



Kesenjangan Epistemologis dalam Sistem Pendukung Keputusan untuk Pengelolaan Kelapa Sawit Berkelanjutan: Sebuah Tinjauan

Zulfikar^{1*}

¹ Teknologi Rekayasa Logistik Politeknik Kampar, Bangkinang, Indonesia

Article Information

Article History

Received : 2026-07-15

Accepted : 2026-07-16

Published : 2026-07-31

Keywords

Sistem Pendukung Keputusan;
Epistemologi; Kelapa Sawit
Berkelanjutan; Petani Kecil; SLR

Correspondence

E-mail: zulfikar.hc@gmail.com

ABSTRACT

This study conducts a Systematic Literature Review (SLR) of 22 articles to analyze how epistemological paradigms influence the design and limitations of Decision Support Systems (DSS) for sustainable oil palm management. The review follows the PRISMA protocol to ensure a systematic identification, selection, and synthesis of relevant literature. The results show that DSS development remains dominated by technocratic and positivist approaches that emphasize technical data, statistical methods, machine learning, and ontologies. Consequently, farmers' social, cultural, and local knowledge has not been adequately integrated. Three epistemological gaps were identified: limited knowledge representation, epistemic blindness caused by dependence on formal data, and contextual gaps between DSS models and the realities of Indonesian smallholders. The study proposes five future research directions, including the development of Epistemology-Aware DSS, integration of local knowledge, and the use of socio-ecological data to improve contextual relevance.

Abstrak

Penelitian ini melakukan Systematic Literature Review (SLR) terhadap 22 artikel untuk menganalisis pengaruh paradigma epistemologis terhadap desain dan keterbatasan Decision Support Systems (DSS) dalam pengelolaan kelapa sawit berkelanjutan. Kajian menggunakan protokol PRISMA untuk memastikan proses identifikasi, seleksi, dan sintesis literatur berlangsung sistematis. Hasil menunjukkan bahwa pengembangan DSS masih didominasi pendekatan teknokratis dan positivistik yang berfokus pada data teknis, statistik, machine learning, dan ontologi. Kondisi tersebut menyebabkan pengetahuan sosial, budaya, dan lokal petani belum terintegrasi secara optimal. Tiga epistemological gaps ditemukan, yaitu keterbatasan representasi pengetahuan, epistemic blindness akibat ketergantungan pada data formal, serta kesenjangan konteks antara model DSS dan realitas petani kecil Indonesia. Penelitian merumuskan lima arah riset, termasuk pengembangan Epistemology-Aware DSS, integrasi pengetahuan lokal, dan pemanfaatan data sosial-ekologis untuk meningkatkan relevansi konteks.

1. Introduction

Perkembangan teknologi digital dan kecerdasan buatan (AI) telah mendorong transformasi dalam sektor agrikultur, termasuk perkebunan kelapa sawit menuju paradigma pertanian cerdas atau “*Agriculture 4.0*”. Teknologi seperti sensor, citra satelit, big data, dan sistem pendukung keputusan *Decision Support Systems (DSS)* memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data yang lebih cepat dan tepat [1]. Sebagai contoh, DSS telah digunakan untuk optimasi irigasi, manajemen hama, pemupukan, dan pemantauan lahan. Di lain pihak, industri kelapa sawit menghadapi tantangan keberlanjutan yang kompleks mencakup aspek lingkungan seperti deforestasi, kehilangan keanekaragaman hayati, kesejahteraan petani kecil, kesetaraan, efisiensi produksi, dan transparansi rantai pasok. Dalam konteks ini, adopsi DSS dan AI pada perkebunan kelapa sawit menunjukkan potensi besar, namun juga menunjukkan hambatan nyata terkait adaptasi teknologi, literasi digital petani, dan relevansi kontekstual[2].

Integrasi antara teknologi cerdas dan pengelolaan sawit berkelanjutan menuntut tidak hanya solusi teknis tetapi juga refleksi atas bagaimana pengetahuan itu dibangun, direpresentasikan, dan diterapkan menjadi sebuah dimensi epistemologis yang sering terabaikan. Berbagai kajian telah meninjau penerapan DSS di bidang pertanian[3], meninjau DSS dalam konteks *Agriculture 4.0* dan menemukan bahwa aspek seperti interoperabilitas, skalabilitas, aksesibilitas, dan usability sistem masih sering menjadi hambatan utama [4]. Lebih lanjut, kajian mengenai karakteristik DSS menekankan bahwa banyak sistem saat ini berbasis data dan model statistik, namun kurang mempertimbangkan aspek pengetahuan pengguna akhir atau konteks lokal. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa adopsi DSS masih terbatas oleh literasi digital petani, infrastruktur, dan integrasi antara teknologi dengan praktik pertanian berkelanjutan terutama petani kelapa sawit [5]. Pada titik inilah perspektif epistemologi menjadi penting. Epistemologi, sebagai cabang filsafat yang membahas sumber, struktur, batasan, dan validitas pengetahuan, menyediakan kerangka kritis untuk menilai bagaimana sebuah DSS dibangun dan bagaimana ia “memahami” realitas perkebunan kelapa sawit [6]. Banyak DSS saat ini berfokus pada data kuantitatif, model matematis, atau algoritma statistik, tetapi belum mampu mengintegrasikan pengetahuan lokal petani, norma sosial-ekologis, atau nilai keberlanjutan secara lebih holistik. Dengan kata lain, terdapat epistemological gaps, yaitu kesenjangan antara pengetahuan yang dibutuhkan untuk pengelolaan sawit berkelanjutan dan pengetahuan yang benar-benar direpresentasikan dalam DSS.

