

DAMPAK ADOPSI CLIMATE-SMART AGRICULTURE TERHADAP KINERJA USAHATANI: TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIS 2015-2025

Lu'lu'a Ulyn Ni'mah*¹, Lutfi Aris Sasongko¹

¹Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Wahid Hasyim

Email: ulynlulua@unwahas.ac.id

Abstract

This systematic review synthesizes empirical evidence from 2015-2025 on the impacts of Climate-Smart Agriculture (CSA) adoption on farm performance. While CSA is promoted to raise productivity, strengthen resilience, and reduce emissions at the farm level, empirical findings remain fragmented and performance indicators are not yet standardized. This review systematically assesses effects during 2015-2025 on a core set of farm-level indicators yield ($t\ ha^{-1}$), cost (USD PPP ha^{-1}), margin/return on investment (ROI), income volatility, resilience, and environmental outcomes distinguishing single practices from bundled packages in the context of Indonesia and the broader ASEAN region. We searched Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, and Google Scholar (2015-2025), normalized data to common units ($t\ ha^{-1}$, USD PPP ha^{-1} , $CO_2e\ ha^{-1}$), and conducted an analytical-comparative synthesis. Water-efficiency practices (e.g., alternate wetting and drying/AWD) generally maintained or increased yields, lowered water/energy costs, and curtailed CH_4 emissions. Multi-season field studies reported ~21-73% reductions in CH_4 and ~26-29% declines in global warming potential (GWP), contingent on adequate nitrogen management. Conservation agriculture improved soil health and medium-term profitability. Moreover, bundled practice packages (e.g., water-nitrogen-advisory) more consistently delivered multidimensional benefits than single practices. Heterogeneity is driven primarily by agroecology, asset and service access, and commodity (predominantly rice), warranting caution when generalizing to non-rice systems. Overall, evidence from 2015-2025 supports scaling CSA packages in tandem with lightweight measurement, reporting, and verification (MRV) based on standardized farmer-level indicators to ensure that technical gains translate into measurable economic and environmental benefits.

Keywords: climate-smart agriculture, Indonesia, ASEAN, productivity, costs, ROI, resilience, GHG emissions

Abstrak

Artikel ini meninjau secara sistematis bukti empiris pada periode 2015-2025 tentang dampak adopsi Climate-Smart Agriculture (CSA) terhadap kinerja usahatani. Climate-Smart Agriculture (CSA) digunakan untuk meningkatkan produktivitas, memperkuat ketahanan dan menurunkan emisi di tingkat usahatani, tetapi bukti empiris masih tersebar dan indikator kinerja belum seragam. Tujuan review ini adalah meninjau secara sistematis bukti dari periode 2015-2025 mengenai dampak adopsi CSA terhadap indikator baku kinerja usahatani (hasil/ha, biaya/ha, margin/ROI, volatilitas pendapatan, ketahanan dan lingkungan) dengan pembedaan praktik tunggal vs paket (bundled) dalam konteks Indonesia/ASEAN. Metode yang digunakan adalah penelusuran pada Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink dan Google Scholar pada periode 2015-2025. Data dinormalisasi ke dalam satuan baku (t/ha , USD PPP/ha, CO_2e/ha) dan disintesis secara analitis-komparatif. Hasil praktik efisiensi air (misalnya alternate wetting and drying/AWD) umumnya menjaga/meningkatkan hasil, menurunkan biaya air/energi dan menekan emisi CH_4 . Studi lapang multi-musim menunjukkan penurunan CH_4 sekitar 21-73% dan GWP turun sekitar 26-29% dengan pengelolaan N yang memadai. Conservation agriculture meningkatkan kesehatan tanah dan profitabilitas jangka menengah. Selain itu, praktik paket (air-N-advisori) lebih konsisten memberi manfaat multi-dimensi dibanding praktik tunggal. Heterogenitas terutama dipengaruhi agroekologi, aset/layanan dan komoditas (dominan padi), sehingga generalisasi ke non-padi perlu kehati-hatian. Kesimpulan yang dapat diambil yaitu bukti 2015-2025 mendukung penskalaan paket CSA dengan MRV (Measurement, Reporting and Verification) ringan berbasis indikator baku di tingkat petani untuk memastikan manfaat teknis terkonversi menjadi manfaat ekonomi-lingkungan yang terukur.

Kata kunci: climate-smart agriculture, Indonesia, ASEAN, produktivitas, biaya, ROI, ketahanan, emisi GRK

PENDAHULUAN

Perubahan iklim meningkatkan volatilitas produksi, biaya input dan risiko pendapatan pada tingkat usahatani sehingga menekan daya saing agribisnis, terutama pada komoditas pangan strategis di negara berkembang. Kerangka *Climate-Smart Agriculture* (CSA) diperkenalkan untuk mencapai tiga sasaran secara simultan yaitu meningkatkan produktivitas, memperkuat adaptasi/ketahanan dan memitigasi emisi gas rumah kaca (Retnaningtyas, 2024). Pedomannya operasional CSA menekankan bahwa keberhasilan implementasi tidak hanya bergantung pada teknologi budidaya, tetapi juga pada kelembagaan, akses informasi dan dukungan kebijakan lintas rantai nilai (ASEAN, 2015; World Bank, 2021).

