



Dinamika Sosial-Ekonomi Sektor Pertanian Tembakau di Tengah Perubahan Iklim: Strategi Adaptasi dan Mitigasi

Rizka Azhari*, Sukartono, Tajidan

Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Jl.

Majapahit No. 62, Mataram, Indonesia 83125

Email Korespondensi: rizkaazhari18@gmail.com

Abstrak

Perubahan iklim global menjadi ancaman nyata bagi keberlanjutan pertanian tembakau lahan kering karena komoditas ini sangat sensitif terhadap pergeseran musim, kemarau basah, kelembapan tinggi, dan cuaca ekstrem. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak perubahan iklim terhadap produktivitas dan kualitas fisiologis tembakau, menelaah dinamika sosial-ekonomi petani, mengidentifikasi strategi adaptasi, serta merumuskan mitigasi berkelanjutan. Studi dilakukan melalui Systematic Literature Review dengan protokol PRISMA yang dimodifikasi. Dari 145 artikel dan dokumen potensial pada database Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan Garuda periode 2017–2026, terpilih 23 rujukan yang terdiri atas 19 artikel utama dan 4 laporan sektoral kebijakan resmi. Data dianalisis menggunakan Thematic Analysis. Hasil kajian menunjukkan bahwa fenomena kemarau basah memicu cekaman genangan air atau waterlogging yang meningkatkan senyawa toksik dan menurunkan klorofil daun hingga 30,35%. Dampaknya terlihat pada penurunan mutu fisik dan kimiawi tembakau, termasuk kadar nikotin. Penurunan mutu ke kelas rendah menyebabkan harga jual turun hingga 32% dalam struktur pasar oligopsoni, sementara biaya produksi meningkat sekitar 30% akibat serangan patogen tanah dan kebutuhan pengeringan buatan. Situasi ini memperbesar risiko debt-trap bagi petani kecil. Adaptasi telah dilakukan melalui varietas toleran, seperti NTB-1 dan Grompol 3, penyesuaian kalender tanam, bedengan tinggi, drainase, dan diversifikasi tanaman, tetapi efektivitasnya dibatasi modal, kontrak kemitraan yang kaku, dan rendahnya literasi digital. Mitigasi diarahkan pada briket biomassa, biochar, pupuk organik, PHT, serta penguatan sinergi pemerintah, industri, dan petani dalam praktik Climate-Smart Agriculture agar produksi tetap adaptif, emisi menurun, posisi tawar petani lebih kuat, dan keberlanjutan ekonomi lahan kering lebih terjaga dalam menghadapi ketidakpastian iklim.

Kata kunci: Perubahan Iklim; Pertanian Tembakau; Adaptasi; Mitigasi; Dinamika Sosial Ekonomi.

Socio-Economic Dynamics of the Tobacco Agricultural Sector Amid Climate Change: Adaptation and Mitigation Strategies

Abstract

Global climate change poses a serious threat to the sustainability of dryland tobacco farming, as this commodity is highly sensitive to seasonal shifts, wet drought phenomena, high humidity, and extreme weather events. This study aims to analyze the impacts of climate change on tobacco productivity and physiological quality, examine the socio-economic dynamics experienced by farmers, identify adaptation strategies, and formulate relevant sustainable mitigation measures. The study employed a Systematic Literature Review using a modified PRISMA protocol. From 145 potential articles and documents retrieved from Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, and Garuda for the 2017–2026 period, 23 references were selected, consisting of 19 primary articles and four official sectoral policy reports. The data were analyzed using thematic analysis. The findings indicate that wet drought conditions trigger waterlogging stress, which increases toxic compounds and reduces leaf chlorophyll content by up to 30.35%. This condition adversely affects both the physical and chemical quality of tobacco leaves, including nicotine content. The decline in leaf quality to low-grade categories reduces selling prices by up to 32% within an oligopsonistic market structure, while production costs increase by approximately 30% due to soil-borne pathogen outbreaks and the need for artificial flue-curing. This situation intensifies the risk of debt traps among smallholder farmers. Farmers have adopted several adaptation strategies, including tolerant varieties such as NTB-1 and Grompol 3, planting calendar adjustments, raised beds, drainage improvement, and crop diversification. However, their effectiveness remains constrained by limited capital, rigid partnership contracts, and low digital literacy. Mitigation efforts are directed toward biomass briquettes, biochar application, organic fertilizer substitution, integrated pest management, and stronger synergy among government, industry, and farmers through Climate-Smart Agriculture practices to maintain adaptive production, reduce emissions, strengthen farmers' bargaining position, and sustain dryland farming economies under climate uncertainty.

Keywords: Climate Change; Tobacco Farming; Adaptation; Mitigation; Socio-Economic Dynamics.

How to Cite: Azhari, R., Sukartono, S., & Tajidan, T. (2026). Dinamika Sosial-Ekonomi Sektor Pertanian Tembakau di Tengah Perubahan Iklim: Strategi Adaptasi dan Mitigasi. *Empiricism Journal*, 7(2), 1173-1189. <https://doi.org/10.36312/ej.v7i2.4908>





PENDAHULUAN

Perubahan iklim menjadi tantangan serius bagi keberlanjutan sektor pertanian, terutama pada komoditas yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan suhu dan pola curah hujan seperti tembakau. Tanaman tembakau memerlukan kondisi agroklimat yang spesifik, terutama fase kering saat pematangan dan proses curing daun, sehingga anomali cuaca seperti hujan sisipan, peningkatan kelembapan, dan genangan sangat berpengaruh terhadap kualitas maupun produktivitas hasil panen (Marett et al., 2021). Di Indonesia, khususnya wilayah sentra produksi tembakau lahan kering seperti Nusa Tenggara Barat (NTB), perubahan pola musim menyebabkan ketidakpastian waktu tanam, meningkatnya serangan penyakit daun, serta penurunan mutu krosok yang berdampak langsung terhadap harga jual tembakau di tingkat petani (Sutrisno et al., 2022). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan iklim tidak hanya menjadi persoalan ekologis, tetapi juga ancaman nyata terhadap stabilitas ekonomi rumah tangga petani tembakau.

Tembakau memiliki posisi ekonomi yang penting bagi masyarakat pedesaan di NTB, terutama di Kabupaten Lombok Timur dan beberapa wilayah lahan kering lainnya, karena menjadi sumber pendapatan utama sekaligus penyerap tenaga kerja musiman. Namun demikian, karakteristik budidaya tembakau yang padat modal dan sangat bergantung pada kestabilan iklim menjadikan petani berada pada tingkat kerentanan yang tinggi terhadap perubahan cuaca ekstrem. Curah hujan yang tidak menentu dapat menurunkan grade daun, meningkatkan biaya produksi akibat kebutuhan pestisida dan pengeringan tambahan, serta memicu fluktuasi harga yang merugikan petani (Rahman et al., 2023). Dalam banyak kasus, kegagalan menjaga kualitas daun menyebabkan petani mengalami penurunan pendapatan dan ketergantungan pada tengkulak atau pinjaman informal untuk mempertahankan usaha taninya (Purboningtyas et al., 2018). Situasi ini memperlihatkan bahwa dampak perubahan iklim pada pertanian tembakau tidak hanya bersifat agronomis, tetapi juga berkaitan erat dengan dinamika sosial-ekonomi masyarakat tani.

Berbagai penelitian sebelumnya umumnya lebih banyak membahas dampak perubahan iklim pada komoditas pangan utama seperti padi, jagung, dan kedelai, sedangkan kajian mengenai tembakau masih cenderung berfokus pada aspek produktivitas, mutu daun, atau teknik budidaya secara parsial (Gebre et al., 2023). Penelitian yang mengaitkan secara komprehensif antara dampak agronomis perubahan iklim dengan dinamika sosial-ekonomi petani tembakau masih relatif terbatas, khususnya pada konteks wilayah lahan kering di NTB. Selain itu, strategi adaptasi dan mitigasi pada pertanian tembakau umumnya dibahas secara terpisah, sehingga belum banyak kajian yang mensintesis hubungan antara adaptasi teknis, penguatan kelembagaan sosial, dan keberlanjutan ekonomi petani dalam satu kerangka analisis terpadu (Sartika et al., 2024). Padahal, integrasi antara penggunaan varietas toleran kekeringan, penyesuaian kalender tanam, diversifikasi pendapatan, hingga penguatan kelembagaan kelompok tani menjadi faktor penting dalam meningkatkan resiliensi petani terhadap tekanan iklim (Hermawan et al., 2025).

Berdasarkan kondisi tersebut, problem utama dalam penelitian ini tidak hanya terletak pada fakta bahwa perubahan iklim memengaruhi sektor pertanian, tetapi lebih spesifik pada bagaimana perubahan iklim mengganggu kesesuaian agroklimat budidaya tembakau, menurunkan kualitas dan produktivitas daun, meningkatkan biaya produksi, serta memperlemah kondisi sosial-ekonomi petani di wilayah lahan kering. Oleh karena itu, diperlukan strategi adaptasi dan mitigasi yang kontekstual, terintegrasi, dan sesuai dengan karakteristik pertanian tembakau di NTB.