Sejumlah studi terdahulu menunjukkan bahwa DSS memanfaatkan citra satelit, teknik pengolahan citra digital, serta algoritma machine learning untuk mendukung kegiatan pemantauan pertumbuhan tanaman, deteksi penyakit, dan estimasi hasil panen. Penerapan teknologi kecerdasan buatan pada pengenalan objek sawit menghasilkan tingkat akurasi yang relatif tinggi, mencapai sekitar 91%, terutama dalam klasifikasi dan deteksi pohon sawit secara otomatis [7]. Meskipun demikian, penelitian tersebut juga menyoroti bahwa faktor teknis seperti variasi kondisi pencahayaan, heterogenitas kanopi, serta perbedaan resolusi spasial citra masih menjadi kendala signifikan yang dapat memengaruhi konsistensi dan generalisasi hasil model. Sementara itu, machine learning untuk prediksi kelapa sawit menunjukkan kemajuan, namun belum memperhatikan secara memadai aspek pengetahuan lokal, partisipasi petani, atau refleksi terhadap nilai sosial-ekologis [8]. Dalam penelitian lain disebutkan bahwa literasi digital petani kecil serta integrasi solusi teknologi-lokal masih jauh dari ideal [9].

Dalam pertanian umum, kajian DSS sudah mulai mempertimbangkan pengguna dan konteks, misalnya partisipasi petani serta menekankan keterlibatan pemangku kepentingan [10]. Sementara penelitian bidang kelapa sawit saat ini masih terpusat pada optimasi hasil atau monitoring lahan. Isu-isu epistemologis seperti bagaimana sistem memodelkan realitas sosial petani kecil, bagaimana

pengetahuan lokal diterjemahkan ke dalam aturan atau model, serta bagaimana nilai keberlanjutan direpresentasikan dalam algoritma belum banyak dieksplorasi. Situasi ini menunjukkan adanya epistemological gaps, yaitu kesenjangan antara pengetahuan yang dibutuhkan untuk pengelolaan sawit berkelanjutan dengan pengetahuan yang benar-benar direpresentasikan dalam DSS.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan melakukan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi, memetakan, dan menganalisis kesenjangan epistemologis dalam pengembangan dan penerapan DSS pada pengelolaan kelapa sawit berkelanjutan. Penelitian ini diharapkan memberikan tiga kontribusi utama: (1) memetakan perkembangan dan karakteristik DSS dalam domain kelapa sawit; (2) mengidentifikasi paradigma pengetahuan yang mendasari desain dan implementasi sistem; serta (3) merumuskan kerangka konseptual epistemology-aware DSS yang mampu mengintegrasikan aspek teknis, sosial, dan nilai keberlanjutan secara lebih komprehensif.

2. Methods

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis secara kritis penelitian terkait Decision Support Systems (DSS) dan Artificial Intelligence (AI) dalam pengelolaan kelapa sawit berkelanjutan. Pendekatan SLR dipilih karena memungkinkan proses penelusuran literatur yang komprehensif, transparan, replikatif, serta sesuai untuk mengungkap epistemological gaps yang mungkin tidak tampak pada studi individual. Metode ini mengikuti pedoman PRISMA 2020, mencakup tahap identifikasi, penyaringan, seleksi, dan sintesis. Fokus utama SLR ini bukan hanya pada performa teknis DSS, tetapi terutama pada paradigma pengetahuan yang mendasari desain sistem, representasi data, bias epistemik, serta sejauh mana pengetahuan lokal dan nilai keberlanjutan dimasukkan ke dalam model.

2.1. Desain PRISMA

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) yang disusun berdasarkan pedoman PRISMA SLR sebagaimana dikembangkan oleh Kitchenham dan Brereton (2013). Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa proses identifikasi, seleksi, evaluasi, dan sintesis literatur dilakukan secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. Tahapan PRISMA SLR mencakup empat proses utama: (1) identification, yaitu penelusuran awal artikel menggunakan kata kunci terstruktur pada database internasional; (2) screening, yaitu penyaringan duplikasi dan artikel yang tidak relevan berdasarkan judul dan abstrak; (3) eligibility, yaitu seleksi teks penuh untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria inklusi; serta (4) included, yaitu penetapan artikel akhir yang dianalisis secara mendalam.

2.2. Formulasi PICOC

Ruang lingkup kajian ditetapkan menggunakan kerangka PICOC sebagai panduan dalam menentukan fokus pencarian dan seleksi literatur. Tabel 1 menyajikan formulasi PICOC yang digunakan.