Di kawasan Asia Tenggara, CSA dipromosikan melalui panduan regional dan profil kebijakan berbasis negara yang memetakan risiko iklim, hambatan adopsi dan *entry points* investasi untuk penskalaan praktik CSA (ASEAN, 2015; World Bank, 2021). Dokumen-dokumen tersebut menekankan pentingnya layanan penyuluhan, pembiayaan hijau, integrasi informasi iklim serta penyeragaman indikator kinerja di level petani agar manfaat CSA dapat diinternalisasi dalam keputusan agribisnis dan kebijakan publik (ASEAN, 2015; World Bank, 2021).

Secara empiris, beragam studi melaporkan bahwa adopsi praktik CSA seperti efisiensi air dan pupuk, varietas toleran, konservasi tanah/mulsa, *integrated pest management*, agroforestri dan layanan advisory digital berkorelasi positif dengan produktivitas dan efisiensi biaya pada berbagai komoditas, meskipun besaran efeknya dipengaruhi oleh agroekologi, skala usaha dan akses terhadap layanan pendukung (Zheng et al., 2024; Bhatnagar et al., 2024). Pada dimensi ekonomi, bukti mengenai pendapatan/keuntungan dan pengurangan risiko cenderung positif tetapi heterogen akibat perbedaan definisi indikator dan rancangan penelitian (Zheng et al., 2024; Bhatnagar et al., 2024). Pada dimensi lingkungan, beberapa praktik menunjukkan penurunan emisi dan perbaikan kesehatan tanah, namun metrik lingkungan di tingkat usahatani masih perlu distandarisasi agar hasil lintas studi dapat dibandingkan (Anuga et al., 2020; Zheng et al., 2024).

Literatur adopsi juga menegaskan peran faktor penentu karakteristik petani, aset usaha tani, kondisi biofisik, akses pembiayaan, informasi/penyuluhan dan dukungan pasar yang membentuk keputusan mengadopsi praktik CSA (Finizola e Silva et al., 2024; Bhatnagar et al., 2024). Variasi arah dan kekuatan pengaruh faktor-faktor tersebut menunjukkan perlunya desain intervensi yang kontekstual dan berlapis, mengombinasikan insentif, layanan informasi iklim, *risk sharing* dan penguatan kelembagaan (Finizola e Silva et al., 2024).

Meskipun tren temuan mengarah positif, bukti masih terfragmentasi menurut komoditas, wilayah dan indikator kinerja (hasil/ha, biaya/ha, ROI/pendapatan, ketahanan operasional serta jejak GRK). Sebagian tinjauan terbaru mencoba mengonsolidasikan temuan lintas praktik dan indikator, tetapi variasi metodologi serta pelaporan membuat sintesis menyeluruh masih diperlukan (Anuga et al., 2020; Zheng et al., 2024).

Berdasarkan konteks tersebut, artikel ini bertujuan (i) mengintegrasikan bukti empiris periode 2015-2025 mengenai dampak adopsi CSA terhadap kinerja usahatani pada lima dimensi (produktivitas, efisiensi biaya, pendapatan/keuntungan, ketahanan dan lingkungan), (ii) mengidentifikasi faktor pemoderasi (komoditas, agroekologi, skala, akses layanan dan instrumen kebijakan), serta (iii) merumuskan implikasi praktis bagi model bisnis agribisnis dan kebijakan penskalaan CSA di Indonesia/ASEAN (Retnaningtyas (2024); ASEAN, 2015; Page et al., 2021).

Artikel ini mengisi celah antara ulasan berskala global yang cenderung memadukan isu adopsi, dampak dan tujuan CSA lintas level analisis sehingga indikator keluaran tingkat usahatani kurang terstandar serta keterbatasan bukti yang secara spesifik menyorot konteks Indonesia/ASEAN. Berbeda dari ulasan komprehensif terkini yang bersifat global dan multi-kawasan (misalnya fokus pada produktivitas, pendapatan, ketahanan dan emisi secara umum) atau berfokus kawasan non-ASEAN seperti Eropa dan Sub-Sahara Afrika, artikel ini menegaskan kebaruan pada empat hal: (i) fokus eksklusif pada level usahatani dengan indikator keluaran terstandar (hasil/ha, biaya/ha, margin/ROI, volatilitas pendapatan, indikator ketahanan operasional dan CO₂e/ha atau *soil health*); (ii) konteks Indonesia/ASEAN melalui analisis subkelompok dengan bukti global sebagai pembanding; (iii) pembedaan praktik tunggal versus

praktik paket (*bundled services*); dan (iv) penyajian *evidence map* praktik dan outcome yang memungkinkan sintesis analitis-komparatif, bukan deskriptif. Dengan demikian, naskah ini secara eksplisit menunjukkan *research gap* yaitu ketiadaan ringkasan sistematis 2015-2025 yang membatasi diri pada indikator tingkat petani, berfokus pada Indonesia/ASEAN dan membedakan praktik tunggal dibanding paket. (Zheng et al., 2024; Ma, 2024; Gemtou et al., 2024; Ogunyiola et al., 2022).

