Kabupaten Jember juga mengalami penurunan. Sejumlah penelitian di Sungai Bedadung menunjukkan bahwa fluktuasi debit aliran yang cenderung menurun, disertai peningkatan beban pencemar dari aktivitas domestik dan pertanian, berkontribusi terhadap penurunan kualitas air sungai. Kondisi ini memperumit permasalahan ketersediaan air, karena air yang tersedia tidak hanya terbatas secara kuantitas, tetapi juga mengalami degradasi kualitas sehingga kurang optimal untuk dimanfaatkan dalam

kegiatan irigasi (Novita, Firmansyah, and Pradana 2023; Pangastuti et al. 2022; Pradana et al. 2019).

Fenomena tersebut mendorong munculnya pertanyaan kritis yang menjadi dasar dari kajian ini, yaitu: Bagaimana interaksi antara perubahan iklim dan ketersediaan air memengaruhi produktivitas tanaman, khususnya dalam konteks wilayah tropis seperti Jember, Bondowoso, Situbondo, dan Banyuwangi? Kajian ini dirancang untuk mengisi kekosongan literatur yang menyajikan sintesis mendalam atas hubungan interaktif dua variabel krusial tersebut: perubahan iklim dan ketersediaan air, serta bagaimana keduanya berpengaruh terhadap sistem produksi pertanian. Berangkat dari rumusan masalah tersebut, tujuan dari kajian ini adalah menyintesis berbagai bukti ilmiah nasional terkait dampak perubahan iklim dan ketersediaan air terhadap produktivitas tanaman, serta mengidentifikasi strategi adaptasi yang dapat diterapkan dalam sistem pertanian berbasis iklim lokal. Dengan demikian, hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi formulasi kebijakan dan praktik adaptasi pertanian yang lebih kontekstual dan berkelanjutan.

Kerentanan petani terhadap risiko iklim tidak hanya disebabkan oleh aspek biofisik, tetapi juga oleh lemahnya akses informasi, pendidikan, dan dukungan kebijakan. Hal ini ditegaskan dalam studi Irvandika and Suciati (2024) mengenai partisipasi petani dalam Sekolah Lapang Climate Smart Agriculture di Jember. Mereka menemukan bahwa intervensi edukatif berbasis iklim secara signifikan meningkatkan kemampuan petani dalam mengantisipasi dampak perubahan iklim. Adaptasi lokal berbasis agroforestri juga terbukti efektif di sejumlah wilayah. Lestari and Dewi (2023) mengidentifikasi potensi sistem agroforestri berbasis kopi di Desa Rowosari, Jember dalam menyerap karbon dan menahan air, menciptakan iklim mikro yang lebih stabil. Sistem ini tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga meningkatkan ketahanan petani terhadap perubahan iklim jangka panjang.

Mengingat banyaknya dimensi yang saling terhubung dalam persoalan ini biofisik, sosial, ekonomi, dan kelembagaan dibutuhkan pendekatan interdisipliner dan berbasis bukti untuk mengidentifikasi solusi yang komprehensif. Oleh karena itu, sintesis literatur ini menjadi penting sebagai pijakan ilmiah menuju penguatan adaptasi pertanian di tengah dinamika perubahan iklim yang tak terelakkan.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan systematic literature review (SLR) yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan-temuan ilmiah terkait dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air dan produktivitas pertanian. Proses kajian dilakukan secara terstruktur melalui beberapa tahapan, yaitu perumusan pertanyaan penelitian, penelusuran literatur, seleksi artikel, ekstraksi data, serta analisis dan sintesis temuan.

Tahap awal dimulai dengan penentuan fokus kajian dan pertanyaan penelitian yang menekankan pada hubungan antara perubahan iklim, dinamika curah hujan, ketersediaan air, dan dampaknya terhadap sistem produksi pertanian di wilayah Jawa Timur bagian timur. Selanjutnya dilakukan penelusuran literatur menggunakan basis data ilmiah seperti

Google Scholar, Garuda, dan portal jurnal nasional terakreditasi. Kata kunci yang digunakan meliputi “perubahan iklim”, “curah hujan”, “ketersediaan air”, “irigasi”, “produktivitas tanaman”, serta kombinasi dengan nama wilayah seperti “Jember”, “Bondowoso”, “Situbondo”, dan “Banyuwangi”.

Kriteria inklusi dalam pemilihan literatur meliputi: (1) artikel ilmiah yang dipublikasikan pada rentang tahun 2016–2025, (2) penelitian yang memiliki relevansi langsung dengan topik perubahan iklim dan sektor pertanian, (3) studi yang menyajikan data empiris, analisis kuantitatif maupun kualitatif, serta (4) penelitian yang dilakukan di Indonesia, khususnya wilayah Jawa Timur atau wilayah dengan karakteristik agroklimat yang serupa. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup artikel yang tidak memiliki sumber jelas, tidak relevan dengan topik, atau hanya berupa opini tanpa dukungan data ilmiah.