Keterbaruan dalam penelitian ini terletak pada sintesis hubungan antara dampak agronomis perubahan iklim pada tanaman tembakau, dinamika sosial-ekonomi petani, serta strategi adaptasi dan mitigasi yang relevan untuk wilayah lahan kering. Penelitian ini tidak hanya membahas aspek teknis budidaya, tetapi juga menempatkan kerentanan ekonomi dan kapasitas adaptif petani sebagai bagian penting dalam membangun sistem pertanian tembakau yang lebih resilien dan berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis dampak spesifik perubahan iklim terhadap produktivitas dan kualitas tembakau; (2) Mengkaji dinamika sosial-ekonomi petani tembakau akibat ketidakpastian iklim; (3) Mengidentifikasi strategi adaptasi yang diterapkan petani dalam mempertahankan keberlanjutan usaha tani tembakau; serta (4) Menganalisis strategi mitigasi berkelanjutan yang relevan untuk meningkatkan resiliensi pertanian tembakau pada wilayah lahan kering.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain tinjauan literatur sistematis (Systematic Literature Review) yang dipadukan dengan analisis sintesis kualitatif-deskriptif untuk mengeksplorasi dinamika sosial-ekonomi pertanian tembakau akibat perubahan iklim serta merumuskan strategi adaptasi dan mitigasi di wilayah lahan kering. Prosedur penelusuran, penyaringan, dan seleksi artikel dalam studi ini mengacu pada protokol PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guna menjamin transparansi dan validitas penemuan data. Penelusuran literatur dilakukan secara elektronik pada periode Januari hingga Maret 2026 melalui beberapa database akademik utama, yaitu Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan Garuda (Garba Rujukan Digital). Selain artikel jurnal ilmiah berskala nasional dan internasional, studi ini juga mengintegrasikan data sekunder tepercaya dari laporan sektoral berkala milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas), serta Dinas Pertanian Provinsi Nusa Tenggara Barat periode 2024–2025. Formulasi kata kunci penelusuran disusun seperti (perubahan iklim, tembakau, sosial ekonomi, adaptasi dan mitigasi). Untuk menjaga kualitas dan fokus analisis yang selaras dengan tujuan artikel, ditetapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat terhadap dokumen yang ditemukan.

Kriteria inklusi meliputi artikel jurnal ilmiah ditelaah sejawat (peer-reviewed), prosiding ilmiah, dan laporan instansi resmi yang diterbitkan dalam rentang waktu sepuluh tahun terakhir (2017–2026), serta membahas secara spesifik hubungan dampak iklim terhadap komoditas tembakau dan kondisi ekonomi petani. Sebaliknya, kriteria eksklusi diterapkan untuk mengeluarkan buku teks populer, opini publik, artikel berita media massa, tesis atau disertasi yang belum dipublikasikan, artikel di bawah tahun 2017, serta studi dampak iklim pertanian makro tanpa pembahasan porsi mendalam pada komoditas tembakau. Melalui tahapan alur seleksi PRISMA, proses penjaringan dokumen berhasil melewati empat fase utama. Pada tahap identifikasi awal, penelusuran berbasis kata kunci menghasilkan total 145 artikel potensial, di mana 32 artikel di antaranya dikeluarkan karena terdeteksi sebagai duplikasi. Tahap penyaringan (screening) berikutnya dilakukan terhadap 113 artikel berdasarkan kesesuaian judul dan abstrak, yang mengeliminasi 65 artikel karena tidak relevan. Selanjutnya, 48 artikel yang tersisa dievaluasi secara teks penuh pada tahap kelayakan (eligibility), yang mendepek 29 artikel akibat ketidaksesuaian metodologi atau lokus kajian di luar ekosistem lahan kering. Melalui rangkaian penyaringan ketat tersebut, diperoleh 19 artikel jurnal utama dan 4 dokumen laporan sektoral kebijakan resmi, sehingga total unit analisis akhir yang dinyatakan lolos seleksi untuk disintesis dalam penelitian ini berjumlah 23 dokumen rujukan.

Data dari seluruh dokumen rujukan yang terpilih kemudian diekstraksi menggunakan matriks sintesis (synthesis matrix) terstruktur untuk memetakan nama penulis, tahun publikasi, lokasi penelitian (fokus pada Kabupaten Lombok Timur, NTB), variabel iklim, serta parameter sosial-ekonomi yang diamati. Analisis data dilakukan dengan metode Analisis Tematik (Thematic Analysis), di mana temuan-temuan dikelompokkan ke dalam tujuh kelompok referensi tema utama hasil dan pembahasan, mulai dari dampak fisiologis hingga peran kebijakan makro dan kelembagaan. Akhirnya, dilakukan teknik triangulasi sumber data untuk menghubungkan data kuantitatif bio-fisiologis tanaman. Sintesis kritis ini menghasilkan simpulan deduktif-induktif yang logis serta usulan rekomendasi kebijakan yang aplikatif bagi keberlanjutan sektor pertanian tembakau.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Produktivitas dan Kualitas Tembakau

Menurut Alvi et al. (2020) bahwa perubahan iklim menjadi salah satu tantangan utama dalam sektor pertanian global, termasuk pada komoditas tembakau. Variabilitas iklim yang

ditandai dengan perubahan pola curah hujan, peningkatan suhu, serta kejadian cuaca ekstrem telah memengaruhi produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Tanaman tembakau sebagai komoditas sensitif terhadap kondisi lingkungan mengalami dampak signifikan akibat perubahan tersebut, baik dalam fase pertumbuhan maupun hasil akhir produksi. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada aspek agronomis, tetapi juga pada keberlanjutan ekonomi petani yang bergantung pada komoditas tersebut.

Tabel 1. Sintesis temuan utama dari artikel yang dianalisis (diolah, 2026)

No	Tema	Temuan Utama	Kelompok Referensi
1	Dampak Iklim terhadap Fisiologi dan Mutu Tembakau	Perubahan suhu, kelembapan, dan curah hujan memengaruhi fotosintesis, kualitas daun, dan grade tembakau	Chen et al. (2021); Wang et al. (2022); Khan et al. (2024)
2	Dampak terhadap Produksi dan Pendapatan Petani	Perubahan iklim menurunkan produktivitas dan meningkatkan ketidakpastian pendapatan petani	Alvi et al. (2020); Rahman et al. (2023); Wahyudi & Prasetyo (2021)
3	Kerentanan dan Sosial Ekonomi Petani	Ketergantungan pada tembakau meningkatkan risiko ekonomi dan utang petani	Kusumaningrum et al. (2023); Purboningtyas et al. (2018); Sartika et al. (2024)
4	Strategi Adaptasi Agronomis	Adaptasi dilakukan melalui penyesuaian kalender tanam, varietas tahan iklim, dan konservasi lahan	Suadi et al. (2021); Gebre et al. (2023); Hidayat et al. (2022)
5	Strategi Adaptasi Sosial-Ekonomi	Diversifikasi usaha dan penguatan kelembagaan meningkatkan resiliensi petani	Birthal et al. (2021); Scoones et al. (2019)
6	Strategi Mitigasi dan Pertanian Berkelanjutan	CSA dan praktik ramah lingkungan dapat mengurangi dampak perubahan iklim	FAO (2018); Twidyawati et al. (2021); Hermawan et al. (2025)
7	Peran Teknologi, Kelembagaan, dan Kebijakan	Digital farming, informasi iklim, penyuluhan, kelompok tani, kemitraan industri, serta kebijakan adaptasi pemerintah berperan dalam meningkatkan kapasitas adaptasi, efisiensi produksi, akses teknologi, dan ketahanan petani terhadap perubahan iklim	Wolfert et al. (2017); Klerkx et al. (2019); Davis et al. (2019); Scoones et al. (2019); Hermawan et al. (2025))

Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB), khususnya Kabupaten Lombok Timur, merupakan salah satu sentra utama produksi tembakau Virginia dan Burley di Indonesia. Karakteristik lahan kering di wilayah ini didominasi oleh tanah Regosol dan Latosol dengan drainase cepat, kandungan bahan organik rendah, serta ketersediaan air permukaan yang terbatas. Kondisi agroklimat tersebut pada dasarnya mendukung budidaya tembakau karena tanaman ini memerlukan fase kering selama proses pematangan daun hingga panen. Namun, dalam beberapa tahun terakhir perubahan iklim telah memicu ketidakstabilan pola cuaca yang berdampak langsung terhadap produktivitas dan mutu tembakau di Lombok Timur (Suryadi et al., 2022).

Perubahan pola curah hujan menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi kualitas tanaman tembakau. Data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika menunjukkan bahwa sejak tahun 2020 terjadi peningkatan frekuensi hujan pada periode Juli–Agustus yang secara klimatologis seharusnya termasuk musim kemarau. Fenomena “kemarau basah” dan hujan sisipan tersebut menyebabkan tingginya kelembapan udara dan meningkatnya kadar air tanah pada fase pematangan daun tembakau (BMKG, 2025). Curah hujan berlebih pada fase ini menghambat proses pemasakan daun karena daun menjadi terlalu banyak menyerap air sehingga warna daun cenderung pucat, kandungan nikotin

menurun, dan tekstur daun menjadi lebih tipis. Kondisi tersebut menyebabkan kualitas fisik dan kimia daun tembakau mengalami penurunan sehingga grade hasil panen menjadi lebih rendah (Prasetyo & Kurniawan, 2021). Selain menghambat pematangan daun, hujan dengan intensitas sedang hingga tinggi juga memicu terjadinya genangan pada lahan tanam tembakau. Intensitas hujan dikategorikan ringan apabila curah hujan berkisar 0,5–20 mm per 24 jam, sedang 21–50 mm per 24 jam, lebat 51–100 mm per 24 jam, sangat lebat 101–150 mm per 24 jam, dan ekstrem lebih dari 150 mm per 24 jam. Pada lahan dengan sistem drainase kurang optimal, curah hujan di atas 50 mm per hari dapat menyebabkan genangan yang menurunkan aerasi tanah sehingga fungsi akar dalam menyerap unsur hara terganggu.