Ruang lingkup dibatasi pada usahatani padi, jagung/serelia dan hortikultura di Indonesia/ASEAN. Sedangkan bukti dari luar kawasan hanya digunakan sebagai pembanding. Praktik CSA yang dianalisis diklatsterkan menjadi: (1) efisiensi air (*alternate wetting and drying/AWD* pada padi); (2) efisiensi nutrisi/pemupukan berbasis rekomendasi; (3) paket *conservation agriculture* (olah tanah minimum); (4) varietas toleran; (5) pengendalian hama terpadu (PHT); dan (6) agroforestri maupun advisori digital. Outcome dioperasionalkan sebagai: P1 produktivitas (hasil/ha), P2 efisiensi biaya (biaya total/ha dan subkomponen), E ekonomi (margin/ROI serta volatilitas pendapatan sebagai proksi risiko), K ketahanan (stabilitas hasil/antar-musim atau *time-to-recover*) dan L lingkungan (CO_2e/ha dan *soil health* sebagai proksi di sistem kering). Praktik dikode T (tunggal) atau B (bundel) untuk analisis komparatif, dengan pemilihan klaster didukung bukti meta-analitik/ulasan mutakhir, misalnya AWD menurunkan emisi CH_4 dengan konsekuensi N_2O yang perlu dikelola, *conservation agriculture* menunjukkan respons hasil yang kontekstual namun berpotensi stabil dalam jangka waktu tertentu dan PHT memberikan manfaat agronomis-lingkungan jika dijalankan sebagai paket yang terintegrasi (Zhao et al., 2024; Li et al., 2024; Pittelkow et al., 2015; Knapp et al., 2018).

METODOLOGI

1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur sistematis (*systematic literature review*, SLR) untuk mensintesis bukti empiris mengenai dampak adopsi *Climate-Smart Agriculture* (CSA) terhadap kinerja usahatani. Perumusan rancangan SLR mengacu pada praktik baik penyusunan *review* ilmiah (Snyder, 2019), kerangka pelaporan sistematis (Moher et al., 2009) dan pedoman perencanaan/penyusunan *evidence synthesis* yang menekankan transparansi prosedur pencarian, seleksi dan sintesis (Grant & Booth, 2009; Gough et al., 2012).

2. Sumber Data dan Kriteria Pemilihan Literatur

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber akademik dan portal penerbit ilmiah, meliputi: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink dan Google Scholar yang relevan dengan topik penelitian. Kriteria pemilihan literatur mencakup:

1. Publikasi 2015-2025 untuk memastikan relevansi data.
2. Studi yang membahas adopsi/praktik CSA pada tingkat usahatani dan melaporkan indikator kinerja (hasil/ha, biaya/ha, ROI/pendapatan, indikator ketahanan/adaptasi dan emisi/jejak lingkungan).
3. Artikel yang dipublikasikan dalam jurnal terindeks Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink dan/atau SINTA 1-4.

3. Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan melalui database akademik: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink dan Google Scholar sebagai pelengkap penelusuran. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur antara lain: *climate-smart agriculture* AND *adoption* AND (*farm* OR *smallholder*); *farm performance* AND (*productivity* OR *cost efficiency*); (*income* OR *ROI*) AND (*risk* OR *volatility*) AND (*farmer* OR *smallholder*); (*resilience* OR *adaptation*) AND (*farm* OR *smallholder*); (*greenhouse gas* OR CH_4 OR N_2O OR *soil health*); (*alternate wetting and drying* OR *AWD* OR *conservation agriculture*) AND (*rice* OR *paddy*). Literatur yang relevan kemudian

diseleksi berdasarkan abstrak, metodologi, serta relevansi terhadap tujuan penelitian, dan hanya literatur yang memenuhi kriteria dimasukkan dalam analisis (Snyder, 2019).

4. Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan menggunakan metode *content analysis*, di mana hasil studi yang telah dikumpulkan dikelompokkan berdasarkan tema utama yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu:

1. Praktik CSA yang diteliti (efisiensi air/pupuk, varietas toleran, konservasi tanah/mulsa, PHT, agroforestri dan *digital advisory*),
2. Produktivitas dan efisiensi biaya,
3. Pendapatan/keuntungan dan risiko,
4. Ketahanan/adaptasi,
5. Lingkungan/mitigasi,
6. Faktor pemungkin adopsi (akses penyuluhan/pembiayaan, skala usaha, agroekologi dan kelembagaan/pasar).

Setiap kategori dianalisis menggunakan teknik deskriptif kualitatif, dengan mengidentifikasi pola, tren serta kesenjangan dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

5. Validitas dan Keabsahan Data

Untuk memastikan validitas dan keabsahan data, penelitian ini menggunakan pendekatan triangulasi sumber, yaitu dengan membandingkan temuan dari berbagai studi serta laporan organisasi internasional yang terpercaya (Yin, 2018). Selain itu, analisis kritis terhadap metodologi yang digunakan dalam studi terdahulu dilakukan untuk menilai kualitas serta generalisasi temuan yang telah dipublikasikan. Dengan metode ini, penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan yang komprehensif serta dapat dijadikan rujukan dalam pengambilan kebijakan dan pengembangan inovasi berkelanjutan dalam agribisnis.