Artikel yang terpilih kemudian dianalisis menggunakan teknik analisis tematik. Setiap literatur dikaji untuk mengidentifikasi variabel utama, metode penelitian yang digunakan, lokasi studi, serta temuan kunci terkait dampak perubahan iklim terhadap sistem pertanian. Hasil analisis kemudian dikelompokkan ke dalam empat subtema utama, yaitu: (1) perubahan curah hujan dan implikasinya terhadap sistem irigasi, (2) hubungan antara ketersediaan air dan produktivitas tanaman, (3) perubahan siklus hidrologi dan dampaknya terhadap sumber daya air, serta (4) strategi adaptasi berbasis teknologi dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air.

Untuk menjaga validitas dan konsistensi sintesis, dilakukan proses triangulasi sumber dengan membandingkan hasil dari berbagai penelitian lintas wilayah dan pendekatan metodologis. Selain itu, dilakukan identifikasi pola umum (common patterns) dan perbedaan kontekstual (context-specific variations) guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif. Pendekatan ini memungkinkan penarikan kesimpulan yang tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitis dan kontekstual terhadap kondisi pertanian di wilayah kajian.

Dengan pendekatan ini, hasil kajian diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai interaksi antara perubahan iklim dan ketersediaan air, serta menjadi dasar dalam merumuskan strategi adaptasi pertanian yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Hasil dan Pembahasan

1. Dampak Perubahan Iklim terhadap Curah Hujan dan Irigasi

Perubahan iklim tidak lagi menjadi isu global semata, tetapi telah dirasakan secara nyata di tingkat lokal, termasuk di wilayah Jawa Timur bagian timur. Berbagai fenomena seperti keterlambatan awal musim hujan, meningkatnya intensitas curah hujan ekstrem, serta semakin panjangnya periode musim kemarau telah dilaporkan oleh petani di Kabupaten Jember, Bondowoso, Situbondo, dan Banyuwangi. Studi empiris menunjukkan bahwa pergeseran pola iklim tersebut berdampak langsung terhadap perubahan pola tanam dan strategi pengelolaan pertanian, terutama pada sistem usaha tani yang belum berbasis informasi iklim dan prakiraan cuaca jangka menengah (Dewanti, Imaningsih, and Fadil 2024; Faiqoh and Hani 2022; Regita et al. 2025).

Di wilayah Banyuwangi, Ahmad et al. (2025) mencatat bahwa perubahan curah hujan telah menyebabkan penurunan efisiensi penggunaan air di kawasan pertanian kentang dataran tinggi, karena petani tidak lagi dapat mengandalkan pola tanam

konvensional. Sementara di Situbondo, data dari Santikayasa et al. (2021) menunjukkan distribusi curah hujan tahunan menjadi semakin tidak merata, dengan hujan lebat terkonsentrasi hanya dalam 2–3 bulan. Perwitasari and Bafdal (2016) menyebut bahwa pada wilayah dengan sistem tadah hujan, defisit irigasi seringkali terjadi selama lebih dari dua minggu, terutama pada musim kemarau yang kini datang lebih awal dan berlangsung lebih lama. Di Bondowoso dan Situbondo, irigasi permukaan tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan pertanian hortikultura seperti tembakau dan bawang merah, terutama saat debit air sungai menurun tajam pada bulan Agustus–Oktober (Wahyudi et al. 2024).

Sistem irigasi di wilayah ini sebagian besar masih bersifat manual dan bergiliran, sehingga ketidakaturan cuaca menyebabkan konflik giliran air dan ketidakefisienan distribusi. Pratiwi et al. (2025) mencatat bahwa beberapa kelompok tani di Jember mulai mengadopsi teknologi sederhana seperti run-off harvesting dan embung mini, namun belum ada integrasi sistemik dengan rencana tata air daerah. Kondisi infrastruktur irigasi yang menua turut memperparah situasi. Karyati, Rachman, and Baskoro (2022) menyoroti bahwa lebih dari 60% saluran irigasi sekunder di Jember dan Banyuwangi dalam kondisi rusak ringan hingga sedang akibat sedimentasi dan minimnya pemeliharaan. Akibatnya, terjadi kehilangan air selama proses distribusi dan rendahnya efisiensi irigasi.

Pendekatan hidroklimatologis dalam pengelolaan irigasi kini semakin disadari pentingnya. Santikayasa et al. (2021) menyarankan integrasi data spasial dan temporal untuk mengidentifikasi lokasi kritis defisit air serta potensi panen air hujan yang masih belum tergarap di sebagian besar desa di Situbondo dan Banyuwangi. Namun, implementasi teknologi tersebut masih menghadapi tantangan dari sisi kapasitas sumber daya manusia. Oleh karena itu, kebijakan berbasis data diperlukan untuk mendorong pengembangan sistem irigasi yang adaptif dan berkelanjutan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah penerapan Sistem Informasi Irigasi berbasis SIG dan sensor kelembaban tanah yang telah diuji coba oleh beberapa perguruan tinggi di Jawa Timur. Transformasi ini dapat menjadi solusi jangka panjang dalam menghadapi fluktuasi curah hujan serta keterbatasan air irigasi di wilayah yang rentan terhadap perubahan iklim.