Tabel 1. Formulasi PICOC

Elemen	Deskripsi
Population (P)	Artikel jurnal bereputasi atau studi empiris yang membahas DSS dan/atau AI dalam pengelolaan kelapa sawit pada berbagai skala (petani kecil, perkebunan besar, rantai pasok, atau kebijakan).
Intervention (I)	Penggunaan DSS, model AI, atau pendekatan data-driven untuk mendukung pengambilan keputusan, optimasi produksi, pemetaan lahan, atau pemantauan keberlanjutan.

Elemen	Deskripsi
Comparison (C)	Perbandingan antara sistem berbasis data-driven vs knowledge-driven, pendekatan partisipatif vs teknokratis, atau tipe-tipe DSS dalam literatur sebelumnya.
Outcome (O)	Identifikasi epistemological gaps, paradigma pengetahuan DSS (empiris, heuristik, partisipatif), dan rekomendasi desain epistemology-aware DSS.
Context (C)	Penelitian dalam domain keberlanjutan kelapa sawit (ekologi, sosial, ekonomi) pada rentang publikasi 2020–2025 dari database internasional.

Kerangka PICOC ini menjadi dasar dalam penyusunan pertanyaan penelitian, pemilihan kata kunci, dan penetapan kriteria inklusi–eksklusi.

2.3. Strategi Pencarian Literatur

Strategi pencarian dilakukan pada database internasional utama, yaitu Scopus dan Web of Science. Kata kunci disusun berdasarkan kombinasi Boolean yang mencerminkan tiga area inti: epistemology, decision support systems, dan sustainable oil palm management. Kombinasi pencarian yang dilakukan pada tanggal 1 Desember 2025 adalah:

(Epistemolog OR “Epistemological gap*” OR Knowledge* OR “knowledge gap*” OR “knowledge framework*” OR “epistemic uncertainty” OR “epistemic bias”) AND (“decision support system*” OR DSS OR “decision-making system*” OR “knowledge-based system*” OR “data-driven decision” OR “AI-based decision”) AND (“Palm Oil*” OR “Oil Palm” OR Agricultur*)*

Batasan penelusuran mencakup artikel jurnal berbahasa Inggris yang dipublikasikan antara 2020–2025, mengingat periode tersebut merupakan fase intensif perkembangan DSS dan digitalisasi industri kelapa sawit.

2.4. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Seleksi artikel dilakukan dalam dua tahap, yaitu pemeriksaan judul–abstrak dan evaluasi naskah lengkap. Artikel hanya dimasukkan apabila memenuhi kriteria inklusi berikut.

Tabel 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kategori	Inklusi	Eksklusi
Jenis Publikasi	Artikel jurnal peer-reviewed	Prosiding, laporan, tesis, buku, preprint
Topik	DSS/AI untuk kelapa sawit	Non-sawit dan tanpa teknologi DSS/AI
Perspektif	Memungkinkan analisis epistemologi	Sangat teknis tanpa aspek epistemik
Konteks	Pengelolaan sawit berkelanjutan	Pertanian lain tanpa relevansi
Akses	Full-text tersedia	Hanya abstrak atau preview
Tahun	2020–2025	< 2020 atau di luar rentang
Bahasa	Inggris	Bahasa lain

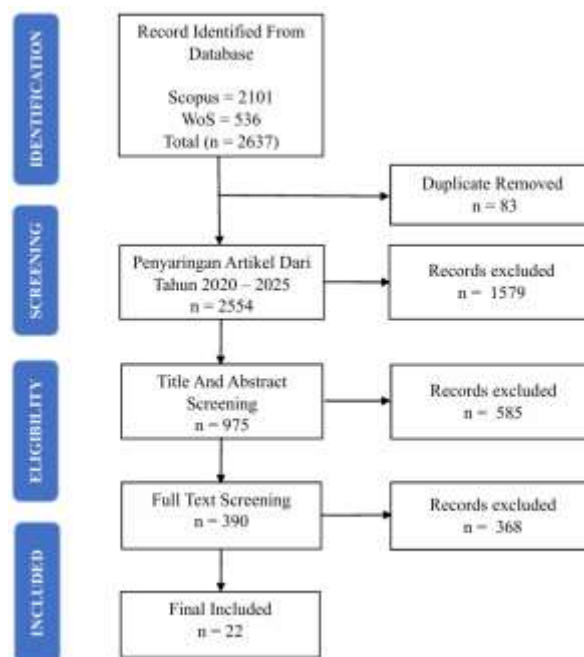
2.5. Penilaian Kualitas Studi

Penilaian kualitas studi dilakukan untuk memastikan bahwa artikel yang dianalisis tidak hanya relevan secara topik, tetapi juga memiliki kualitas metodologis yang memadai. Proses ini penting guna meningkatkan validitas sintesis temuan serta meminimalkan bias yang mungkin timbul akibat penggunaan artikel berkualitas rendah. Setiap artikel yang masuk ke tahap included dievaluasi

menggunakan tiga dimensi utama: (1) kualitas metodologis, (2) kelengkapan pelaporan, dan (3) relevansi epistemologis, dengan sistem skor skala 0–2 (0 = tidak memenuhi kriteria, 1 = memenuhi sebagian, 2 = memenuhi sepenuhnya).