6. Ruang Lingkup & Definisi Operasional.

- Populasi & wilayah: petani kecil/usahatani di Indonesia dan negara-negara ASEAN. Bukti di luar ASEAN digunakan sebagai pembanding (subkelompok global) bila relevan.
- Praktik CSA yang dinilai (6 klaster): (1) efisiensi air (*mis. alternate wetting and drying/AWD* pada padi); (2) efisiensi nutrisi/pemupukan berbasis rekomendasi; (3) paket *conservation agriculture*; (4) varietas toleran cekaman; (5) PHT; (6) agroforestri dan *advisori digital*.
- Komoditas prioritas: padi (utama), jagung/serelia dan hortikultura.
- Outcome tingkat usahatani (terstandar): P1 Produktivitas (hasil/ha); P2 Efisiensi biaya (biaya total/ha atau subkomponen, *mis. air, energi, pupuk*); E Ekonomi (margin/ROI, volatilitas pendapatan sebagai proksi risiko); K Ketahanan/Adaptasi (stabilitas hasil/antar-musim, *time-to-recover*, atau indeks ketahanan operasional); L Lingkungan/Mitigasi (CO₂e/ha bila tersedia dan *soil health* sebagai proksi di sistem kering).
- Praktik tunggal vs paket: setiap bukti dikode sebagai T (tunggal) atau B (bundel) untuk analisis komparatif.

7. Indikator Kinerja Usahatani: Definisi Operasional dan Satuan Baku

Untuk memastikan keterbandingan lintas studi (2015-2025), ditetapkan definisi operasional dan satuan baku sebagai berikut. Semua nilai dilaporkan pada satuan baku di Tabel 1. Jika studi primer memakai satuan lain, dilakukan transformasi sesuai catatan konversi.

Tabel 1. Indikator Kinerja Usahatani: Definisi Operasional dan Satuan Baku

Dimensi/Indikator	Definisi operasional (rumus ringkas)	Satuan baku (preferred)
P1 Produktivitas (hasil/ha)	Produksi per luas panen. Untuk padi, dinormalkan ke gabah kering panen (GKP) 14% kadar air	t/ha

P2 Efisiensi biaya (biaya/ha)	Total biaya operasional per hektar dan/atau subkomponen (air, energi, pupuk, pestisida)	USD PPP/ha (tahun dasar dinyatakan)
E Ekonomi - Margin kotor	Margin = Penerimaan - Biaya variabel	USD PPP/ha
E Ekonomi - ROI	ROI = Margin / Biaya variabel (rasio atau %)	rasio (atau %)
E Risiko - Volatilitas pendapatan	CV pendapatan = $(SD/Mean) \times 100$ pada deret musiman/plot	%
K Ketahanan/Adaptasi - Stabilitas	(i) CV hasil antar-musim (lebih kecil = lebih tahan); dan/atau (ii) <i>time-to-recover</i> pascakejadian ekstrem	% (CV), musim (TTR)
L Lingkungan - Emisi GRK	$CO_2e/ha = (CH_4 \times GWP_{100,AR6}) + (N_2O \times GWP_{100,AR6})$	CO_2e/ha per musim (atau per tahun)
L Lingkungan - Kesehatan tanah (<i>soil health</i>)	Indikator utama: SOC; pelengkap: stabilitas agregat, infiltrasi, biomassa mikroba	SOC: tC/ha (utama)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Praktik *Climate-Smart Agriculture*

Spektrum praktik *climate-smart agriculture* (CSA) yang dominan pada 2015-2025 mencakup pengelolaan air hemat seperti *alternate wetting and drying* (AWD), pemupukan berimbang dan berbasis rekomendasi spesifik lokasi, penggunaan varietas toleran cekaman, paket *conservation agriculture*, pengendalian hama terpadu, agroforestri dan layanan advisi digital yang menyalurkan informasi iklim dan rekomendasi agronomi secara tepat waktu. Seluruh praktik itu dirancang untuk mengejar tiga pilar CSA yaitu produktivitas/pendapatan, adaptasi/ketahanan dan mitigasi emisi. Namun titik beratnya bervariasi menurut komoditas, agroekologi dan kesiapan layanan pendukung di lapangan (Zheng et al., 2024). Literatur terbaru juga menegaskan bahwa efektivitas sebuah praktik sangat dipengaruhi oleh konteks, mulai dari status irigasi hingga kapasitas penyuluhan dan akses alat sederhana seperti *soil tester*, sehingga evaluasi praktik sebaiknya selalu ditempatkan dalam lanskap lokal yang spesifik (Bhatnagar et al., 2024). Pada konteks Indonesia/ASEAN, urgensi efisiensi air dan nutrisi terlihat konvergen dengan kebutuhan menstabilkan produksi pangan strategis dalam cuaca yang makin variabel, sebagaimana disorot oleh statistik resmi dan dokumen sektoral (BPS, 2023; Pusdatin, 2022).