2. Hubungan Ketersediaan Air dengan Penurunan Produktivitas

Ketersediaan air menjadi faktor yang secara langsung memengaruhi produktivitas pertanian. Ketika curah hujan tidak memadai atau tidak merata, terutama di wilayah dengan irigasi terbatas seperti Situbondo dan Bondowoso, penurunan hasil panen menjadi konsekuensi yang tak terhindarkan. Basuki et al. (2023) dalam studi di DAS Sampean (Bondowoso) menunjukkan bahwa pola tanam dan produktivitas padi sawah sangat ditentukan oleh karakteristik iklim, terutama curah hujan. Penurunan curah hujan secara drastis pada musim kemarau menyebabkan penurunan hasil panen padi tadah hujan hingga 35–40%, terutama saat terjadi kekeringan pada fase pembungaan dan pengisian bulir.

Fase kritis tanaman seperti pembungaan dan pengisian biji pada padi, jagung, dan hortikultura sangat sensitif terhadap stres air. Aryani et al. (2024) mencatat bahwa pada kondisi curah hujan di bawah 500 mm, produktivitas bawang merah dapat turun lebih

dari 25%, bahkan dengan pemupukan optimal. Hal ini memperlihatkan pentingnya ketersediaan air secara kuantitatif dan temporal.

Di daerah Jember dan Banyuwangi, petani kopi melaporkan penurunan produktivitas akibat tidak tersedianya air tanah pada saat pembentukan buah. Istikorini et al. (2023) menegaskan bahwa air tanah yang dangkal dan suhu mikro yang tidak stabil memperburuk stres fisiologis tanaman, menurunkan kualitas biji dan hasil panen.

Perubahan pola curah hujan di Kabupaten Banyuwangi memberikan dampak signifikan terhadap keputusan petani dalam menentukan luas tanam. Studi oleh Regita et al. (2025) menunjukkan bahwa fluktuasi iklim telah mengganggu siklus tanam kopi robusta, terutama di wilayah dataran tinggi. Petani melaporkan bahwa curah hujan yang berlangsung terlalu singkat atau datang tidak menentu menyebabkan penurunan luas tanam serta hasil panen yang tidak stabil dari tahun ke tahun. Hal ini sejalan dengan temuan Rachmawati (2020), yang menyatakan bahwa perubahan iklim dan ketidakpastian curah hujan menurunkan minat petani untuk menanam, bahkan di wilayah yang telah menerapkan sistem pertanian digital. Di Kabupaten Situbondo, fenomena serupa juga tercermin pada perilaku petani, termasuk petani tembakau, yang memilih menunda atau bahkan tidak melakukan penanaman akibat tidak pastinya pola hujan. Hal yang mengkhawatirkan adalah dampak ekonomi yang ditimbulkan. Petani kecil yang tidak memiliki akses irigasi teknis dan teknologi konservasi air mengalami penurunan pendapatan dan peningkatan utang selama musim paceklik. Peningkatan biaya produksi juga menjadi salah satu dampak dari keterbatasan air di sektor pertanian. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kondisi kekeringan dan terbatasnya ketersediaan air irigasi mendorong peningkatan biaya, terutama untuk penyediaan air dan penggunaan teknologi irigasi alternatif, serta meningkatkan risiko kerugian akibat penurunan hasil panen. Fenomena ini banyak terjadi pada wilayah dengan kerentanan kekeringan tinggi seperti Situbondo yang bergantung pada ketersediaan air musiman (Saputro et al. 2025; Sari et al. 2025).

Di beberapa wilayah sentra hortikultura di Kabupaten Banyuwangi, seperti Kecamatan Kalipuro dan Licin, keterbatasan ketersediaan air dan belum optimalnya sistem irigasi menjadi faktor penting yang memengaruhi produktivitas lahan. Studi menunjukkan bahwa ketidaktepatan distribusi air, baik dari sisi waktu maupun jumlah, berdampak pada penurunan hasil tanaman hortikultura, terutama pada fase pertumbuhan kritis. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem irigasi lokal belum sepenuhnya mampu mengakomodasi kebutuhan spesifik tanaman secara optimal (Faroby et al. 2025; Mardiyanti, Sutantio, and Djamali 2021). Ketersediaan air yang andal menjadi faktor kunci dalam menentukan keberhasilan sistem pertanian yang mampu bertahan terhadap perubahan iklim. Tanpa adanya intervensi yang didasarkan pada data dan pemanfaatan teknologi, penurunan produktivitas tidak hanya berdampak pada aspek agronomis, tetapi juga berpotensi berkembang menjadi krisis sosial dan ekonomi yang lebih luas.

3. Perubahan Siklus Hidrologi dan Tantangan Irigasi

Perubahan iklim telah berdampak signifikan terhadap siklus hidrologi di berbagai wilayah Indonesia, terutama kawasan pertanian yang bergantung pada irigasi alami. Kenaikan suhu permukaan dan ketidakpastian curah hujan menyebabkan ketidakseimbangan dalam proses evapotranspirasi dan infiltrasi air ke dalam tanah. Sidqi and Adetya (2024) menekankan bahwa hujan intensitas tinggi tetapi durasi pendek mempercepat limpasan permukaan (runoff) dan menurunkan peluang air untuk masuk ke cadangan air tanah, sehingga pasokan air menjadi cepat habis pada musim kemarau.