Penurunan fungsi akar tersebut berdampak pada menurunnya aktivitas fotosintesis tanaman karena distribusi air dan nutrisi menuju daun tidak berlangsung secara optimal (Handayani et al., 2020). Akibatnya, pertumbuhan daun menjadi tidak seragam dan produksi biomassa tanaman menurun. Kelembapan udara yang tinggi akibat peningkatan frekuensi hujan juga meningkatkan risiko serangan penyakit tanaman, terutama penyakit akar dan busuk batang yang disebabkan oleh jamur patogen seperti *Phytophthora nicotianae* dan *Fusarium oxysporum*. Lingkungan yang lembap mempercepat perkembangan spora jamur serta memperbesar tingkat infeksi pada akar dan pangkal batang tembakau. Serangan penyakit tersebut menyebabkan daun cepat layu, pertumbuhan tanaman terhambat, hingga kematian tanaman sebelum masa panen. Penelitian oleh Rahman et al. (2023) menunjukkan bahwa peningkatan kelembapan relatif di atas 80% selama musim tanam dapat meningkatkan intensitas penyakit akar tembakau hingga lebih dari 30% dibanding kondisi normal. Perubahan suhu udara akibat pemanasan global juga memberikan pengaruh signifikan terhadap metabolisme tanaman tembakau. Suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan laju respirasi tanaman sehingga hasil fotosintesis tidak sepenuhnya tersimpan sebagai cadangan energi dan senyawa metabolit sekunder. Kondisi tersebut memengaruhi pembentukan nikotin, gula, dan senyawa aromatik yang menentukan cita rasa tembakau. Menurut penelitian Hidayat et al. (2022), peningkatan suhu rata-rata harian sebesar 2–3°C menyebabkan penurunan kandungan gula daun dan mempercepat proses penuaan fisiologis daun tembakau. Dampaknya, kualitas aroma dan elastisitas daun menjadi menurun sehingga tidak memenuhi standar industri rokok premium.

Dampak perubahan iklim tidak hanya terjadi pada fase budidaya, tetapi juga pada tahap pascapanen khususnya proses curing atau pengeringan daun tembakau. Proses curing membutuhkan kondisi cuaca kering dan suhu stabil agar perubahan warna daun berlangsung sempurna dari hijau menjadi kuning keemasan. Hujan yang terjadi selama proses curing meningkatkan kadar air daun dan memicu pertumbuhan jamur pada lembaran tembakau yang sedang dikeringkan. Akibatnya, warna daun menjadi kusam, aroma khas tembakau berkurang, dan tekstur daun menjadi rapuh. Penurunan kualitas tersebut secara langsung memengaruhi grade tembakau yang ditetapkan perusahaan mitra sehingga harga jual yang diterima petani menjadi lebih rendah dibanding musim dengan kondisi cuaca normal (Wahyudi & Prasetyo, 2021).

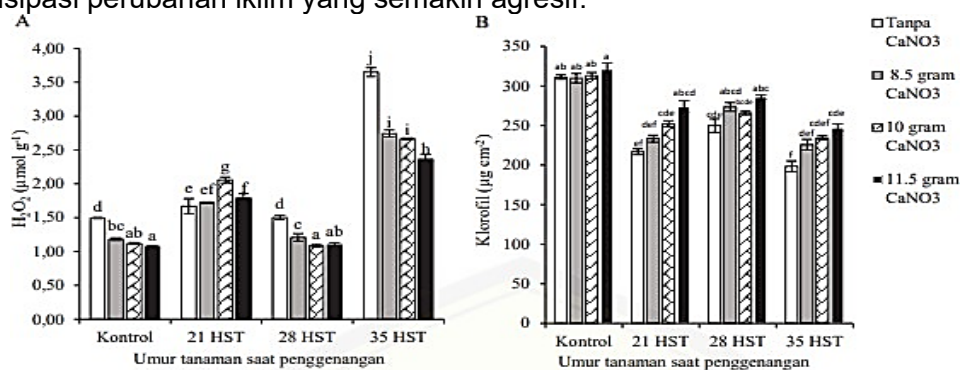
Studi Kasus Pertanian Tembakau

Permasalahan utama dalam kurun waktu 2020 berpusat pada meningkatnya intensitas anomali cuaca, khususnya fenomena kemarau basah yang dipicu oleh La Niña, yang mengacaukan siklus hidup tanaman tembakau Virginia di Lombok Timur. Kabupaten Lombok Timur merupakan salah satu sentra produksi tembakau terbesar, di mana berdasarkan data resmi Dinas Pertanian dan Perkebunan Provinsi Nusa Tenggara Barat (2024), sekitar 68% dari total lahan kering produktif di wilayah tersebut dialokasikan secara intensif untuk budidaya tembakau. Namun, stabilitas agroekosistem ini sangat rentan terhadap fluktuasi iklim ekstrem. Fluktuasi curah hujan pada periode Juli–Agustus mengalami peningkatan frekuensi hingga 37% di atas rata-rata normal (Dinas Pertanian Provinsi Nusa Tenggara Barat, 2025). Tembakau merupakan tanaman yang memerlukan kontrol air yang sangat ketat; curah hujan yang tinggi pada fase kematangan menyebabkan pencucian unsur hara (leaching) dari tanah dan memicu pembusukan akar akibat genangan air (waterlogging) (Suadi et al., 2021). Kondisi ini diperparah oleh suhu udara yang tidak stabil, yang merangsang ledakan populasi hama serta penyakit jamur, sehingga daun tembakau yang dihasilkan menjadi tipis, berwarna

gelap, dan memiliki kadar nikotin yang tidak memenuhi standar minimum industri sigaret kretek maupun putih.

Dampak dari ketidakpastian iklim ini meluas secara signifikan pada aspek sosial-ekonomi petani yang kehilangan daya tawar di pasar sejak pengamatan intensif pada tahun tersebut. Karena kualitas daun menurun drastis dari kelas unggul (high grade) ke kelas rendah (low grade), harga jual di tingkat pengepul merosot tajam, sementara biaya produksi justru membengkak akibat kebutuhan pestisida tambahan dan tenaga kerja ekstra untuk penyelamatan lahan (Suadi et al., 2021). Ketidakmampuan kalender tradisional dalam memprediksi cuaca menyebabkan banyak petani terjebak dalam kerugian finansial yang besar, memaksa mereka melakukan adaptasi darurat seperti perbaikan sistem drainase dan modifikasi jadwal tanam yang sangat bergantung pada fluktuasi iklim tahunan.

Fenomena ini sejalan dengan penelitian di daerah Jawa yang menunjukkan bahwa petani tembakau di wilayah Temanggung menghadapi tingkat kerentanan yang semakin tinggi akibat pergeseran musim hujan yang ekstrem dan tidak terprediksi. Fenomena iklim global telah menyebabkan anomali cuaca di mana hujan dengan intensitas tinggi sering kali turun di puncak musim kemarau, yang secara langsung merusak struktur seluler daun tembakau dan menggagalkan proses pengeringan alami (curing) (Kusumaningrum et al., 2023). Akibatnya, tanaman mengalami gangguan fisiologis akut yang menyebabkan penurunan berat kering daun serta hilangnya aroma khas tembakau lokal, yang merupakan parameter utama penentu harga di tingkat pabrik rokok. Dampak ekonomi dalam lima tahun terakhir ini sangat memprihatinkan karena biaya adaptasi, seperti penggunaan plastic pelindung (UV shading) dan pompa air, tidak sebanding dengan harga jual yang fluktuatif di tengah kualitas panen yang rendah. Riset mencatat bahwa pada tahun 2021 dan 2022, sebagian besar petani mengalami defisit pendapatan karena biaya produksi per hektar meningkat hingga 30%, sementara hasil panen yang masuk kategori kualitas unggul menurun drastis hingga di bawah 20% dari total produksi (Kusumaningrum et al., 2023). Ketidakpastian ini memicu ketidakstabilan sosial-ekonomi di pedesaan, di mana ketergantungan pada satu komoditas membuat petani terjebak dalam siklus utang berkelanjutan (debt-trap) karena gagal mengantisipasi perubahan iklim yang semakin agresif.



Gambar 1. Nilai respon fisiologi tanaman tembakau terhadap cekaman genangan (A) Kandungan H₂O₂ (B) Kandungan Klorofil. HST = Hari Setelah Tanam (Hidayat et al., 2022).

Berdasarkan hasil penelitian Hidayat et al. (2022), respons fisiologis dan pertumbuhan tanaman tembakau terhadap cekaman genangan (Gambar 1) menunjukkan salah satunya melalui peningkatan akumulasi hidrogen peroksida (H₂O₂) sebagai bagian dari Reactive Oxygen Species (ROS). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi H₂O₂ meningkat signifikan pada tanaman yang digenangi, terutama pada perlakuan tanpa pemberian kalsium. Kadar tertinggi H₂O₂ mencapai 3,65 μmol g⁻¹ pada tanaman yang digenangi pada 35 hari setelah tanam (HST) tanpa suplementasi kalsium. Peningkatan H₂O₂ akibat stres abiotik berpotensi merusak fungsi seluler dan menginduksi peroksidasi lipid pada membran sel, sebagaimana dilaporkan oleh Luan et al. (2018). Namun, pemberian kalsium eksogen terbukti mampu menekan akumulasi H₂O₂, karena ion Ca²⁺ berperan dalam mengaktivasi enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD) dan katalase (CAT) serta mengatur ekspresi gen yang terkait dengan adaptasi stres.

Selain akumulasi senyawa toksik ROS, cekaman genangan juga berdampak negatif yang masif terhadap kandungan klorofil daun. Penurunan terbesar (30,35%) terjadi pada

tanaman yang digenangi pada 35 HST tanpa kalsium. Penurunan ini disebabkan oleh terhambatnya pertukaran gas di perakaran akibat kekurangan oksigen (anoksia/hipoksia), yang selanjutnya membatasi penyerapan air, nutrisi, dan nitrogen sebagai unsur penting dalam sintesis klorofil (Biswas & Kalra, 2018). Sebaliknya, aplikasi kalsium sebanyak 11,5 g per tanaman pada 28 HST mampu mempertahankan kadar klorofil lebih tinggi. Peran kalsium dalam menjaga efisiensi fotosintesis juga didukung oleh temuan pada tanaman pertanian lainnya, di mana meskipun klorofil menurun akibat genangan, metabolisme fotosintesis tetap berlangsung secara optimal berkat perlakuan kalsium (He et al., 2018).