Kecenderungan yang semakin kuat adalah *bundling* yaitu menggabungkan dua atau lebih praktik ke dalam satu paket yang saling melengkapi, misalnya AWD dipadukan dengan manajemen nitrogen presisi dan advisi berbasis cuaca. Paket seperti itu tidak hanya menekan pemborosan input, tetapi juga mengurangi *decision risk* petani karena rekomendasi operasional menjadi lebih berbasis data dan situasional. Hal ini berdampak pada manfaat agronomis dan ekonomi cenderung lebih stabil dari musim ke musim (Bhatnagar et al., 2024). Di beberapa kasus, *bundling* juga mempermudah desain insentif dan pendampingan karena objek intervensi menjadi paket layanan, bukan “satu alat satu manfaat”, sehingga koordinasi antar-aktor rantai nilai dari penyedia input, penyuluh, koperasi hingga *offtaker* dapat dibangun lebih sistematis. Efek penguat inilah yang menjelaskan mengapa praktik tunggal sering kali kalah konsisten dibanding praktik paket, terutama pada agroekosistem yang lebih tidak ideal.

Contoh klasik terlihat pada *conservation agriculture*, kesehatan tanah diukur melalui C-organik, stabilitas agregat dan aktivitas biota umumnya membaik sehingga produktivitas lebih tahan terhadap kekeringan maupun suhu yang meningkat (Teng et al., 2024). Sebaliknya, penerapan parsial (misalnya

no-till) kerap menghasilkan respons hasil yang tidak stabil atau hanya jangka pendek, sehingga kesimpulan kebijakan bisa bias bila paketnya tidak dilihat secara utuh (Lorenzetti & Fiorini, 2024). Di lahan sawah, *bundling* sering mengambil bentuk AWD, pengaturan N dan *timing* irigasi. Kombinasi ini menahan biaya air/energi sembari menjaga hasil, dengan catatan pengelolaan nitrogen ditata agar emisi N_2O tidak meningkat (Li et al., 2024; Zhao et al., 2024).

2. Dampak pada Produktivitas & Efisiensi Biaya

Sintesis lintas studi menunjukkan bahwa adopsi CSA umumnya berasosiasi dengan peningkatan hasil per hektar dan/atau penurunan biaya per hektar, terutama ketika rekomendasi pertanian presisi untuk air dan nitrogen dijalankan secara disiplin (Zheng et al., 2024). Contohnya pada sistem padi, AWD kerap menjaga hasil tetap setara bahkan meningkat, sembari menurunkan biaya irigasi dan energi karena volume dan durasi penggenangan berkurang. Kondisi ini menguntungkan terutama di wilayah yang menghadapi tekanan biaya energi pompa (Li et al., 2024). Di sistem kering, paket *conservation agriculture* menurunkan biaya olah tanah dan memperbaiki produktivitas melalui pemulihan fungsi tanah (Lorenzetti & Fiorini, 2024; Teng et al., 2024). Variasi besaran efek memang ada dipengaruhi komoditas, agroekologi dan akses layanan, tetapi arah agregatnya tetap cenderung positif.

Efek efisiensi input pupuk sangat dipengaruhi kualitas rekomendasi dosis-waktu, ketersediaan uji tanah sederhana dan akses advisori berbasis data. Ketika petani dapat mengatur pemupukan sesuai kebutuhan tanaman dan fase pertumbuhan, biaya pupuk per hektar menurun secara terukur dan respons hasil menjadi lebih dapat diprediksi antar-musim (Zheng et al., 2024). Faktor layanan ini menjelaskan perbedaan performa antar lokasi yaitu pada daerah dengan penyuluhan aktif dan perangkat uji murah, *learning curve* adopsi menjadi lebih cepat dan *trial-and-error* yang mahal dapat dikurangi. Pada akhirnya, kombinasi efisiensi air-pupuk yang didukung advisori menghasilkan dua keuntungan sekaligus yaitu biaya turun sekaligus risiko keputusan ikut menyempit. Hal ini dapat dilihat sebagaimana pada Tabel 2.

Tabel 2. Praktik CSA dan Dampak pada Produktivitas-Efisiensi

Praktik	Dampak produktivitas-efisiensi	Catatan konteks
AWD (padi)	Hasil umumnya tetap atau meningkat, efisiensi penggunaan air meningkat, biaya pemompaan menurun (Li et al., 2024)	Pengaturan irigasi dan nitrogen diperlukan agar emisi N_2O tidak meningkat (Zhao et al., 2024)
Efisiensi pupuk	Hasil cenderung meningkat, biaya pupuk per hektar menurun bila rekomendasi dosis waktu diterapkan (Zheng et al., 2024)	Akses advisori dan uji tanah meningkatkan konsistensi manfaat
<i>Conservation agriculture</i> (paket)	Profitabilitas jangka menengah meningkat, biaya olah tanah menurun, hasil meningkat jika paket lengkap diterapkan (Lorenzetti & Fiorini, 2024)	Kesesuaian agroekologi menentukan stabilitas respons hasil

3. Dampak pada Pendapatan/Keuntungan dan Risiko

Ketika hasil meningkat atau biaya input turun, margin dan ROI akan cenderung membaik. Namun besaran perbaikan sangat ditentukan harga output, biaya awal adopsi dan koordinasi pasar, sehingga pada sebagian kasus manfaat ekonomi baru terlihat jelas setelah melampaui satu-dua musim (Zheng et al., 2024). Pada sistem padi ber-AWD, penghematan energi irigasi dan air sering langsung tercermin pada biaya, sementara hasil relatif terjaga. Kombinasi ini mendorong *payback period* yang lebih singkat terutama bila petani memiliki akses kredit mikro atau skema pembiayaan input (Li et al., 2024). Pada sistem kering, penurunan biaya olah tanah dari *conservation agriculture* berkontribusi pada margin dan dalam jangka menengah peningkatan fungsi tanah ikut menyokong kestabilan kinerja (Lorenzetti & Fiorini, 2024). Titik kuncinya bukan sekadar “teknologi hemat input”, melainkan paket teknis-institusional yang memastikan manfaat teknis betul-betul menjadi manfaat finansial.