Di kawasan Jember dan Bondowoso, penurunan debit air sungai seperti Kali Sampean dan Kali Bedadung menunjukkan bahwa pola aliran air telah berubah. Debit minimum yang biasanya terjadi di akhir musim kemarau kini mulai lebih awal dan berlangsung lebih lama. Wahyudi et al. (2024) menunjukkan bahwa debit Sungai Bluncong di Bondowoso turun drastis sejak Agustus hingga November, mengakibatkan kekeringan pada jaringan irigasi sekunder di wilayah hulunya. Di Situbondo, perubahan siklus hidrologi berdampak langsung pada daerah pertanian tebu yang selama ini mengandalkan limpasan hujan dari kawasan perbukitan. Penurunan aliran air menyebabkan keterlambatan musim tanam dan kekurangan pasokan air selama fase vegetatif awal. Karmen (2023) mengamati bahwa beberapa kecamatan seperti Sumbermalang dan Arjasa masuk kategori rawan kekeringan ekstrem, berdasarkan indeks kekeringan dan pemodelan spasial.

Permasalahan semakin kompleks karena banyak saluran irigasi di desa mengalami kerusakan ringan hingga berat akibat sedimentasi, usia tua, dan kurangnya pemeliharaan. Studi Karyati et al. (2022) menunjukkan bahwa tingkat efisiensi distribusi air dalam saluran sekunder di Banyuwangi dan Jember hanya sekitar 55–65%. Kebocoran dan kehilangan air selama distribusi memperparah kondisi kekeringan lahan yang berada di bagian hilir sistem irigasi. Kelembagaan pengelola air seperti P3A (Perkumpulan Petani Pemakai Air) menghadapi tantangan besar dalam melakukan adaptasi. Sistem giliran air menjadi tidak efektif saat air sangat terbatas, sehingga meningkatkan potensi konflik antarkelompok tani. Inisiatif lokal seperti musyawarah giliran air dan gotong royong pemeliharaan saluran banyak yang tidak berjalan karena tidak adanya kepastian volume air masuk ke saluran utama.

Beberapa solusi adaptif mulai diterapkan, meskipun skalanya masih kecil. Misalnya, pembangunan embung desa dan sumur resapan di wilayah Jember bagian utara. Santikayasa et al. (2021) menyarankan pemanfaatan peta kesesuaian lokasi embung berbasis SIG untuk mengoptimalkan daerah tangkapan air hujan. Namun, minimnya pembiayaan dan koordinasi antarsektor membuat implementasi strategi ini berjalan lambat. Diperlukan sinergi antara teknologi, kelembagaan, dan kebijakan berbasis wilayah untuk mengatasi persoalan ini. Integrasi antara irigasi tradisional dan pendekatan teknologi seperti sensor debit, sistem informasi irigasi berbasis waktu nyata, dan pemetaan hidrologi partisipatif menjadi prioritas untuk menciptakan sistem irigasi yang resilien terhadap variabilitas iklim dan perubahan siklus hidrologi.

4. Strategi Teknologi Adaptif untuk Efisiensi Air

Dalam menghadapi ketidakpastian iklim dan keterbatasan air, penerapan teknologi adaptif menjadi pendekatan strategis yang sangat diperlukan di sektor pertanian. Salah satu teknologi yang terbukti efisien adalah penggunaan sensor kelembaban tanah untuk mengatur irigasi berdasarkan kebutuhan aktual tanaman. Susila, Suketi, and Pratama (2023) menunjukkan bahwa sistem ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 45% pada tanaman cabai, dan mampu menurunkan kebutuhan penyiraman harian. Teknologi fertigasi yaitu sistem penggabungan irigasi tetes dengan pemupukan telah diaplikasikan secara terbatas di lahan hortikultura Bondowoso. Prathama, Susila, and Santosa (2023) menyebutkan bahwa sistem ini menjaga kelembaban tanah secara stabil dan meningkatkan efisiensi serapan nutrisi oleh tanaman. Hal ini sangat penting untuk daerah-daerah dengan tingkat curah hujan yang tidak menentu, seperti Banyuwangi utara dan Bondowoso timur.

Di Kabupaten Jember, beberapa kelompok tani hortikultura mulai memanfaatkan teknologi informasi berupa aplikasi kalender tanam digital berbasis prakiraan cuaca dari BMKG. Teknologi ini menyediakan rekomendasi waktu tanam optimal berdasarkan data historis dan prediksi cuaca, sehingga membantu petani dalam pengambilan keputusan budidaya. Meskipun implementasinya masih terbatas, sejumlah studi menunjukkan bahwa pemanfaatan informasi iklim berbasis digital berkontribusi terhadap peningkatan keberhasilan panen dan efisiensi penggunaan input produksi. Di sisi lain, adopsi teknologi ini masih menghadapi kendala berupa rendahnya literasi digital serta keterbatasan akses terhadap perangkat teknologi di kalangan petani kecil (Faiqoh and Hani 2022; Hidayati et al. 2025; Rachmawati 2020).