Hubungan kausalitas bio-fisiologis ini tidak berdiri sendiri, melainkan menjadi hulu dari hancurnya nilai sosial-ekonomi petani di pedesaan. Secara linier, terhambatnya pasokan nitrogen dan anoksia akar memicu penurunan kandungan klorofil daun → mengakibatkan gangguan berat pada sistem fotosintesis tanaman → berimplikasi langsung pada penurunan akumulasi biomassa kering daun → menyebabkan mutu fisik dan kimia daun tembakau merosot tajam → menurunkan standardisasi kelas (grade code) daun saat disortir → menjatuhkan harga jual di tingkat industri/pabrikasi → dan bermuara pada penurunan pendapatan riil serta ancaman kemiskinan bagi petani tembakau. Dari aspek pertumbuhan, cekaman genangan terbukti menghambat perkembangan vegetatif maupun generatif tanaman tembakau, terutama bila terjadi pada fase kritis. Penggenangan pada 35 HST yang bertepatan dengan awal fase generatif (squaring stage) menyebabkan penurunan pertumbuhan yang paling nyata dibandingkan perlakuan pada 21 atau 28 HST. Pada fase ini, tanaman sangat rentan terhadap gangguan lingkungan dan memiliki kemampuan terbatas untuk memperbaiki kerusakan jaringan akibat genangan. Namun, pemberian kalsium eksogen sebanyak 10 g per tanaman pada 28 HST mampu meminimalkan dampak negatif tersebut, dengan penurunan tinggi tanaman hanya sebesar 1,58% (Wang et al., 2017). Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang menemukan bahwa kalsium meningkatkan aktivitas enzim antioksidan, sehingga melindungi jaringan tanaman dari kerusakan oksidatif dan membantu mempertahankan pertumbuhan, khususnya pada fase awal perkembangan (Guan et al., 2020).

Secara makro, produksi tembakau sangat dipengaruhi oleh perubahan iklim global, yang memengaruhi banyak elemen dalam perkembangan dan budidaya tanaman di wilayah Asia Tenggara. Penurunan hasil panen tembakau dapat diakibatkan oleh dampak langsung kenaikan suhu yang disebabkan oleh perubahan iklim terhadap laju respirasi dan transpirasi tanaman tembakau. Pola curah hujan yang berubah dapat menyebabkan kelangkaan air pada satu periode dan banjir bandang pada periode lain, memengaruhi fisiologi tanaman tembakau secara ekstrem dan memaksa petani beralih ke tanaman alternatif yang tahan kekeringan. Perubahan dalam musim tanam dapat memengaruhi dinamika fenologi, yang pada gilirannya dapat memengaruhi ketepatan waktu tanam dan panen. Penyakit dan hama juga akan terpengaruh oleh perubahan iklim; suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan kecepatan reproduksi dan penyebaran hama tertentu, sehingga memerlukan manajemen hama yang lebih agresif dan mahal. Banjir dan angin topan adalah contoh peristiwa cuaca ekstrem yang akan terjadi lebih sering dan parah, merusak tegakan tanaman secara mekanis dan memengaruhi stabilitas pasokan bahan baku industri. Perubahan iklim juga berpotensi merusak kesuburan dan kualitas tanah melalui peningkatan laju erosi tanah, penipisan nutrisi akibat pencucian intensif, dan perubahan komposisi mikroba tanah. Kesehatan masyarakat tani di pedesaan dapat terpengaruh secara berantai oleh penurunan produktivitas dan ketidakstabilan pendapatan, serta memicu gangguan sosial dan ekonomi yang lebih besar seperti urbanisasi paksa. Menerapkan undang-undang yang lebih ketat dan standar keselamatan untuk melawan perubahan iklim dapat menciptakan hambatan regulasi bagi petani tembakau yang harus mengubah cara kerja tradisional mereka secara radikal untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Sifat kimia tembakau, seperti konsentrasi nikotin, profil rasa, komposisi tar, prosedur pengeringan, dan kemungkinan polutan menyusup ke ladang tembakau, sangat sensitif terhadap cekaman lingkungan yang dipicu oleh perubahan iklim. Oleh karena itu, strategi adaptasi komprehensif harus diadopsi untuk mengurangi efek destruktif perubahan iklim pada budidaya tembakau di tingkat regional, seperti yang dilakukan di wilayah produsen utama berkembang (Khan et al., 2024). Strategi ini meliputi diversifikasi tanaman, pengembangan varietas tembakau yang tahan genangan dan kekeringan (climate-smart varieties), peningkatan manajemen air berbasis digital, menerapkan pertanian presisi,

perencanaan jadwal tanam yang adaptif, manajemen hama terpadu, praktik konservasi tanah, pendidikan mitigasi iklim bagi kelompok tani, pembangunan kapasitas kelembagaan, implementasi sistem informasi cuaca dan peringatan dini berbasis komunitas, jaminan dukungan kebijakan insentif serta asuransi pertanian, serta penelitian dan inovasi berkelanjutan (Khan et al., 2024).

Dampak pada Fase Budidaya

Fase Vegetatif (1–60 HST) yaitu Kelembapan tinggi akibat hujan berkepanjangan memicu infeksi patogen seperti *Phytophthora nicotianae* dan *Rhizoctonia solani*, menyebabkan layu, nekrosis, dan busuk akar. insiden penyakit akar meningkat 3,2 kali lipat pada lahan tergenang >24 jam . Fase Pematangan (61–90 HST) yaitu Hujan sisipan menyebabkan daun tembakau tidak mampu melakukan proses curing alami di lapangan. Kadar air daun tetap tinggi, menyebabkan warna daun tidak kuning keemasan melainkan kehijauan atau kecoklatan indikator mutu rendah (Rahmawati *et al.*, 2023). Uji laboratorium Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas, 2024) menunjukkan kadar nikotin dan gula reduksi menurun signifikan pada daun yang terpapar hujan di fase akhir. Secara fisiologis, tanaman tembakau memiliki toleransi genangan yang rendah. Penelitian eksperimental oleh (Setiawan *et al.*, 2022) membuktikan bahwa genangan air selama 48 jam menyebabkan penurunan fotosintesis hingga 65% dan kematian akar serabut >80%, yang berdampak fatal pada akumulasi senyawa aroma dan rasa. Kondisi ini secara langsung menghambat akumulasi senyawa metabolit sekunder seperti nikotin dan gula reduksi, yang merupakan penentu utama mutu dan harga jual tembakau.

Selain itu, kelembapan tinggi selama fase vegetatif (1–60 HST) memicu ledakan patogen tanah seperti *Phytophthora nicotianae* dan *Rhizoctonia solani*, yang menyebabkan penyakit layu dan busuk akar dengan insiden meningkat hingga 3,2 kali lipat pada lahan tergenang (Rahmawati *et al.*, 2023). Dampak terhadap fase pematangan (61–90 HST) tidak kalah krusial. Hujan sisipan menyebabkan daun gagal melakukan proses curing alami, sehingga kadar air tetap tinggi dan warna daun tidak mencapai kuning keemasan indikator utama grade A. Uji laboratorium (Balittas, 2024) menunjukkan penurunan signifikan kadar nikotin dan gula reduksi pada daun yang terpapar hujan di fase akhir. Akibatnya, pada musim tanam 2025, proporsi tembakau grade A dari Lombok Timur hanya mencapai 12%, turun drastis dari rata-rata historis 35%. Penurunan mutu ini berdampak langsung pada harga jual, yang merosot 32% dari Rp38.000/kg menjadi Rp25.800/kg, memperparah krisis ekonomi petani (Dinas Pertanian NTB, 2025).

Dinamika Sosial Ekonomi dan Stabilitas Tembakau

Hasil penelusuran pustaka dan analisis rantai pasok komoditas (Arifin et al., 2024) menunjukkan bahwa perubahan iklim memberikan pengaruh yang sangat merusak dan spesifik terhadap stabilitas ekonomi agribisnis tembakau, bukan pertanian umum. Struktur pasar tembakau di Indonesia dicirikan oleh tingkat oligopsoni yang kuat, di mana petani memiliki ketergantungan yang sangat tinggi pada pabrikan rokok skala besar melalui perantara pengepul lokal (grader). Ketidakpastian iklim berupa kemarau basah langsung memicu anjloknya kualitas kimiawi dan fisik daun (seperti rusaknya elastisitas, pudarnya warna kuning keemasan, dan hilangnya aroma esensial daun). Ketika mutu daun merosot, petani dihadapkan pada ketidakpastian harga yang ekstrem karena penentuan grade daun sepenuhnya dikuasai oleh penguji dari pihak pengepul atau pabrikan (Arifin et al., 2024). Posisi tawar petani yang lemah membuat mereka terpaksa menerima harga yang jauh di bawah biaya impas (break-even point), menciptakan volatilitas ekonomi yang mengancam keberlanjutan usaha tani.