Menilai sejauh mana artikel memiliki fondasi metodologis yang kuat. Indikator meliputi kejelasan tujuan penelitian, desain penelitian yang tepat dan dapat direplikasi, deskripsi metode pengumpulan dan pemrosesan data, serta validasi model DSS atau algoritma yang digunakan. Menilai transparansi dan konsistensi pelaporan dalam artikel. Indikator meliputi penjelasan lengkap model, variabel, atau arsitektur DSS; penyajian data dan hasil yang jelas; diskusi kelebihan dan keterbatasan model; serta kejelasan kontribusi penelitian. Menilai sejauh mana artikel memberikan informasi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi epistemological gaps. Indikator meliputi penjelasan tentang representasi pengetahuan (knowledge representation), diskusi tentang bias data atau keterbatasan informasi, integrasi pengetahuan lokal/sosial atau nilai keberlanjutan, serta penilaian kritis terhadap asumsi epistemik model (epistemic assumptions). Dimensi ini penting karena fokus penelitian adalah “epistemology-aware DSS”.

Setiap artikel diberi skor 0–2 untuk masing-masing indikator, kemudian dijumlahkan untuk menghasilkan skor kualitas total. Rentang penilaian adalah: skor ≥ 10 (High Quality) — artikel sangat relevan dan disertakan penuh dalam sintesis; skor 7–9 (Moderate Quality) — artikel relevan dengan beberapa kelemahan kecil, tetap disertakan dengan catatan; skor < 7 (Low Quality) — artikel tidak memenuhi standar dan dikeluarkan dari analisis. Alur penilaian kualitas literatur dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram PRISMA

Gambar 1 menunjukkan alur seleksi literatur berdasarkan pedoman PRISMA. Dari total 2.637 artikel yang diidentifikasi dari Scopus dan Web of Science, sebanyak 83 duplikasi dihapus, dan 1.579 artikel dieliminasi pada tahap penyaringan awal. Proses title and abstract screening menyisakan 975 artikel, kemudian 390 artikel masuk tahap full-text screening. Setelah seleksi akhir, hanya 22 artikel yang memenuhi seluruh kriteria dan dimasukkan ke dalam analisis.

2.7. Ekstraksi dan Sintesis Data

Proses ekstraksi data dilakukan setelah seluruh artikel memenuhi kriteria inklusi dan lolos penilaian kualitas. Ekstraksi dilakukan secara sistematis menggunakan formulir terstruktur untuk memastikan konsistensi dan akurasi informasi yang dikumpulkan. Setiap artikel dianalisis untuk mengidentifikasi tujuan penelitian, konteks keberlanjutan, jenis DSS atau teknik kecerdasan buatan yang digunakan, serta pendekatan data maupun pengetahuan yang mendasari pengembangan model. Informasi tambahan seperti jenis data, metode validasi, serta hasil dan kontribusi penelitian juga dicatat untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai karakteristik sistem yang dikaji.

Selain aspek teknis, perhatian khusus diberikan pada elemen-elemen epistemologis dalam setiap studi. Hal ini mencakup bagaimana pengetahuan direpresentasikan dalam sistem, asumsi-asumsi epistemik yang digunakan dalam pemodelan, sumber data dan kualitasnya, serta sejauh mana pengetahuan lokal atau nilai keberlanjutan terintegrasi ke dalam DSS. Dengan demikian, proses ekstraksi tidak hanya bertujuan menginventarisasi teknologi yang digunakan, tetapi juga menilai kedalaman perspektif epistemologis yang melandasi desain sistem tersebut.

Setelah proses ekstraksi selesai, data dari seluruh artikel dianalisis menggunakan pendekatan sintesis tematik. Tahap ini dimulai dengan pengkodean awal untuk menangkap pola-pola penting yang muncul dari masing-masing studi, seperti tujuan penggunaan DSS, pendekatan data-driven atau knowledge-driven, karakteristik data yang digunakan, dan bentuk potensi bias epistemik. Kode-kode ini kemudian dikelompokkan untuk membentuk tema-tema yang lebih luas yang mencerminkan kecenderungan umum dan variasi dalam literatur, misalnya dominasi model berbasis data, keterbatasan integrasi pengetahuan lokal, atau kesenjangan antara kebutuhan keberlanjutan dan kapabilitas sistem.

Tahap akhir sintesis dilakukan dengan mengintegrasikan tema-tema tersebut untuk menjawab pertanyaan penelitian. Temuan kemudian dipetakan ke dalam tiga fokus utama: kontribusi dan tujuan DSS dalam pengelolaan sawit berkelanjutan, paradigma pengetahuan yang mendasari desain dan implementasi DSS, serta bentuk-bentuk kesenjangan epistemologis yang muncul dalam praktik pengembangan sistem. Hasil akhir proses ini berupa pemetaan karakteristik studi, perumusan tema-tema temuan utama, serta penyusunan kerangka konseptual mengenai epistemology-aware DSS.