Selain itu, teknologi pemanenan air hujan seperti sumur resapan dan biopori juga mulai diperkenalkan di Situbondo dan Banyuwangi. Santikayasa et al. (2021) mencatat bahwa sebagian besar wilayah Tapal Kuda memiliki potensi limpasan tinggi yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penggunaan sistem panen air ini terbukti meningkatkan ketersediaan air tanah selama musim kering, meskipun masih dibutuhkan pembinaan dan bantuan teknis dari pemerintah daerah. Namun, penerapan teknologi ini masih menghadapi tantangan struktural. Minimnya anggaran, kurangnya insentif fiskal, serta belum adanya kebijakan khusus untuk subsidi alat dan pelatihan membuat teknologi irigasi presisi sulit menjangkau petani kelas menengah ke bawah. Ahmad et al. (2025) menekankan pentingnya skema pembiayaan mikro untuk akses alat irigasi cerdas.

Kelembagaan lokal seperti kelompok tani dan koperasi air dapat menjadi ujung tombak dalam penyebaran teknologi adaptif ini. Dengan memperkuat kapasitas kelembagaan dan membuka akses pelatihan teknologi secara luas, transformasi sistem irigasi menuju sistem efisien dan berbasis data dapat diwujudkan secara bertahap. Sebagai langkah strategis jangka menengah hingga panjang, dibutuhkan integrasi antara sistem penyuluhan berbasis iklim, riset terapan dari perguruan tinggi lokal, dan sinergi antarinstansi dalam menyusun peta jalan (roadmap) adaptasi teknologi pertanian berbasis air. Dengan cara ini, ketahanan pertanian terhadap krisis air akibat perubahan iklim dapat dibangun secara berkelanjutan dan inklusif.

Tabel 1. Sintesis Literatur Berdasarkan Wilayah, Dampak, dan Strategi Adaptasi

No	Wilayah	Subtema	Temuan Utama	Dampak	Strategi Adaptif	Sumber
1	Jatim Timur (Jember, Bondowoso, Situbondo, Banyuwangi)	1. Curah Hujan & Iklim	Pergeseran musim hujan, peningkatan hujan ekstrem, dan kemarau lebih panjang	Ketidakpastian pola tanam dan gangguan sistem pertanian	Penyesuaian kalender tanam dan adaptasi berbasis iklim	Dewanti et al. 2024; Faiqoh and Hani 2022; Rasidi and Aziz 2025; Regita et al. 2025
2	Banyuwangi	1. Curah Hujan & Irigasi	Perubahan curah hujan menurunkan efisiensi penggunaan air pada hortikultura dataran tinggi	Penurunan produktivitas dan ketergantungan pada irigasi	Penyesuaian pola tanam dan teknologi irigasi	Ahmad et al. 2025
3	Situbondo	1. Curah Hujan & Irigasi	Distribusi hujan tidak merata, hujan terkonsentrasi 2–3 bulan	Defisit air pada musim kemarau	Pengelolaan air berbasis distribusi temporal	Santikayasa et al. 2021
4	Situbondo & Bondowoso	1. Irigasi	Irigasi permukaan tidak mampu memenuhi kebutuhan hortikultura saat debit turun	Kekeringan pada fase kritis tanaman	Optimalisasi sumber air alternatif	Wahyudi et al. 2024
5	Jember & Banyuwangi	1. Infrastruktur Irigasi	>60% saluran irigasi mengalami kerusakan ringan–sedang	Kehilangan air dan rendahnya efisiensi distribusi	Rehabilitasi jaringan irigasi	Karyati et al. 2022
6	Jember	1. Adaptasi Irigasi	Adopsi embung mini dan run-off harvesting masih terbatas	Belum optimalnya penyimpanan air	Pengembangan sistem panen air	Pratiwi et al. 2025
7	Bondowoso (DAS Sampitan)	2. Produktivitas	Curah hujan menentukan pola tanam dan hasil padi	Penurunan hasil hingga 35–40% saat kekeringan	Penyesuaian pola tanam berbasis iklim	Basuki et al. 2023
8	Jawa Timur (umum)	2. Produktivitas	Curah hujan <500 mm menurunkan produktivitas hortikultura signifikan	Penurunan hasil >25%	Manajemen air optimal	Aryani et al. 2024
9	Jember & Banyuwangi	2. Produktivitas	Kekurangan air tanah menurunkan produktivitas kopi	Penurunan kualitas dan hasil panen	Pengelolaan air tanah dan agroforestri	Istikorini et al. 2023
10	Banyuwangi	2. Produktivitas	Fluktuasi iklim mengganggu siklus tanam kopi	Penurunan luas tanam dan stabilitas produksi	Adaptasi pola tanam	Regita et al. 2025
11	Situbondo	2. Sosial Ekonomi	Petani menunda tanam akibat ketidakpastian hujan	Penurunan pendapatan dan peningkatan utang	Penguatan ketahanan ekonomi petani	Saputro et al. 2025