Kondisi ini diperparah oleh pembengkakan struktur biaya produksi secara masif selama periode anomali cuaca. Untuk mengantisipasi kegagalan panen akibat pembusukan akar dan serangan patogen yang masif pada kelembapan tinggi, petani tembakau terpaksa mengalokasikan modal tambahan yang besar untuk pembelian pestisida sintetik, pembuatan sistem drainase parit yang dalam, serta penyerapan tenaga kerja ekstra untuk penyulaman tanaman (Wardana & Saputro, 2022). Selain itu, pada fase pascapanen, curah hujan yang tinggi merusak proses pengeringan alami berbantuan matahari (sun-curing), sehingga petani terpaksa mengeluarkan biaya tambahan yang signifikan untuk menyewa fasilitas oven atau membeli bahan bakar tambahan dalam proses pengeringan buatan (flue-curing). Kombinasi

antara lonjakan biaya input dan penurunan harga jual daun memicu risiko utang modal tanam yang akut. Sebagian besar petani tembakau mengandalkan pinjaman informal dari tengkulak atau lembaga keuangan mikro untuk membiayai awal musim tanam; ketika panen gagal memenuhi standar pabrikaan, petani terjebak dalam perangkap utang persisten (debt-trap) yang diwariskan ke musim berikutnya (Wardana & Saputro, 2022).

Kerentanan sosial-ekonomi ini berakar pada ketergantungan kronis petani terhadap sistem pertanian monokultur tembakau di lahan kering. Karakteristik lahan di wilayah seperti Lombok Timur dan Temanggung membatasi opsi budidaya komoditas lain pada musim kemarau, sehingga tembakau menjadi satu-satunya tumpuan pendapatan tunai rumah tangga. Ketika komoditas tunggal ini hancur akibat anomali iklim, seluruh pilar ketahanan pangan rumah tangga petani runtuh secara simultan. Dampak ini merembet secara masif pada kelompok yang paling rentan, yaitu buruh tani tembakau (Soleh & Hermawan, 2023). Berbeda dengan pemilik lahan yang memiliki aset fisik, buruh tani tembakau yang mengandalkan upah harian dari kegiatan pemetikan (harvesting) dan penyusunan daun (stringing) langsung kehilangan mata pencaharian ketika intensitas panen merosot. Kerentanan ekonomi rumah tangga ini memicu dampak sosial turunan, termasuk penurunan alokasi biaya pendidikan anak, peningkatan kasus malnutrisi di pedesaan, serta migrasi tenaga kerja non-sektoral secara paksa ke perkotaan sebagai strategi bertahan hidup darurat. Untuk meminimalkan risiko ini, strategi diversifikasi pendapatan menjadi agenda yang mendesak bagi keberlanjutan rumah tangga petani tembakau. Diversifikasi dapat diimplementasikan melalui sistem tumpang sari terencana dengan tanaman hortikultura berumur pendek yang toleran terhadap kelembapan tinggi, maupun pengembangan usaha produktif non-pertanian (off-farm activities) oleh anggota keluarga petani (Soleh & Hermawan, 2023). Guna memberikan gambaran komprehensif mengenai spektrum risiko dan konsekuensi ekonomi spesifik pada subsektor agribisnis tembakau akibat perubahan iklim.

Tabel 2. Dampak Perubahan Iklim terhadap Sistem Pertanian dan Petani Tembakau

Bentuk Perubahan Iklim	Dampak Pada Budidaya Tembakau	Konsekuensi Sosio-Ekonomi
Peningkatan Suhu Udara & Kelembapan Ekstrem	Ledakan populasi hama kutu kebul (Bemisia tabaci) dan penyakit jamur lanas (Phytophthora nicotianae); penurunan kadar nikotin esensial.	Pembengkakan biaya input untuk pembelian pestisida ekstra; penurunan drastis harga jual akibat daun tidak memenuhi standar kimiawi pabrikan rokok
Pergeseran Musim dan Anomali Kemarau Basah	Kegagalan proses pengeringan alami daun (sun-curing) akibat minimnya intensitas radiasi matahari; pembusukan jaringan daun di sawah.	Lonjakan biaya pascapanen akibat sewa oven dan pembelian bahan bakar flue-curing; risiko kerugian finansial total (puso).
Curah Hujan Ekstrem & Genangan Air (Waterlogging)	Anoksia akar tanaman tembakau, Pencucian hara nitrogen, akumulasi senyawa toksik H ₂ O ₂ , dan penurunan klorofil secara masif.	Kualitas fisik daun menipis dan berwarna gelap; penurunan kode kelas (grade daun) oleh grader pabrikan; hilangnya daya tawar dalam sistem pasar oligopsoni.
Kekeringan Suhu Tinggi Persisten	Keterbatasan air tanah pada fase vegetatif awal yang menyebabkan kerdilnya habitus tanaman dan penurunan biomassa daun secara keseluruhan.	Keterbatasan air tanah pada fase vegetatif awal yang menyebabkan kerdilnya habitus tanaman dan penurunan biomassa daun secara keseluruhan.

Bentuk Perubahan Iklim	Dampak Pada Budidaya Tembakau	Konsekuensi Sosio-Ekonomi
Ketidakpastian Agroekosistem Monokultur	Ketiadaan komoditas substitusi penopang ekonomi akibat ketergantungan absolut lahan kering pada tanaman tembakau.	Kerentanan pangan akut, keterjebakan dalam siklus utang modal tanam (debt-trap) kepada tengkulak, dan pemutusan hubungan kerja buruh tani harian.

Pada tabel 2, ini menunjukkan bahwa perubahan iklim tidak hanya memengaruhi proses biologi tanaman di lapangan, tetapi juga memicu rentetan guncangan ekonomi yang menghancurkan struktur kesejahteraan pedesaan berbasis tembakau. Ketergantungan absolut pada pasar oligopsoni industri pengolahan hasil tembakau menuntut adanya intervensi kebijakan yang terintegrasi (Arifin et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan strategi penyesuaian yang radikal, meliputi penguatan kelembagaan kelompok tani untuk memutus rantai ketergantungan tengkulak, penyediaan skema asuransi pertanian spesifik tembakau, serta pelatihan diversifikasi keterampilan non-pertanian bagi buruh tani wanita dan anggota rumah tangga miskin. Melalui pendekatan adaptasi komprehensif ini, sektor pedesaan sentra tembakau diharapkan mampu membangun resiliensi ekonomi yang tangguh dalam menghadapi akselerasi perubahan iklim global di masa depan.

Strategi Adaptasi Tembakau Dalam Menghadapi Perubahan Iklim

Perubahan iklim menuntut sektor pertanian, khususnya pada komoditas perkebunan bernilai tinggi seperti tembakau (*Nicotiana tabacum* L.), untuk melakukan berbagai penyesuaian agar kegiatan produksi tetap berjalan secara berkelanjutan. Ketidakpastian musim tanam, meningkatnya intensitas cuaca ekstrem, serta fluktuasi kondisi lingkungan memaksa petani untuk mengembangkan cara-cara baru dalam mengelola lahan dan sumber daya yang tersedia. Hasil penelusuran berbagai literatur menunjukkan bahwa strategi adaptasi menjadi langkah vital untuk mengurangi risiko kerugian ekonomi akibat kerusakan kualitas daun sekaligus menjaga stabilitas pendapatan petani. Adaptasi dalam konteks pertanian tembakau tidak hanya berkaitan dengan perubahan teknik budidaya konvensional, tetapi juga melibatkan inovasi teknologi, manajemen infrastruktur lahan, pengelolaan sumber daya air, serta peningkatan kapasitas literasi iklim petani dalam menghadapi kondisi lingkungan yang semakin dinamis (Twidyawati et al., 2021; Kurniawati & Wardana, 2023).

Karakteristik tanaman tembakau yang sangat sensitif terhadap kelebihan air (waterlogging) maupun kekeringan ekstrem (drought stress) menuntut pendekatan adaptasi yang bersifat multidimensi, holistik, dan spesifik lokal. Perubahan pola curah hujan langsung berdampak pada penurunan kadar nikotin, rendemen, dan sifat fisik daun seperti elastisitas dan warna, yang menjadi penentu utama harga jual di pasar industri (Alvi et al., 2020; Zhang et al., 2019). Dalam menghadapi tantangan banjir dan genangan air yang semakin sering terjadi pada lahan tembakau akibat cuaca ekstrem, tindakan teknis yang responsif sangat diperlukan. Penerapan sistem drainase parit berjenjang yang terintegrasi dengan pompa irigasi otomatis serta pembuatan bedengan tinggi (minimal 40 cm) terbukti dapat mempercepat aliran air permukaan hingga 50%, sehingga meminimalkan risiko pembusukan akar akibat genangan (Balittas, 2024). Pengelolaan kelembaban makro dan mikro tanah ini harus dipadukan dengan aspek kelembagaan, akses informasi iklim, serta manajemen pascapanen guna memastikan ketahanan usahatani tembakau secara jangka panjang (Salman Chowdhury et al., 2025; Rahayu & Herawati, 2021).

Beberapa strategi adaptasi spesifik komoditas tembakau yang telah dikembangkan dan diterapkan berdasarkan hasil penelitian empiris dapat dirangkum sebagai berikut:

- **Penyesuaian Kalender Tanam dan Akses Informasi Iklim Musiman:** Petani tembakau secara aktif menggeser awal waktu penanaman untuk menghindari risiko hujan sisipan yang kerap merusak tanaman pada fase kritis. Penyesuaian waktu tanam ini sangat krusial agar fase pematangan dan pemanenan daun tidak bertepatan dengan periode curah hujan tinggi, mengingat proses akumulasi nikotin dan pematangan daun memerlukan kondisi cuaca kering dan intensitas cahaya matahari yang optimal (Appau et al., 2020). Penentuan

waktu tanam yang tepat ini diakomodasi melalui pemanfaatan informasi iklim musiman berbasis prakiraan cuaca dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) serta pemanfaatan Sistem Kalender Tanam Terpadu (SINKAN) (Lipper et al., 2018; Wardana et al., 2022). Kritik dan Keterbatasan: Meskipun secara teoretis sangat solutif, efektivitas strategi ini di tingkat tapak dibatasi oleh rendahnya literasi teknologi dan keterbatasan akses petani kecil terhadap informasi iklim yang up-to-date dan akurat. Seringkali, informasi cuaca makro yang disediakan tidak selaras dengan kondisi mikroklimat di wilayah sentra produksi tembakau, sehingga petani tetap menghadapi risiko unpredictable weather yang tinggi.