Dimensi risiko finansial bergerak searah dengan stabilitas teknis, yaitu ketika variasi hasil menurun dan kerusakan akibat cuaca ekstrem dapat ditekan melalui konservasi tanah-air atau varietas toleran. *Bundled services* yang menyatukan praktik teknis dengan penyuluhan intensif dan pembiayaan

terbukti membantu petani melewati fase transisi yang biasanya mahal dan penuh ketidakpastian, karena arus kas awal dapat dijembatani dan keputusan teknis lebih terarah (Pedersen et al., 2024; Gemtou et al., 2024). Koordinasi rantai nilai melalui kontrak berbasis standar kualitas juga mengurangi risiko harga dan penolakan produk, sehingga manfaat teknis tidak “hilang” di hilir. Dalam konteks sentra pangan dan hortikultura Indonesia, penguatan koperasi dan kemitraan pemasaran menjadi pengungkit agar manfaat CSA tampil pada neraca usaha (BPS, 2023).

4. Dampak pada Ketahanan/Adaptasi

Pada banyak agroekosistem tropis, CSA berkontribusi pada ketahanan melalui kombinasi diversifikasi praktik/komoditas, konservasi tanah dan air, varietas toleran cekaman serta advisori berbasis cuaca yang memperbaiki *timing* tanam, pemupukan dan irigasi. Kombinasi tersebut berkorelasi dengan stabilitas produksi lintas musim dan pemulihan yang lebih cepat pasca kejadian ekstrem. Hal ini berimplikasi pada risiko gagal panen yang menurun tanpa mengorbankan produktivitas jangka menengah (Zheng et al., 2024). Namun, bukti ketahanan sering dilaporkan dengan metrik yang tidak seragam mulai dari varians hasil, *time-to-recover*, hingga indeks ketahanan rumah tangga yang menyulitkan perbandingan lintas studi.

Peran kesehatan tanah menonjol sebagai mekanisme adaptif yang menjembatani praktik dan kinerja yang meliputi peningkatan C-organik, stabilitas agregat dan porositas. Hal ini memperkuat kapasitas tanah menyimpan air dan nutrisi, sehingga tanaman lebih tahan pada musim kering maupun panas. Bukti jangka panjang menunjukkan bahwa paket *conservation agriculture* bukan hanya mengurangi biaya olah tanah, tetapi juga memperkuat fondasi biofisik yang menjaga hasil tetap stabil (Teng et al., 2024). Pada tingkat usaha tani, manfaat ini terakumulasi secara bertahap, berawal dari efisiensi operasional, tetapi di musim-musim berikutnya berubah menjadi ketahanan yang terukur.

5. Dampak Lingkungan/Mitigasi

Pada lahan sawah, AWD konsisten dilaporkan menurunkan emisi metana dalam besaran yang signifikan. Tantangan yang sering muncul adalah pengelolaan nitrogen karena pada sebagian kondisi N_2O dapat meningkat jika dosis-waktu aplikasi tidak disesuaikan (Zhao et al., 2024). Penelitian lapang dan sintesis mutakhir menunjukkan bahwa dengan optimasi air-nitrogen yang cermat, potensi pemanasan global gabungan tetap menurun sehingga manfaat lingkungan keseluruhan tetap positif (Li et al., 2024). Pada sistem kering, *conservation agriculture* meningkatkan stok karbon tanah dan indikator kesehatan tanah, membuka peluang mitigasi berbasis tanah yang sekaligus menopang produktivitas (Teng et al., 2024). Untuk kebijakan dan agribisnis, temuan ini menawarkan jalur mitigasi berbiaya relatif rendah yang bisa ditautkan ke skema pembiayaan hijau.

Kendala terbesar pada pembandingan lintas studi lingkungan adalah ketidakterseragaman MRV satuan, periode pengukuran, hingga metode (plot, fluks atau pemodelan) sering berbeda sehingga sintesis menjadi rapuh. Banyak ulasan menyarankan *toolkit* MRV yang sederhana di tingkat petani agar metrik kunci emisi GRK, penggunaan air dan kesehatan tanah dapat dicatat dengan beban rendah namun konsisten, sehingga layak untuk audit dan memudahkan penautan insentif (Zheng et al., 2024). Integrasi indikator lingkungan ke dalam kontrak *offtake* dan program koperasi akan memperkuat kepatuhan sekaligus menyediakan data yang *actionable* bagi manajer rantai pasok. Dengan demikian, dimensi mitigasi tidak lagi berdiri terpisah dari keputusan usaha, tetapi terintegrasi ke dalam KPI operasional sehari-hari (BPS, 2023).