No	Wilayah	Subtema	Temuan Utama	Dampak	Strategi Adaptif	Sumber
12	Situbondo	2. Biaya Produksi	Kekeringan meningkatkan biaya penyediaan air dan risiko kerugian	Beban ekonomi petani meningkat	Teknologi irigasi alternatif	Sari et al. 2025
13	Banyuwangi (Kalipuro & Licin)	2. Produktivitas	Distribusi air tidak optimal menurunkan hasil hortikultura	Penurunan hasil pada fase kritis	Optimalisasi sistem irigasi	Faroby et al. 2025; Mardiyanti et al. 2021
14	Jember & Bondowoso	3. Hidrologi	Perubahan siklus hidrologi meningkatkan runoff dan menurunkan infiltrasi	Cadangan air tanah menurun	Pengelolaan hidrologi berbasis DAS	Sidqi and Adetya 2024
15	Bondowoso	3. Hidrologi	Penurunan debit sungai (Agustus–November)	Kekeringan irigasi sekunder	Manajemen debit air	Wahyudi et al. 2024
16	Situbondo	3. Hidrologi	Wilayah rawan kekeringan ekstrem (Sumbervalang, Arjasa)	Gangguan musim tanam	Mitigasi berbasis spasial	Karmen 2023
17	Jember & Banyuwangi	3. Irigasi	Efisiensi distribusi air hanya 55–65%	Kehilangan air tinggi	Perbaikan saluran dan kelembagaan	Karyati et al. 2022
18	Situbondo & Banyuwangi	3. Adaptasi Air	Potensi panen air hujan belum dimanfaatkan optimal	Kehilangan peluang sumber air	Pemetaan lokasi embung berbasis SIG	Santikayasa et al. 2021
19	Jawa Timur	4. Teknologi	Sensor kelembaban meningkatkan efisiensi air hingga 45%	Penghematan air dan peningkatan efisiensi	Irigasi presisi	Susila et al. 2023
20	Bondowoso & Banyuwangi	4. Teknologi	Fertigasi meningkatkan efisiensi air dan nutrisi	Produktivitas meningkat	Irigasi tetes + pemupukan	Prathama et al. 2023
21	Jember	4. Digitalisasi	Kalender tanam digital membantu keputusan tanam	Efisiensi input dan peningkatan hasil	Integrasi informasi iklim	Faiqoh and Hani 2022; Hidayati et al. 2025; Rachmawati 2020
22	Situbondo & Banyuwangi	4. Teknologi Air	Panen air hujan (biopori, sumur resapan) meningkatkan cadangan air	Ketersediaan air saat kemarau	Teknologi konservasi air	Santikayasa et al. 2021
23	Banyuwangi	4. Kebijakan	Keterbatasan pembiayaan menghambat adopsi teknologi irigasi	Kesenjangan akses teknologi	Skema pembiayaan mikro	Ahmad et al. 2025

Simpulan

Kajian ini menunjukkan bahwa perubahan iklim telah mengubah pola curah hujan dan siklus hidrologi di wilayah Jawa Timur bagian timur, yang berdampak langsung pada penurunan ketersediaan air dan produktivitas tanaman, khususnya pada sistem pertanian yang masih bergantung pada hujan dan irigasi konvensional. Sintesis berbagai temuan ilmiah nasional menegaskan bahwa ketidaksesuaian distribusi air, baik secara temporal maupun spasial, menjadi faktor utama yang memicu penurunan hasil, peningkatan risiko usaha tani, serta tekanan ekonomi petani. Kajian ini memperkuat pemahaman bahwa permasalahan utama tidak hanya terletak pada keterbatasan jumlah air, tetapi juga pada belum optimalnya sistem pengelolaan variabilitas iklim berbasis data dan teknologi. Oleh karena itu, strategi adaptasi yang diperlukan bersifat integratif melalui penerapan irigasi presisi, teknologi panen air hujan, pemanfaatan informasi iklim digital, serta penguatan kelembagaan dan kebijakan berbasis wilayah. Temuan ini berimplikasi pada urgensi transformasi sistem irigasi menuju pendekatan adaptif berbasis hidroklimatologi guna meningkatkan efisiensi dan ketahanan pertanian. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji lapang skala luas terhadap integrasi teknologi dan kelembagaan lokal, serta mengevaluasi efektivitas skema pembiayaan dan kebijakan dalam mempercepat adopsi teknologi oleh petani kecil.

Daftar Pustaka

- Ahmad, Sajidan Wildan, Siti Isnaini Mardiyah, and Bagus Setiabudi Wiwoho. 2025. "Evaluasi Kesesuaian Lahan Provinsi Jawa Timur Dalam Upaya Peningkatan Produktivitas Komoditas Sayuran (Studi Kasus: Kentang)." *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan* 12(1):21–32. doi: 10.21776/ub.jtsl.2025.012.1.3.
- Amirusholihin, Dicky Auliya' Akbar Hakim Rosandi, Dandi Fernanda, and Eva Zunia Khoiriyah. 2025. "Apakah Pasokan Padi Terkena Dampak Perubahan Iklim Di Jawa Timur?" *Gorontalo Development Review* 08(01):65–82.
- Aryani, Nabila Syarfina, Edi Santosa, Sofyan Zaman, and Dhika Prita Hapsari. 2024. "Kebutuhan Air Irigasi Empat Varietas Bawang Merah (*Allium Cepa* L.) Pada Musim Kering." *J. Hort. Indonesia* 15(2):77–83. doi: <http://doi.org/10.29244/jhi.15.2.77-83>.
- Basuki, Vega Kartika Sari, Oria Alit Farisi, and Marga Mandala. 2023. "Teknologi Penataan Pola Tanam Padi Sawah Berdasarkan Karakteristik Iklim Di Lahan Sub Optimal Das Sampian Lereng Gunung Ijen." *Jurnal Agrotek Tropika* 11(1):159–68. doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v11i1.5943>.
- Dewanti, Francisca Galuh, Niniek Imaningsih, and Cholid Fadil. 2024. "Identifikasi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Gagal Panen Tanaman Padi Di Jawa Timur." *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 10(19):369–77. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14159923>.
- Faiqoh, Dwi Nurul, and Evita Soliha Hani. 2022. "Persepsi Dan Strategi Adaptasi Petani Kubis Terhadap Dampak Perubahan Iklim Di Desa Sumberrejo Kecamatan Ambulu Kabupaten Jember." *Jurnal Kirana* 3(1):43–60.
- Faroby, Mohammad Hamim Zajuli Al, Helisyah Nur Fadhilah, Regita Putri Permata, and Muhammad Adib Kamali. 2025. "Smart Irrigation Untuk Optimalisasi Pertanian