- **Penggunaan Varietas Tembakau Toleran Iklim Ekstrem:** Adopsi varietas unggul yang memiliki toleransi tinggi terhadap stres genangan air atau kekeringan menjadi solusi biologis utama untuk menjaga stabilitas hasil. Penggunaan varietas adaptif seperti “NTB-1” dan “Grompol 3” yang dirilis oleh Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas) menawarkan kapasitas bertahan hidup dalam kondisi tergenang hingga 24 jam lebih baik dibandingkan varietas lokal, tanpa mengorbankan kualitas fisik dan kimiawi daun (Balittas, 2024; Dai et al., 2020). Rekayasa varietas adaptif ini berkontribusi signifikan pada pendekatan Climate-Smart Agriculture (CSA) dengan cara mengurangi ketergantungan pada input air dan bahan kimia yang berlebihan (Chen et al., 2021; Wang et al., 2022). Kritik dan Keterbatasan: Ketersediaan benih varietas unggul tahan iklim ini masih sangat terbatas dan belum terdistribusi secara luas di seluruh sentra tembakau nasional. Selain itu, industri rokok selaku penyerap utama sering kali memiliki preferensi ketat terhadap varietas lokal tertentu karena alasan aroma dan cita rasa khas daerah (terroir), sehingga membatasi ruang gerak petani untuk mengadopsi varietas baru yang secara agronomi lebih tangguh namun kurang diminati pasar pabrik.
- **Diversifikasi Usahatani Berbasis Risiko:** Mengintegrasikan usahatani tembakau dengan tanaman pangan atau hortikultura (seperti jagung, kacang tanah, bawang merah) serta sektor peternakan menjadi strategi krusial untuk meminimalkan risiko kegagalan ekonomi total. Ketika indikasi anomali cuaca menunjukkan risiko kegagalan panen tembakau yang tinggi, alokasi lahan sebagian dialihkan pada tanaman yang lebih toleran terhadap fluktuasi air, sehingga petani tetap memiliki sumber pendapatan alternatif (Scoones et al., 2019; Birthal et al., 2021). Kritik dan Keterbatasan: Implementasi diversifikasi ini sering terbentur oleh struktur pasar dan kelembagaan. Sebagian besar petani tembakau terikat dalam kontrak kemitraan (contract farming) yang kaku dengan perusahaan atau gudang pembelian. Kontrak tersebut mewajibkan pemenuhan kuota produksi tembakau dalam jumlah tertentu, sehingga petani kehilangan fleksibilitas untuk mendiversifikasi lahan mereka tanpa sanksi pemutusan hubungan kemitraan atau kehilangan jaminan pasar.
- **Penerapan Inovasi Modern dan Precision Farming:** Implementasi teknologi canggih seperti sensor kelembaban tanah, sistem irigasi tetes otomatis, dan pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) digunakan untuk memonitor kebutuhan air dan nutrisi tanaman secara real-time (Wolfert et al., 2017). Mengingat tembakau menghendaki tata udara dan air tanah yang sangat spesifik, akurasi input melalui precision farming ini mampu menekan stres biotik dan abiotik tanaman, sekaligus mengurangi emisi akibat pemborosan energi (Klerkx et al., 2019). Kritik dan Keterbatasan: Hambatan terbesar dari strategi ini adalah tingginya biaya investasi awal perangkat teknologi yang tidak terjangkau bagi sebagian besar petani tembakau skala kecil (smallholders). Keterbatasan keahlian teknis operasional juga menyebabkan adopsi teknologi digital ini berjalan lambat dan hanya terbatas pada lahan-lahan percontohan milik korporasi besar.
- **Penguatan Kapasitas Petani Melalui Penyuluhan Partisipatif:** Transformasi pengetahuan dari metode tradisional ke arah budidaya adaptif dilakukan melalui program sekolah lapang iklim dan pelatihan penyuluhan terpadu (Vilsa Adilla Rahma, 2025). Peningkatan kapasitas ini diarahkan pada penguasaan teknik pascapanen dan manajemen tata air lahan (Davis et al., 2019; FAO, 2018). Kritik dan Keterbatasan: Seringkali, program penyuluhan yang diselenggarakan bersifat top-down, seragam, dan kurang mempertimbangkan kearifan lokal serta keterbatasan finansial riil yang dihadapi petani, sehingga tingkat adopsi terhadap materi penyuluhan tetap rendah pasca-proyek selesai.

Strategi Mitigasi untuk Mendukung Keberlanjutan Tembakau

Budidaya tembakau dihadapkan pada kritik tajam terkait dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Aktivitas agribisnis tembakau diketahui berkontribusi secara signifikan terhadap degradasi lingkungan, penurunan kualitas tanah, serta peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) (Bibi & Rahman, 2023). Isu lingkungan spesifik dalam budidaya tembakau mencakup konsumsi kayu bakar yang masif dalam proses pengeringan daun (curing), penurunan kesuburan tanah akibat praktik monokultur menahun, penggunaan pupuk sintetis nitrogen dan pestisida kimia secara intensif yang memicu residu beracun, tingginya erosi pada lahan kering berlereng, serta tumpukan limbah biomassa pertanian yang belum terkelola dengan baik (Audya Nurul Fathia et al., 2024; Dulbari et al., 2021). Oleh karena itu, perancangan strategi mitigasi yang dikontekstualisasikan dengan karakteristik rantai produksi tembakau menjadi instrumen mutlak untuk mewujudkan keberlanjutan sektor ini.

Pendekatan mitigasi pada ekosistem tembakau harus mengintegrasikan pengurangan emisi karbon dioksida dari aktivitas pascapanen dengan konservasi karbon tanah pada fase budidaya lahan (Grigorieva et al., 2023; Nor Diana et al., 2022). Langkah-langkah mitigasi konkrit dan aplikatif pada budidaya tembakau dijabarkan sebagai berikut:

1. Efisiensi Energi dan Penggunaan Bahan Bakar Alternatif pada Proses Pengeringan (Curing): Isu utama dalam pascapanen tembakau virginia adalah penggunaan kayu bakar secara masif pada curing barn yang memicu deforestasi lokal. Mitigasi dilakukan dengan melakukan modifikasi struktural pada tungku pengering (curing barn hemat energi) menggunakan isolasi termal yang baik guna menekan kehilangan panas. Selain itu, dilakukan substitusi bahan bakar kayu dengan energi terbarukan atau limbah biomassa padat seperti briket cangkang sawit, gas alam, atau bio-pelet (Prasetyo & Hidayat, 2022). Langkah ini terbukti dapat mereduksi emisi karbon hingga 40% per siklus pengeringan daun tembakau.
2. Restorasi Tanah Melalui Rotasi Tanaman dan Sistem Agroforestry: Praktik monokultur tembakau secara intensif merusak struktur fisik dan biologi tanah serta memicu penumpukan patogen tular tanah. Mitigasi dilakukan dengan menerapkan rotasi tanaman secara ketat, mengombinasikan tembakau dengan tanaman penutup tanah (cover crops) atau tanaman legum yang mampu menambat
3. nitrogen atmosfer (Prasetyo & Hidayat, 2022; Grigorieva et al., 2023). Pada lahan kering berlereng, integrasi sistem agroforestry yaitu menanam pohon pematah angin (windbreak) atau pohon berkayu bernilai ekonomi di sekeliling petakan tembakau dapat meningkatkan sekuestrasi karbon sekaligus menekan laju erosi tanah secara signifikan.
4. Pengurangan Pupuk Kimia dan Substitusi Pupuk Organik: Budidaya tembakau umumnya mengaplikasikan pupuk Nitrogen dosis tinggi guna mengejar bobot daun, yang berdampak pada pelepasan emisi dinitrogen oksida (N_2O), gas rumah kaca yang sangat destruktif. Strategi mitigasi diwujudkan melalui penerapan pemupukan berimbang berbasis uji tanah dan substitusi sebagian pupuk kimia dengan pupuk organik matang, bio-fertilizer, atau kompos residu tanaman (Bibi & Rahman, 2023). Pendekatan ini mampu memperbaiki kapasitas tukar kation tanah dan mengurangi emisi gas rumah kaca di tingkat lahan.
5. Pengurangan Pestisida Melalui Pengendalian Hama Terpadu (PHT): Penggunaan pestisida kimia secara intensif untuk mengendalikan hama seperti Spodoptera litura pada tembakau menimbulkan residu beracun pada daun dan mencemari ekosistem air tanah. Mitigasi dilakukan melalui implementasi PHT yang mengutamakan pengendalian mekanis, penanaman tanaman perangkap (refugia), dan pemanfaatan agens hayati (biopestisida) seperti *Bacillus thuringiensis* atau ekstrak nimba (Audya Nurul Fathia et al., 2024). PHT secara nyata menurunkan jejak karbon kimiawi (chemical carbon footprint) dari rantai pasok tembakau.
6. Konservasi Tanah dan Air Serta Pengelolaan Residu Tanaman: Pada lahan kering, pembuatan terasering, rorak, dan aplikasi mulsa organik sangat direkomendasikan untuk menjaga kelembaban tanah dan mencegah aliran permukaan (run-off) yang mengikis lapisan top-soil (Nor Diana et al., 2022). Sisa batang dan daun tembakau pascapanen tidak boleh dibakar di lahan karena akan melepaskan emisi karbon secara instan; residu tersebut wajib dikelola melalui proses pengomposan terkendali atau diolah menjadi biochar untuk diaplikasikan kembali ke dalam tanah sebagai pembenah tanah jangka panjang.