3. Result

Berdasarkan serangkaian tahapan seleksi protokol Systematic Literature Review (SLR) menggunakan diagram PRISMA 2020, penelitian ini berhasil mengidentifikasi 22 artikel utama yang memenuhi kriteria inklusi dan kualitas untuk dianalisis secara mendalam. Literatur terpilih ini mencakup publikasi rentang tahun 2021 hingga 2025, merefleksikan periode perkembangan intensif teknologi cerdas (Smart Farming) dan desakan keberlanjutan global. Secara geografis dan tematik, studi-studi ini mencakup berbagai spektrum, mulai dari pengembangan teknis IoT dan Machine Learning untuk prediksi hasil panen, pemodelan ontologi pengetahuan pertanian, hingga kajian kritis mengenai aspek sosial-hukum petani swadaya.

Tabel 3. Sintesis Literatur

No	Peneliti	Metode	Asumsi Epistemologis	Epistemological Gap
1	(Mohd Suib et al., 2023) [11]	PLS-SEM (Statistik)	Positivisme: Kepatuhan pada standar (GAP) berbanding lurus dengan kesejahteraan secara linear.	Mengabaikan variabel non-teknis (budaya/modal sosial) yang menyebabkan petani tidak mengadopsi GAP.
2	(Ilhami,	Time Series	Empirisme Statistik: Data	Prediksi murni matematis,

No	Peneliti	Metode	Asumsi Epistemologis	Epistemological Gap
	Hidayat and Riandi, 2024) [12]	Modeler (Forecasting)	historis statistik dianggap cukup untuk memprediksi masa depan pengelolaan limbah.	tidak menangkap dinamika sosial informal dalam pemanfaatan limbah oleh warga lokal.
3	(Ouafiq, Saadane and Chehri, 2022) [13]	IoT & Low Power Devices	Engineering/Teknokrasi: Efisiensi energi dan data sensor adalah metrik utama keberhasilan.	“Buta konteks” terhadap realitas infrastruktur dan literasi digital di kebun rakyat (plasma).
4	(Backman, Koistinen and Ronkainen, 2023) [14]	Process Data Mining	Data-ism: Pengetahuan diekstraksi murni dari log data mesin, menggeser intuisi manusia.	Epistemic blindness: jika mesin tidak merekam variabel sosial, variabel itu dianggap tidak ada.
5	(Abubakar et al., 2023) [15]	Review (IoT, Drones, Breeding)	Teknokrasi Modern: Solusi keberlanjutan adalah intervensi teknis (bibit unggul & presisi).	Menempatkan aspek sosial hanya sebagai “tantangan adopsi”, bukan variabel desain sistem.
6	(Sibhatu, Tabe-Ojong and Siregar, 2025) [16]	Econometric Modeling	Positivisme Ekonomi: Adopsi teknologi dilihat sebagai keputusan rasional-ekonomi semata.	Gagal menangkap alasan “irasional” (budaya, kepercayaan) dalam pengambilan keputusan petani.
7	(Lachgar et al., 2025) [17]	Expert System (SWRL)	Expert-Driven: Pengetahuan pakar dikodekan menjadi aturan logika kaku.	Sistem menjadi kaku dan sulit beradaptasi dengan anomali lokal yang tidak ada dalam aturan pakar umum.
8	(Alharbi et al., 2024) [18]	Ontology (AgrODSS)	Formalisme Logika: Pengetahuan hama/penyakit distandarisasi dari literatur ilmiah.	Mengesampingkan pengetahuan empiris (tacit knowledge) petani yang tidak tercatat di buku teks.
9	(Darnala et al., 2023) [19]	C3PO Ontology (Crop Planning)	Semantik Web: Standarisasi istilah global agar interoperabel.	Menciptakan semantic gap karena menggunakan terminologi barat/ilmiah yang asing bagi petani lokal.
10	(Abbasi, Martinez and Ahmad, 2022) [20]	Ontology (Aquaponics 4.0)	Systems Engineering: Integrasi komponen fisik biologis ke model digital.	Metodologi referensi saja; belum memasukkan elemen manusia (human-in-the-loop) dalam struktur ontologinya.
11	(Sayuti et al., 2025) [21]	Legal Realism (Analisis Hukum)	Sosiologis: Hukum/kontrak bukan sekadar teks, tapi realitas sosial yang timpang kuasa.	Menunjukkan bahwa DSS yang mengabaikan struktur kontrak plasma vs inti akan gagal memberikan keadilan.
12	(Sundaraja, Hine and Lykins, 2021)	Behavioral Model (COM-B)	Behavioralisme: Keputusan dipengaruhi motivasi psikologis, bukan hanya	Mereduksi kompleksitas budaya menjadi variabel psikologis individu.