- Sistem Green House Pada Kelompok Petani Tani Sejahtera Di Desa Temuasri, Banyuwangi." *I-Com: Indonesian Community Journal* 5(1):241–54.
- Hidayati, Filya, Rahmat Syahni, Suliansyah, Irfan Tanjung, and Hery Bachrizal. 2025. "Adopsi Inovasi Teknologi Pertanian Di Indonesia: Tantangan Dan Alternatif Solusi." *AGRITEPA* 12(1):329–48. doi: DOI: 10.37676/agritepa.v12i1.8646.
- Irvandika, Fachriza, and Luh Putu Suciati. 2024. "Tingkat Penerapan Materi Dan Partisipasi Petani Pada Sekolah Lapang Climate Smart Agriculture Di Kabupaten Jember." *Jurnal Agribisnis Indonesia (Journal of Indonesian Agribusiness)* 12(2):231–45. doi: <https://doi.org/10.29244/jai.2024.12.2.231-245>.
- Istikorini, Yunik, Muhammad Alam Firmansyah, Lufthi Rusniarsyah, Ikhwan Shodiq Syifaudin, Idelia Latifah, and Tiska Aulia Azzahra. 2023. "Pelatihan Pembuatan Pupuk Hayati Pada Sistem Agroforestri Berbasis Kopi Di Desa Garahan, Jember, Jawa Timur." *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat* 9(2):191–97.
- Karmen, Roselina Febria. 2023. "Analisis Resiko Bencana Akibat Musim Kemarau Berkepanjangan Di Jawa Timur." *Prosiding Seminar Nasional* 2:947–57.
- Karyati, Nur Etika, Latief Mahir Rachman, and Dwi Putro Tejo Baskoro. 2022. "Penetapan Alokasi Sawah Penerima Air Irigasi Berdasarkan Kondisi Hidroklimatologi Di Daerah Irigasi Cihea." *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)* 27(2):216–25. doi: 10.18343/jipi.27.2.216.
- Lestari, Kharisma Wahyu, and Nilasari Dewi. 2023. "Potensi Simpanan Karbon Pada Beberapa Tipe Agroforestri Berbasis Kopi Robusta Di Desa Rowosari, Jember." *Jurnal Silvikultur Tropika* 14(02):150–57. doi: <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.02.150-157>.
- Mardiyanti, Nani, Alamsyah Sutantio, and R. Abdoel Djamali. 2021. "Analisis Komoditas Buah Unggulan Di Kabupaten Banyuwangi." *Jurnal Agribest* 5(2):96–107. doi: <https://doi.org/10.32528/agribest.v5i2.4879>.
- Masahid, Moh Yusuf Dawud, and Eko Wahyu Abryandoko. 2025. "Pengaruh Fluktuasi Unsur Iklim Tahunan Terhadap Produksi Padi: Studi Empiris Berdasarkan Data Historis." *Jurnal Agrikultura* 36(2):216–27.
- Novita, Elida, Jefri Wahyudi Firmansyah, and Hendra Andiananta Pradana. 2023. "Penentuan Indeks Kualitas Air Sungai Bedadung Kabupaten Jember Menggunakan Metode IP Dan NSF-WQI." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 21(3):495–502. doi: 10.14710/jil.21.3.495-502.
- Pangastuti, Era Iswara, Elan Artono Nurdin, Muhammad Asyroful Mujib, Ahmad Farhan Alfani, Vika Aurely Nalurita, and Diana Fatmawati. 2022. "Analisis Dan Pemetaan Tingkat Pencemaran Air Sungai Pada Sub DAS Bedadung Tengah Kabupaten Jember." *JPIG (Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi)* 7(2):137–49.
- Perwitasari, Sophia Dwiratna Nur, and Nurpilihan Bafdal. 2016. "Penjadwalan Irigasi Berbasis Neraca Air Pada Sistem Pemanenan Air Limpasan Permukaan Untuk Pertanian Lahan Kering Irrigation." *JTEP: Jurnal Keteknikan Pertanian* 2(2):219–26. doi: 10.19028/jtep.04.2.219-226.
- Pradana, Hendra Andiananta, Sri Wahyuningsih, Elida Novita, Aisyah Humayro, and Bambang Herry Purnomo. 2019. "Identifikasi Kualitas Air Dan Beban Pencemaran Sungai Bedadung Di Intake Instalasi Pengolahan Air PDAM Kabupaten Jember."