KESIMPULAN

Anomali “kemarau basah” dan cuaca ekstrem berdampak serius terhadap usaha tani tembakau karena memicu cekaman genangan air atau *waterlogging* serta meningkatkan kelembapan lingkungan. Kondisi tersebut mengganggu proses bio-fisiologis tanaman tembakau, terutama melalui peningkatan senyawa toksik H_2O_2 dan penurunan kandungan klorofil hingga 30,35%. Gangguan ini berimplikasi langsung terhadap penurunan mutu fisik daun, yang tampak lebih tipis dan kusam, serta mutu kimiawi daun, seperti rendahnya kadar nikotin dan gula reduksi. Penurunan kualitas daun tersebut menyebabkan tembakau masuk ke kelas mutu rendah atau *low grade*, sehingga harga jual di pasar oligopsoni dapat anjlok hingga 32%. Pada saat yang sama, beban biaya produksi meningkat sekitar 30% karena kebutuhan pestisida tambahan untuk mengendalikan ledakan penyakit akar serta biaya pengeringan buatan melalui *flue-curing*. Kombinasi antara penurunan pendapatan dan peningkatan biaya produksi ini berisiko menjebak petani kecil dalam perangkap utang.

Sebagai respons terhadap kondisi tersebut, petani telah melakukan berbagai strategi adaptasi, antara lain menyesuaikan kalender tanam, membuat bedengan tinggi minimal 40 cm, membangun drainase berjenjang, mengadopsi varietas toleran seperti “NTB-1” dan “Grompol 3”, melakukan diversifikasi tanaman hortikultura, serta mulai menerapkan *precision farming*. Namun, efektivitas strategi tersebut masih terbatas karena adanya hambatan modal yang tinggi, kekakuan kontrak kemitraan, dan rendahnya literasi digital petani. Oleh karena itu, upaya mitigasi perlu diarahkan pada efisiensi energi dan perbaikan tata kelola lahan. Efisiensi energi dapat dilakukan melalui modifikasi tungku pengering menggunakan briket biomassa yang mampu mereduksi emisi karbon hingga 40%. Sementara itu, mitigasi lahan dapat ditempuh melalui rotasi tanaman legum, penerapan sistem agroforestry, pengurangan pupuk nitrogen sintetis melalui substitusi pupuk organik, pemanfaatan biochar dari residu batang tembakau, serta penerapan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) sebagai strategi yang lebih berkelanjutan.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil kajian ini, diperlukan peran Pemerintah melalui Dinas Pertanian dan BMKG disarankan memperluas jangkauan Sekolah Lapang Iklim (SLI) berskala mikro, menyediakan infrastruktur drainase otomatis, serta memfasilitasi teknologi *precision farming* yang ekonomis bagi kelompok tani. Langkah ini harus didukung oleh lembaga penelitian seperti Balittas dalam mempercepat hilirisasi benih varietas unggul tahan cekaman air (seperti “NTB-1” dan “Grompol 3”) tanpa mengorbankan parameter cita rasa industri. Selain itu, pihak korporasi mitra perlu melonggarkan struktur kontrak kemitraan (*contract farming*) guna memberikan ruang diversifikasi lahan fleksibel bagi petani saat risiko anomali tinggi, sekaligus mendanai konversi investasi tungku pengering ramah lingkungan berbasis briket biomassa. Terakhir, petani dan kelompok tani diharapkan secara swadaya menerapkan praktik rotasi tanaman penutup tanah untuk memutuskan siklus patogen, mengolah residu pascapanen menjadi biochar alih-alih dibakar, serta memperkuat kelembagaan kolektif guna mengamankan posisi tawar yang adil dalam penentuan kelas mutu daun di pasar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel tinjauan pustaka (*literature review*) ini. Apresiasi secara khusus diberikan kepada para peneliti terdahulu yang karyanya menjadi referensi utama dalam studi ini. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada instansi terkait serta rekan sejawat yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran konstruktif guna menyempurnakan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvi, S., Khan, M. A., & Ahmad, R. (2020). Climate variability and agricultural productivity: Implications for tobacco farming systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 22145–22158. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08617-5>
- Alvi, S., Khan, M. A., & Ahmad, S. (2020). Impact of climate change on cash crop productivity: Empirical evidence from tobacco farming sub-sectors. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/jaes.2020.09.2.45>

- Appau, A., Drope, J., Witoelar, F., Lencucha, R., & Chavez, I. (2020). Livelihoods of tobacco farmers in Indonesia: A longitudinal study of adaptation and economic vulnerability under climate variability. *World Development*, 129, 104877. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104877>
- Arifin, M. Z., Santoso, B., & Wijaya, A. (2024). Analisis struktur pasar oligopsoni dan ketidakpastian harga ekosistem agribisnis tembakau di bawah cekaman anomali iklim global. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis (JEPA)*, 8(2), 342–356. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2024.008.02.12>
- Audya Nurul Fathia, S., Santoso, B., & Handayani, S. (2024). Analisis mitigasi emisi gas rumah kaca dan manajemen residu kimia pada budidaya tanaman perkebunan semusim. *Jurnal Agroekoteknologi Sinta*, 16(1), 89–102. <https://doi.org/10.24843/JAT.2024.v16.i01.p09>
- Awais, M., Khan, A., & Shah, T. (2026). Institutional support systems for climate change adaptation in commercial agriculture. *Land Use Policy*, 150, 107321. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107321>
- Balittas. (2024). Panduan teknis budidaya tembakau adaptif genangan dan sistem drainase lahan perkebunan. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Balittas. (2024). Laporan uji adaptasi varietas tembakau di lahan terdampak iklim. Malang: Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat.
- Bibi, F., & Rahman, A. (2023). Soil degradation and greenhouse gas emissions in intensive monoculture cash-cropping systems: The case of tobacco. *Environmental Science & Policy*, 142, 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.01.014>
- Birthal, P. S., Hazrana, J., Negi, D. S., & Jha, A. K. (2021). Diversification in Indian agriculture toward high-value crops: The role of smallholders. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 69(1), 89–107. <https://doi.org/10.1111/cjag.12273>
- Birthal, P. S., Hazrana, J., & Negi, D. S. (2021). Diversification as an adaptation strategy to climate change in cash crop agriculture. *Agricultural Systems*, 190, 103126. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103126>
- Biswas, A. K., & Kalra, N. (2018). Evaluasi respons fisiologis tanaman komoditas terhadap kondisi anoksia tanah akibat cuaca ekstrem. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(3), 245–256. <https://doi.org/10.1111/jac.12254>
- BMKG. (2025). Analisis perubahan pola curah hujan dan fenomena kemarau basah di wilayah Nusa Tenggara Barat periode 2020–2025. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Chen, J., Zhang, L., & Wang, Y. (2021). Physiological and biochemical traits of adaptive tobacco cultivars under drought and waterlogging stress conditions. *Agronomy Journal*, 113(3), 2415–2429. <https://doi.org/10.1002/agj2.20651>
- Chen, Y., Liu, J., & Zhu, X. (2021). Effects of climate change on tobacco leaf physiology and quality formation. *Agricultural Systems*, 190, 103101. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103101>
- Dai, M., Liu, H., & Xu, Z. (2020). Breeding climate-resilient tobacco: Genetic approaches for drought and heat tolerance. *Theoretical and Applied Genetics*, 133(8), 2231–2245. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03602-x>
- Davis, K., Babu, S. C., & Blom, S. (2019). Agricultural extension and advisory services in the context of climate change adaptation. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 25(4), 351–364. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2019.1604395>
- Davis, K., Landini, F., van Niekerk, J., Green, K., & Morrison, S. (2019). Extension and advisory services role in climate-smart agriculture for smallholder tobacco and food crop farmers. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 25(5), 411–427. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2019.1661922>
- Dinas Pertanian dan Perkebunan Provinsi Nusa Tenggara Barat. (2024). Laporan tahunan dan analisis alokasi lahan kering produktif sektor perkebunan Provinsi NTB 2023. Distanbun NTB.
- Dinas Pertanian Provinsi Nusa Tenggara Barat. (2025). Data statistik anomali cuaca dan fluktuasi curah hujan bulanan wilayah Lombok Timur. Dinas Pertanian NTB.