No	Peneliti	Metode	Asumsi Epistemologis	Epistemological Gap
	[22]		data teknis.	
13	(Ogahara et al., 2022) [23]	Systematic Review (Smallholder)	Teori Kritis: Sertifikasi keberlanjutan seringkali bias kepentingan korporasi (top-down).	Mengidentifikasi epistemic exclusion (peminggiran pengetahuan) petani kecil dalam standar global.
14	(Sabrina et al., 2024) [24]	Gamification (Gen Z)	Konstruktivisme Instrumental: Media digital untuk transfer pengetahuan (edukasi).	Bersifat satu arah (instruktif/kampanye), kurang ruang dialogis.
15	(Majesty et al., 2024) [25]	Qualitative (Local Wisdom)	Interpretivisme: Local Wisdom adalah kunci keberlanjutan limbah.	Belum ada mekanisme teknis (DSS) untuk mengoperasionalkan kearifan lokal ini dalam skala luas.
16	(Adereti et al., 2024) [26]	Survey (Hambatan Machine Learning)	Technology Acceptance: Fokus pada persepsi risiko dan kepercayaan (Trust).	Fokus pada “mengapa petani menolak alat”, bukan “apakah desain pengetahuan alatnya salah”.
17	(Hopf et al., 2025) [27]	Knowledge Mapping	Konstruktivisme Sosial: Memetakan bagaimana petani mencari pengetahuan saat ketidakpastian.	Menunjukkan pentingnya memetakan “sumber kebenaran” versi petani sebelum membuat alat.
18	(von Bloh, Lobell and Asseng, 2024) [28]	Hybrid ML + DSSAT (Biofisik)	Post-Positivisme (Hybrid Scientific): Data saja kurang, perlu digabung teori biologi (DSSAT).	“Pengetahuan” yang diinjeksikan ke AI masih 100% Sains Barat; belum menginjeksikan Local Knowledge.
19	(Estefan et al., 2025) [29]	RCT (Digital vs Tatap Muka)	Behavioral-Eksperimental: Teknologi digital tidak bisa menggantikan sentuhan manusia sepenuhnya.	Validasi bahwa DSS murni digital akan gagal mentransfer tacit knowledge yang kompleks.
20	(Pashkevich et al., 2024) [30]	Ecological Monitoring	Empirisme Ekologis: Membandingkan sawit industri vs tradisional.	Risiko menilai praktik tradisional hanya dengan metrik barat, mengabaikan nilai spiritual/budaya.
21	(Purnomo et al., 2025) [31]	System Dynamics (Participatory)	Systems Thinking: Menggabungkan persepsi stakeholder ke dalam model simulasi.	Terjadi reduksi makna kualitatif saat suara stakeholder dikonversi menjadi angka/stok dalam model.
22	(Mouratiadou et al., 2023) [32]	DAKIS (Integrated Participatory DSS)	Konstruktivisme Partisipatoris: Mengintegrasikan permintaan sosial (demand) & preferensi petani dalam algoritma.	Benchmark utama. Gap kontekstual: model ini dibangun di Eropa yang stabil, belum teruji di sawit Indonesia yang penuh konflik agraria.

Tabel 3 menyajikan ringkasan pemetaan penelitian berdasarkan metode, asumsi epistemologis, dan kesenjangan pengetahuan yang muncul dalam pengembangan DSS dan teknologi digital terkait sektor pertanian dan kelapa sawit. Secara umum, sebagian besar studi masih berangkat dari paradigma positivistik, teknokratis, atau berbasis data murni, seperti model statistik, process mining, IoT, dan pendekatan ontologi formal. Paradigma ini menempatkan data kuantitatif sebagai sumber kebenaran utama, sehingga sistem cenderung mengabaikan dinamika sosial, faktor budaya, serta pengetahuan lokal petani yang tidak terekam dalam data. Akibatnya, muncul berbagai epistemological gaps, seperti reduksi kompleksitas praktik pertanian ke dalam model matematis, ketidakmampuan sistem membaca dinamika sosial-ekologis, serta blind spots terhadap konteks lokal seperti literasi digital, infrastruktur, atau relasi kekuasaan dalam rantai pasok sawit.

Di sisi lain, beberapa studi yang menggunakan pendekatan interpretatif, konstruktivis, atau model partisipatif mulai menyoroti pentingnya integrasi pengetahuan lokal dan perspektif pemangku kepentingan ke dalam DSS. Namun, penelitian-penelitian ini juga menunjukkan bahwa meskipun aspek sosial diakui, mekanisme teknis untuk mengoperasionalkan bentuk pengetahuan tersebut ke dalam model digital masih belum matang. Bahkan studi yang dianggap lebih maju, seperti DAKIS atau participatory DSS, tetap menghadapi keterbatasan ketika diterapkan di luar konteks Eropa—terutama dalam konteks kelapa sawit Indonesia yang sangat kompleks secara sosial, ekonomi, dan agraria.

3.1. Tren dan Kontribusi Fungsional DSS Kelapa Sawit

Analisis terhadap literatur menunjukkan bahwa pengembangan DSS dalam sektor kelapa sawit masih sangat didominasi oleh orientasi produktivitas dan efisiensi teknis. Sebagian besar sistem dirancang untuk menjawab pertanyaan “bagaimana meningkatkan hasil” (how to maximize yield) daripada “bagaimana mengelola keberlanjutan secara adil”.