- JKLI: *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 18(2):135–43. doi: 10.14710/jkli.18.2.135-143.
- Prathama, Mathias, Anas Dinurrohman Susila, and Edi Santosa. 2023. "Respons Pertumbuhan Dan Produksi Bawang Merah Terhadap Kepadatan Populasi Dan Jumlah Selang Fertigasi Menggunakan Irigasi Tetes." *J. Hort. Indonesia* 14(2):78–86. doi: <http://doi.org/10.29244/jhi.14.2.78-86>.
- Pratiwi, Nadya Dwi, Sharikha Herlinanda Arya Putri, Della Maria, Shafanissa Aulia Rachma, Rossy Febriani, Dias Adiansyah, Patrick Marcelino Manurung, Syahrul Nurhidayat, and Lilis Suchahyo. 2025. "Pemberdayaan Masyarakat Tiyuh Pulung Kencana, Lampung Dalam Mitigasi Perubahan Iklim Melalui Biopori." *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat* 7(1):128–38. doi: <https://doi.org/10.29244/jpim.7.1.128-138>.
- Rachmawati, Rika Reviza. 2020. "Smart Farming 4.0 Untuk Mewujudkan Pertanian Indonesia Maju, Mandiri, Dan Modern." *Forum Penelitian Agro Ekonomi* 38(2):137–54. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/fae.v38n2.2020.137-154>.
- Rasidi, Moh., and Abdul Aziz. 2025. "Analisis Perubahan Iklim Terhadap Produktivitas Pertanian Studi Kasus Petani Lombok Kecamatan Tegallampel Kabupaten Bondowoso." *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)* 4(2):3585–90.
- Regita, Arnetta Putri Tasya, Ahmad Zainuddin, M. Rondhi, and Ratih Apri Utami. 2025. "Persepsi Dan Mitigasi Petani Kopi Robusta Terhadap Dampak Perubahan Iklim: Sebuah Analisis Deskriptif." *Agrimics Journal* 2(1):37–49.
- Santikayasa, I. Putu, Mauludiyatus Syarifah, and Muh Taufik. 2021. "Identifikasi Lokasi Potensial Panen Air Hujan Menggunakan Indeks Kesesuaian Embung Dan Sistem Informasi Geografi Di Provinsi Jawa Timur Indonesia." *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan* 06(03):187–204. doi: 10.29244/jsil.6.3.187-204.
- Saputro, Wahyu Adhi, Fitri Amalinda Harahap, Indrawan Firdauzi, and Rosita Dewati. 2025. "Hubungan Curah Hujan Terhadap Produktivitas Pengan Di Pulau Jawa." *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian* 9(1):64–73. doi: 10.32585/ags.v9i1.6236.
- Sari, Elok Kurnia Novita, Rizza Wijaya, Ira Nurcahyanti, and Sahrul Ulum. 2025. "Rancang Bangun Dan Evaluasi Kinerja Sistem Irigasi Tetes Tenaga Surya Untuk Budidaya Cabai Berkelanjutan." *Agroteknika* 8(4):866–80. doi: <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v8i4.595>.
- Sidqi, Ilham Fajar, and Aulia Adetya. 2024. "Perbaikan Tata Kelola Budidaya Jagung Di Indonesia." *Policy Brief Pertanian, Kelautan, Dan Biosains Tropika* 6(2):917–21. doi: <https://doi.org/10.29244/agro-maritim.0602.917-921>.
- Stiyanto, Eri, Fadli Irsyad, Rusnam, Deni Saputra, Salma Tri Maharani, and Febriani Guchi. 2025. "Water Resilience Assessment Di Hulu Das Batang Arau: Analisis Keseimbangan Supply – Demand Berbasis Pemodelan Swat." *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas* 29(1):141–57.
- Susila, Anas Dinurrohman, Ketty Suketi, and Mathias Pratama. 2023. "Penggunaan Sensor Kelembaban Tanah Untuk Penetapan Jadwal Penyiraman Tanaman Cabai Melalui Irigasi Tetes." *J. Hort. Indonesia* 14(3):126–32. doi: <http://doi.org/10.29244/jhi.14.3.126-132>.
- Wahyudi, Muhammad Nur Zuhudil, Ani Listriyana, Nurul Amalia, and Silvianti Siswoyo. 2024. "Debit Pemberian Air Irigasi Pada Saluran Irigasi Tersier Di DAS

Bluncong Desa Cangkring Kecamatan Prajekan Kabupaten Bondowoso.” *Jurnal Manajemen Pesisir Dan Laut (MAPEL)* 02(2):80–97. doi: <https://doi.org/10.36841/mapel.v2i02.5441>.

Zakariyah, Mahmud, Novi Silvia, and Dan Evi Fitriana. 2025. “Dinamika Indeks Kekeringan Terhadap Perubahan Iklim Di Sub-DAS Upper Brantas , Jawa Timur.” *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)* 9(1):1–14. doi: <https://doi.org/10.22236/jgel.v9i1.15074>.