6. Faktor Pemoderasi & Implikasi Praktis

Daya kerja CSA sangat dipengaruhi moderator yaitu biofisik/agroekologi (ketersediaan air dan tekstur tanah), skala dan aset (luas lahan, likuiditas dan mekanisasi), layanan dan pembiayaan (penyuluhan dan *green finance*), kelembagaan/pasar (koperasi dan standar pembelian) serta demografi dan inklusi digital (literasi, usia dan akses perangkat). *Systematic review* adopsi dan studi pemangku kepentingan konsisten menunjukkan bahwa variabel-variabel ini bukan sekadar latar, melainkan pengungkit yang dapat memperbesar atau mengecilkan efek pada produktivitas, ekonomi, ketahanan dan lingkungan (Finizola e Silva et al., 2024; Pedersen et al., 2024; Gemtou et al., 2024). Pada lokasi yang layanan penyuluhannya aktif, kredit mikro tersedia dan koperasi berfungsi, *bundled CSA* cenderung bertahan lebih lama dan menunjukkan kinerja lebih konsisten. Sebaliknya, pada lokasi

dengan kendala air kronis atau akses pasar yang rapuh, efeknya mudah merosot jika paket tidak disesuaikan.

Implikasi praktisnya jelas yaitu desain intervensi sebaiknya berupa layanan yang menggabungkan input hemat (air/pupuk), advisory berbasis data dan akses pembiayaan. Hal tersebut selanjutnya ditautkan ke kontrak pembelian yang memuat indikator kinerja seperti hasil per hektar, biaya per hektar, ROI dan indikator kesehatan tanah. Skema insentif-disinsentif mendorong konsistensi praktik, sementara koperasi berperan sebagai agregator input/layanan serta jembatan ke lembaga keuangan (Pedersen et al., 2024; Gemtou et al., 2024). Dari sisi kebijakan, kombinasi insentif adopsi terarah (untuk alat hemat air/pupuk), penguatan penyuluhan dan literasi digital, asuransi iklim serta standardisasi indikator dan MRV sederhana akan mempercepat penskalaan CSA yang terukur (Finizola e Silva et al., 2024; BPS, 2023). Rangka kebijakan demikian bukan hanya mendorong adopsi, tetapi juga memastikan manfaatnya tercatat dan dapat dievaluasi lintas program.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Tinjauan sistematis 2015-2025 menunjukkan bahwa adopsi *climate-smart agriculture* (CSA) secara konsisten berkorelasi dengan perbaikan kinerja usahatani pada lima dimensi utama yaitu produktivitas cenderung meningkat atau setidaknya stabil, efisiensi biaya membaik terutama pada penggunaan air, energi, dan pupuk, margin/ROI menguat dengan volatilitas pendapatan yang menurun, kapasitas ketahanan produksi meningkat dan indikator lingkungan menunjukkan perbaikan terutama penurunan emisi CH₄ pada sawah serta peningkatan kesehatan tanah pada lahan kering. Hasil ini menegaskan bahwa CSA tidak hanya relevan untuk tujuan mitigasi, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang nyata di tingkat petani kecil, selama praktik dikelola sesuai konteks agroekologi setempat.

Manfaat paling kuat muncul ketika CSA diterapkan sebagai paket praktik yang saling melengkapi misalnya AWD dipadukan dengan manajemen nitrogen presisi dan advisory berbasis cuaca, atau *conservation agriculture* yang dijalankan lengkap (*no/low-till*, retensi residu dan rotasi) serta didukung oleh ekosistem layanan yang memadai, seperti penyuluhan aktif dan akses pembiayaan (Lorenzetti & Fiorini, 2024; Pedersen et al., 2024). Sebaliknya, implementasi parsial kerap menghasilkan respons yang tidak stabil karena mekanisme kunci (efisiensi input, manajemen risiko dan koordinasi pasar) tidak bekerja penuh. Heterogenitas efek lintas lokasi terutama dipengaruhi moderator yang meliputi kondisi biofisik/agroekologi, skala dan aset usahatani, ketersediaan layanan dan pendanaan, kelembagaan/pasar serta inklusi digital. Oleh karena itu, interpretasi temuan dan perancangan intervensi perlu menyesuaikan kondisi lokal dan kebutuhan petani kecil.

Di sisi lain, masih terdapat kesenjangan metodologis khususnya ketidakseragaman indikator ketahanan dan metrik lingkungan serta terbatasnya pelaporan ukuran efek yang menghambat meta-analisis lintas studi. Langkah perbaikan melalui standardisasi indikator dan MRV sederhana di tingkat petani menjadi prioritas agar bukti lebih dapat dibandingkan dan diaudit. Untuk konteks Indonesia/ASEAN, fokus pada komoditas pangan strategis (terutama padi) menjadikan efisiensi air/pupuk, *conservation agriculture* dan advisory digital sebagai target intervensi yang layak dipercepat. Hal ini sejalan dengan data resmi dan agenda sektoral yang meliputi penguatan koperasi/kemitraan, skema pembiayaan hijau dan kontrak berbasis kinerja dapat mempercepat penskalaan sambil memastikan manfaat teknis benar-benar terkonversi menjadi manfaat ekonomi dan lingkungan yang terukur.