Tabel 4. Taksonomi Tujuan Fungsional DSS dalam Literatur (2020–2025)

Kategori Fungsional	Fokus Utama	Literatur Representatif
Optimasi Hasil (Yield Optimization)	Peningkatan produksi TBS, strategi replanting, prediksi panen berbasis iklim.	(Abubakar et al., 2023); (Sibhatu, Tabe-Ojong and Siregar, 2025)
Manajemen Teknis & Presisi	Deteksi penyakit, irigasi presisi, manajemen pemupukan, integrasi IoT.	(Lachgar et al., 2025); (Ouafiq, Saadane and Chehri, 2022)
Struktur Pengetahuan (Ontologi)	Standarisasi istilah pertanian, interoperabilitas data, grafik pengetahuan.	(Darnala et al., 2023); (Alharbi et al., 2024)
Keberlanjutan & Sosial (Niche)	Manajemen limbah, sertifikasi petani kecil, mitigasi konflik, partisipasi sosial.	(Mouratiadou et al., 2023); (Majesty et al., 2024)

Tabel 4 menyajikan taksonomi tujuan fungsional DSS yang ditemukan dalam tinjauan literatur. Terlihat jelas bahwa mayoritas penelitian berfokus pada optimasi biofisik (yield & replanting) dan manajemen teknis (hama & irigasi). Temuan ini mengindikasikan bahwa kontribusi utama teknologi saat ini adalah pada level operasional-teknis. Studi menunjukkan kemajuan signifikan dalam prediksi hasil menggunakan Hybrid Machine Learning, namun kontribusi terhadap aspek sosial-ekologis (seperti resolusi konflik lahan atau keadilan bagi petani plasma) masih sangat minim[28].

3.2. Paradigma Pengetahuan dan Representasi Data

Sintesis literatur mengungkap bahwa paradigma pengetahuan dalam DSS kelapa sawit telah berevolusi, namun masih terperangkap dalam hegemoni positivistik. “Pengetahuan” dalam sistem-sistem ini dikonstruksi melalui tiga pendekatan utama. Pertama, pendekatan data-driven (empirisme): pengetahuan dianggap valid hanya jika berasal dari data sensor atau statistik historis, seperti terlihat pada model peramalan limbah dan analisis data proses mesin [12][14].

Kedua, pendekatan knowledge-driven (formalisme): pengetahuan pakar diformalkan ke dalam ontologi kaku, seperti AgrODSS. Meskipun terstruktur, pendekatan ini seringkali top-down dan mengabaikan nuansa lokal. Ketiga, pendekatan hibrida & partisipatoris (konstruktivisme): paradigma yang mulai muncul, di mana pengetahuan dibangun bersama antara mesin dan manusia (stakeholder). Model DAKIS adalah representasi terbaik dari paradigma ini, yang mengintegrasikan preferensi petani ke dalam algoritma[32].

3.3. Analisis Kesenjangan Epistemologis

Berdasarkan analisis komparatif antara kapabilitas sistem saat ini dengan kompleksitas masalah sawit di lapangan, penelitian ini mengidentifikasi tiga kesenjangan epistemologis utama. Tabel 5 memvisualisasikan kontras antara karakteristik DSS yang ada (Existing DSS) dengan karakteristik DSS yang dibutuhkan (Epistemology-Aware DSS).

Tabel 5. Analisis Kesenjangan Epistemologis (Epistemological Gap Analysis)

Dimensi	Karakteristik	Gap	Epistemology-Aware
Sumber Kebenaran	Monokultur data: sensor, satelit, statistik.	Mengabaikan tacit knowledge dan intuisi petani yang tidak terekam data.	Mengintegrasikan data sensor dengan kearifan lokal (Indigenous Knowledge) dan observasi kualitatif petani.
Konteks Sosial	Asumsi bahwa petani adalah agen ekonomi rasional yang beroperasi di ruang hampa konflik.	Gagal memodelkan hambatan adopsi yang berasal dari ketimpangan struktur kontrak atau konflik agraria.	Memasukkan variabel sosial-legal (seperti status lahan atau keadilan kontrak) sebagai batasan (constraint) dalam model keputusan.
Struktur Logika	Menggunakan ontologi standar global yang asing bagi petani lokal.	Bahasa mesin tidak nyambung dengan bahasa/istilah lokal petani (etno-agronomi).	Menggunakan ontologi hibrida yang memetakan istilah ilmiah ke dalam taksonomi lokal petani.

Kesenjangan yang paling krusial adalah ketidakhadiran mekanisme untuk memproses realitas sosial. Sebagaimana dikritik melalui perspektif Legal Realism, realitas perkebunan sawit di Indonesia sarat dengan ketimpangan kuasa dalam kontrak kemitraan[21]. Namun, DSS yang ada saat ini (seperti yang berbasis IoT atau optimasi hasil) beroperasi seolah-olah kondisi legal dan sosial tersebut ideal. Akibatnya, rekomendasi teknis yang dihasilkan secerdas apa pun algoritmanya menjadi tidak relevan atau bahkan tidak dapat diadopsi oleh petani yang terjerat masalah struktural [27].

Oleh karena itu, transisi menuju Epistemology-Aware DSS bukan sekadar penambahan fitur, melainkan perubahan fundamental pada cara sistem “memandang” dunia: dari sekadar memproses data biofisik menjadi sistem yang memahami konteks sosio-legal penggunaanya.