- Dulbari, D., Agusta, H., & Santosa, E. (2021). Dampak perubahan iklim terhadap produktivitas perkebunan rakyat dan strategi mitigasi berbasis kearifan lokal. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 49(2), 204–211. <https://doi.org/10.24831/jai.v49i2.35621>
- FAO. (2018). *Climate-smart agriculture sourcebook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/I7994EN>
- FAO. (2018). *Climate-smart agriculture case studies: Training manual for sustainable tobacco farming transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gebre, G. G., Isoda, H., Rahut, D. B., & Amekawa, Y. (2023). Climate change impacts on agricultural productivity and farmers' adaptation strategies: Evidence from developing countries. *Heliyon*, 9(5), e15832. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15832>
- Grigorieva, E. A., Livenets, A. S., & Strizhkova, N. V. (2023). Agroforestry and crop rotation as mitigation strategies for microclimate stabilization in cash crop fields. *Atmosphere*, 14(4), 682. <https://doi.org/10.3390/atmos14040682>
- Guan, Q., de los Reyes, B. G., & Isoda, A. (2020). Calcium signaling mechanisms and antioxidant defense management in Solanaceae crops under waterlogging stress. *Environmental and Experimental Botany*, 171, 103952. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103952>
- Handayani, R., Siregar, H., & Nugroho, A. (2020). Waterlogging stress reduces photosynthetic activity and root function of tobacco plants in dryland agriculture. *Biodiversitas*, 21(11), 5301–5309. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211139>
- He, L., Tan, X., & Zhang, Y. (2018). Exogenous calcium supplementation mitigates waterlogging stress by maintaining photosynthetic efficiency in *Cucumis sativus*. *Scientia Horticulturae*, 238, 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.065>
- Hermawan, A., Suryani, E., & Kurniawan, R. (2025). Climate adaptation and institutional resilience in dryland agriculture systems in Indonesia. *Sustainability*, 17(2), 844. <https://doi.org/10.3390/su17020844>
- Hidayat, R., Setiawan, A., & Rahmawati, D. (2022). Dampak cekaman genangan terhadap fisiologi tanaman tembakau di lahan kering. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 50(3), 210–219. <https://doi.org/10.24831/jai.v50i3.39876>
- Hidayat, R., Sukwika, T., & Siregar, I. Z. (2022). Respons fisiologis dan akumulasi hidrogen peroksida tanaman tembakau terhadap cekaman genangan dengan aplikasi kalsium eksogen. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 50(2), 185–193. <https://doi.org/10.24831/jai.v50i2.41105>
- Hidayat, T., Kusmiyati, F., & Wibowo, S. (2022). Effect of increasing temperature on physiological characteristics and nicotine content of Virginia tobacco. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(3), 3451–3460. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.093.3451>
- Khan, A., Ali, S., & Hussain, M. (2024). Climate change mitigation strategies and adaptation policies for economic sustainability of tobacco farming in developing regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(8), 11420–11435. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31842-8>
- Khan, M. A., Ali, S., & Hussain, Z. (2024). Temperature stress and tobacco quality under changing climate conditions. *Industrial Crops and Products*, 205, 117541. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.117541>
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Kurniawati, F., & Wardana, I. M. (2023). Analisis kapasitas adaptasi petani tembakau terhadap variabilitas curah hujan ekstrem di Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri (JALTI)*, 29(2), 115–128. <https://doi.org/10.21082/jalti.v29n2.2023.p115-128>
- Kusumaningrum, D., Purwanto, J., & Subekti, S. (2023). Analisis kerentanan sosial-ekonomi dan kerugian finansial petani tembakau Temanggung akibat anomali iklim global. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis (JEPA)*, 7(1), 89–102. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2023.007.01.9>

- Kusumaningrum, D., Saptana, S., & Ashari, A. (2023). Socio-economic vulnerability of tobacco farmers under climate change conditions. *Jurnal Agro Ekonomi*, 41(2), 145–158. <https://doi.org/10.21082/jae.v41n2.2023.145-158>
- Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S., & Branca, G. (2018). Climate smart agriculture: Building resilience to climate change in vulnerable cash crop sectors. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5>
- Luan, Y., Zhang, J., & Wang, X. (2018). Oxidative stress damage and lipid peroxidation kinetics in *Nicotiana tabacum* under abiotic stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 412–421. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.07.029>
- Marett, C. C., Tollenaar, M., & Deen, W. (2021). Climate variability effects on tobacco production and leaf quality under changing environmental conditions. *Agricultural Systems*, 190, 103095. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103095>
- Musyoka, M., & Onjala, J. (2023). Climate shocks and rural livelihood vulnerability among smallholder farmers. *Climate and Development*, 15(4), 322–334. <https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2031234>
- Nor Diana, M., Ramli, Z., & Ahmad, S. (2022). Water and energy efficiency practices in modern cash-crop agriculture for carbon footprint mitigation. *Sustainability*, 14(11), 6543. <https://doi.org/10.3390/su14116543>
- Prasetyo, A., & Hidayat, T. (2022). Rekayasa curing barn hemat energi dan substitusi bahan bakar briket biomassa dalam pengeringan tembakau virginia. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 11(3), 412–425. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v11i3.412-425>
- Prasetyo, B., & Kurniawan, D. (2021). Climate variability and its effect on tobacco leaf quality in Indonesia dryland areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 012104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012104>
- Purboningtyas, D., Saptana, S., & Ashari, A. (2018). Kerentanan ekonomi rumah tangga petani tembakau terhadap perubahan iklim di Indonesia. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 16(2), 101–114. <https://doi.org/10.21082/akp.v16n2.2018.101-114>
- Rahayu, S., & Herawati, T. (2021). Tata air makro dan mikro lahan perkebunan tembakau sebagai upaya resiliensi iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 15(1), 33–46. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v15n1.2021.p33-46>
- Rahman, M., Arifin, Z., & Setiawan, H. (2023). High humidity and root disease intensity on tobacco plantations under climate anomaly conditions. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 45(2), 210–221. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v45i2.3890>
- Rahman, M. F., Hidayati, N., & Prasetyo, A. (2023). Climate uncertainty and socio-economic vulnerability among tobacco farmers in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1230(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012045>
- Rahmawati, D., Suryadi, Y., & Prasetyo, J. (2023). Dampak genangan terhadap infeksi patogen pada tanaman tembakau di Lombok Timur. *Jurnal HPT Indonesia*, 12(2), 45–58.
- Salman Chowdhury, M., Ahmed, R., & Islam, M. (2025). Multidimensional and holistic adaptation strategies for smallholder farmers under climate-induced waterlogging. *Climate Risk Management*, 47, 100654. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100654>
- Sartika, D., Nurhayati, S., & Wibowo, H. (2024). Adaptation and mitigation strategies for climate-resilient tobacco farming systems in Indonesia. *Biodiversitas*, 25(3), 1456–1465. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250327>
- Setiawan, A., Prasetya, B., & Wahyudi, A. (2022). Physiological response of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) to waterlogging stress. *Crop Science Journal*, 15(3), 112–125.
- Scoones, I., Newell, P., & Leach, M. (2019). The politics of green transformations in agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, 46(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/03066150.2018.1512483>
- Scoones, I., Stirling, A., Abrol, D., Atela, J., Charli-Joseph, L., Eakin, H., & Ely, A. (2019). Transformations to sustainability: Combining structural, systemic and enabling approaches in high-risk monoculture landscapes. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 31, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.01.007>
- Soleh, A. M., & Hermawan, R. (2023). Strategi diversifikasi pendapatan dan tingkat kerentanan sosio-ekonomi buruh tani harian pada komoditas tembakau monokultur.

- Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian, 17(3), 210–224. <https://doi.org/10.20966/jsep.v17i3.16541>
- Suadi, M., Haryono, D., & Fadli, M. (2021). Adaptation strategies of dryland tobacco farmers facing climate variability in Indonesia. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 36(2), 245–257. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v36i2.45678>
- Suadi, M., Hartono, S., & Waluyati, L. R. (2021). Dampak kemarau basah La Niña terhadap kualitas daun, biaya produksi, dan pendapatan petani tembakau Virginia di Pulau Lombok. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 15(2), 145–158. <https://doi.org/10.20956/jsep.v15i2.13455>
- Suryadi, A., Lestari, D., & Putra, I. (2022). Karakteristik lahan kering dan kesesuaiannya untuk budidaya tembakau Virginia di Lombok Timur. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(2), 115–126. <https://doi.org/10.21082/jti.v46n2.2022.115-126>
- Suryadi, B., Firmansyah, A., & Lestari, R. (2022). Karakteristik lahan kering dan kerentanan pertanian tembakau terhadap anomali iklim di NTB. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(1), 33–44. <https://doi.org/10.21082/jti.v46n1.2022.33-44>
- Sutrisno, B., Haryono, D., & Fadli, M. (2022). Dampak perubahan iklim terhadap kualitas dan produktivitas tembakau pada lahan kering di Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Agro Ekonomi*, 40(1), 55–68. <https://doi.org/10.21082/jae.v40n1.2022.55-68>
- Twidyawati, M., Supriyadi, S., & Sugiarto, S. (2021). Strategi adaptasi petani perkebunan semusim menghadapi perubahan iklim global. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Perkebunan*, 12(2), 101–114. <https://doi.org/10.22146/jep.v12i2.64321>
- Twidyawati, R., Audya, P., & Herawati, T. (2021). Sustainable agriculture and climate mitigation practices in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(2), 022041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022041>
- Vilsa Adilla Rahma, A. (2025). Penguatan kelembagaan kelompok tani dan efektivitas sekolah lapang iklim dalam budidaya tembakau berkelanjutan. *Jurnal Penyuluhan Pertanian Sinta*, 20(1), 55–68. <https://doi.org/10.25015/penyuluhan.v20i1.45621>
- Wahyudi, A., & Prasetyo, E. (2021). Impact of rainfall anomaly on curing quality and economic value of Virginia tobacco in East Lombok. *Jurnal Agro Ekonomi*, 39(2), 145–158. <https://doi.org/10.21082/jae.v39n2.2021.145-158>
- Wahyudi, T., & Prasetyo, E. (2021). Sistem produksi tembakau dan tantangan perubahan iklim pada lahan kering Indonesia. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 17(1), 55–67. <https://doi.org/10.20956/jsep.v17i1.16789>
- Wang, H., Chen, X., & Li, Y. (2017). Calcium-mediated mitigation of growth inhibition during the squaring stage of tobacco exposed to short-term waterlogging. *Field Crops Research*, 214, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.019>
- Wang, H., Li, Y., & Chen, Z. (2022). Rainfall variability and tobacco leaf quality under climate stress conditions. *Field Crops Research*, 283, 108542. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108542>
- Wang, L., Zhang, Y., & Li, X. (2022). Evaluation of Climate-Smart Agriculture practices in tobacco production value chains. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130752>
- Wardana, A., Subekti, S., & Haris, A. (2022). Penerapan sistem informasi kalender tanam terpadu dalam menekan risiko gagal panen komoditas perkebunan semusim. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 23(1), 15–28. <https://doi.org/10.31172/jmg.v23i1.822>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>
- Zhang, H., Wang, R., & Dynamic, Q. (2019). Effects of shift in transplanting dates on tobacco leaf quality and chemical components under climate warming scenario. *Field Crops Research*, 236, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.018>