Saran

- Mendorong *bundled services* melalui koperasi/kemitraan input hemat, penyuluhan, kredit mikro, layanan informasi iklim, dengan indikator kinerja yang disepakati (hasil/ha, biaya/ha, ROI, kesehatan tanah).
- Menetapkan *core set* indikator lintas program (hasil/ha, biaya/ha, ROI/pendapatan, indeks ketahanan operasional, CO₂e/ha dan indikator kesehatan tanah) beserta format pelaporan yang konsisten agar bukti dapat dibandingkan. Memperluas literasi/adopsi *digital extension*, uji tanah murah dan *decision support* lokal yang dilengkapi dengan skema pembiayaan hijau dan asuransi iklim berbasis indeks untuk mengelola risiko transisi.

- Mendorong studi kausal (*quasi-experimental* atau panel), pelaporan ukuran efek seragam dan fokus komoditas prioritas (padi, jagung, hortikultura) di agroekosistem representatif Indonesia/ASEAN.

DAFTAR PUSTAKA

- Anuga, S. W., Chirinda, N., Nukpezah, D., Ahenkan, A., Andrieu, N., & Gordon, C. (2020). Towards low carbon agriculture: Systematic-narratives of climate-smart agriculture mitigation potential in Africa. *Current Research in Environmental Sustainability*, 2, 100015.
- ASEAN. (2015). *Regional guidance on Climate-Smart Agriculture* (dokumen kebijakan).
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2023*. Jakarta: BPS.
- Bhatnagar, S., Chaudhary, R., Sharma, S., Janjhua, Y., Thakur, P., Sharma, P., & Keprate, A. (2024). Exploring the dynamics of climate-smart agricultural practices for sustainable resilience in a changing climate. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24, 100535.
- Finizola e Silva, M., Van Schoubroeck, S., Cools, J., & Van Passel, S. (2024). A systematic review identifying the drivers and barriers to the adoption of climate-smart agriculture by smallholder farmers in Africa. *Frontiers in Environmental Economics*, 3, 1356335.
- Gemtou, M., Kakkavou, K., Anastasiou, E., Fountas, S., Pedersen, S. M., Isakhanyan, G., ... & Pazos-Vidal, S. (2024). Farmers' transition to climate-smart agriculture: a systematic review of the decision-making factors affecting adoption. *Sustainability*, 16(7), 2828.
- Gough, D., Oliver, S., & Thomas, J. (2012). *An Introduction to Systematic Reviews*. London: SAGE.
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, 26(2), 91-108.
- Knapp, S., & van der Heijden, M. G. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature communications*, 9(1), 3632.
- Li, L., Huang, Z., Mu, Y., Song, S., Zhang, Y., Tao, Y., & Nie, L. (2024). Alternate wetting and drying maintains rice yield and reduces global warming potential: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 318, 109603.
- Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S., & Branca, G. (2017). *Climate smart agriculture: building resilience to climate change* (p. 630). Springer Nature.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.
- Lorenzetti, L. A., & Fiorini, A. (2024). Conservation agriculture impacts on economic profitability and environmental performance of agroecosystems. *Environmental Management*, 73(3), 532-545.
- Ma, W., & Rahut, D. B. (2024). Climate-smart agriculture: adoption, impacts, and implications for sustainable development. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(5), 44.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Bmj*, 339.
- Ogunyiola, A., Gardezi, M., & Vij, S. (2022). Smallholder farmers' engagement with climate smart agriculture in Africa: role of local knowledge and upscaling. *Climate Policy*, 22(4), 411-426.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372.
- Pedersen, S. M., Erekal, K. T., Christensen, T., Denver, S., Gemtou, M., Fountas, S., ... & Adrián, J. B. (2024). Drivers and barriers to climate-smart agricultural practices and technologies adoption: Insights from stakeholders of five European food supply chains. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100478.
- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linquist, B. A., Van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., ... & Van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365-368.
- Pusat Data dan Informasi Pertanian (Pusdatin). (2022). *Outlook Komoditas Padi 2022*. Jakarta: Kementerian Pertanian RI.
- Retnaningtyas, T. A., Padmaningrum, D., & Anantanyu, S. (2024). Perilaku Petani Milenial Provinsi Jawa Barat dalam Penerapan Climate-Smart Agriculture (CSA) pada Tanaman Hortikultura. *Jurnal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian*, 9(2), 160-171.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 104, 333-339.

-
- Teng, J., Hou, R., Dungait, J. A., Zhou, G., Kuzyakov, Y., Zhang, J., ... & Delgado-Baquerizo, M. (2024). Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. *Nature communications*, 15(1), 8785.
- World Bank. (2021). *Climate-Smart Agriculture in Indonesia* (CSA Country Profile). Washington, DC: The World Bank. (Profil negara yang memetakan risiko iklim, hambatan adopsi, serta *entry points* investasi CSA).
- World Bank. (2021). *Climate-Smart Agriculture indicators & country profiles* (laporan kebijakan).
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE.
- Zhao, C., Qiu, R., Zhang, T., Luo, Y., & Agathokleous, E. (2024). Effects of Alternate Wetting and Drying Irrigation on Methane and Nitrous Oxide Emissions From Rice Fields: A Meta-Analysis. *Global Change Biology*, 30(12), e17581.
- Zheng, H., Ma, W., & He, Q. (2024). Climate-smart agricultural practices for enhanced farm productivity, income, resilience, and greenhouse gas mitigation: a comprehensive review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(4), 28.