4. Discussion

4.1. Diskusi Integratif

Analisis terhadap literatur menunjukkan bahwa pengembangan DSS untuk sektor pertanian—baik secara langsung maupun tidak langsung terkait kelapa sawit—masih berorientasi pada paradigma teknokratis yang menempatkan data teknis sebagai fondasi utama pengambilan keputusan. Pola ini terlihat jelas pada kelompok penelitian yang menggunakan pendekatan statistik dan econometric modeling [11][12][16]. Ketiga studi tersebut mengasumsikan bahwa fenomena keberlanjutan dapat direpresentasikan melalui variabel terukur seperti GAP, data historis, serta parameter biofisik, sehingga aspek sosial dan budaya petani tidak dimasukkan ke dalam struktur model. Temuan ini konsisten dengan artikel yang menggunakan system dynamics namun tetap merepresentasikan persepsi stakeholder sebagai stok dan aliran angka, bukan sebagai pengetahuan kualitatif [31].

Kecenderungan serupa muncul pada penelitian yang berfokus pada digitalisasi teknis seperti IoT, sensor, log mesin, dan efisiensi energi [13][14]. Kedua studi tersebut secara tidak langsung memperlihatkan bentuk epistemic blindness karena menjadikan data perangkat sebagai satu-satunya representasi pengetahuan, sehingga unsur sosial seperti akses infrastruktur, pola kerja petani, dan variasi praktik budidaya tidak terlihat dalam model. Pola ini juga tampak dalam model hybrid ML + DSSAT [28], di mana pengetahuan biofisik yang formal diintegrasikan ke dalam model, tetapi dimensi sosial petani tetap berada di luar ruang analisis.

Kelompok studi berbasis ontologi dan knowledge engineering menunjukkan permasalahan serupa namun dalam bentuk berbeda. Pada penelitian-penelitian tersebut, pengetahuan direpresentasikan dalam struktur logis dan semantik yang terstandarisasi. Meskipun pendekatan ini efektif untuk interoperabilitas, ia berpotensi menciptakan semantic gap karena pengetahuan lokal petani tidak tercakup dalam terminologi formal. Hal ini memperlihatkan bahwa sistem digital sering kali menyamakan “pengetahuan” dengan pengetahuan ilmiah yang terdokumentasi, sehingga praktik empiris petani yang bersifat kontekstual dan situasional tidak memiliki ruang representasi dalam sistem [17][18][19][20].

Di sisi lain, beberapa artikel secara eksplisit menyoroti bagaimana pengetahuan petani dibentuk oleh faktor sosial, budaya, dan institusional. Studi memetakan bagaimana petani mengakses informasi melalui jejaring sosial ketika menghadapi ketidakpastian [27], sedangkan penelitian lain menekankan bahwa kearifan lokal memainkan peran penting dalam pengelolaan limbah dan keberlanjutan komunitas [25]. Menyoroti generasi muda petani (Gen Z) sebagai aktor penting dalam transfer pengetahuan berbasis digital [24], sementara peneliti lain mengidentifikasi hambatan psikologis dan sosial dalam adopsi machine learning oleh petani [26]. Meskipun memberikan kontribusi sosial yang signifikan, studi-studi ini tetap tidak mengusulkan mekanisme teknis untuk memasukkan pengetahuan tersebut ke dalam DSS.

Aspek kelembagaan dan ketimpangan struktural juga muncul secara kuat dalam dua studi penting: [21][23]. Kedua penelitian ini memperlihatkan bahwa relasi kuasa dalam sertifikasi dan kontrak inti-plasma sangat menentukan bentuk keberlanjutan yang muncul di lapangan. Namun, ketimpangan pengetahuan dan posisi tawar ini tidak terepresentasi dalam sistem digital mana pun yang ditinjau—menunjukkan adanya epistemic exclusion, yaitu kondisi ketika pengetahuan kelompok marjinal (petani kecil) tidak terdokumentasi dalam sistem teknis.

Satu-satunya pendekatan yang relatif mendekati integrasi sosial-teknis adalah model partisipatoris DAKIS [32]. Namun, meskipun menyediakan kerangka co-design, model ini dibangun di konteks Eropa yang relatif stabil dan tidak menghadapi kompleksitas sosial seperti konflik agraria, dualisme kelembagaan, serta heterogenitas petani yang ditemukan pada konteks sawit Indonesia. Hal

ini menunjukkan adanya contextual epistemic gap, yaitu celah antara model dan realitas lokal. Temuan ini menegaskan urgensi untuk membangun pendekatan DSS baru yang mampu menggabungkan pengetahuan ilmiah, sosial, dan lokal secara holistik.

4.2. Research Gap

Sintesis terhadap 22 artikel menunjukkan empat kelompok research gap utama yang belum terjawab dalam pengembangan DSS, sistem digital, dan teknologi pendukung keberlanjutan di sektor sawit dan pertanian terkait, sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 6.

Tabel 6. Research Gap

No	Research Gap	Deskripsi
1	Dominasi pengetahuan teknis dan statistik	DSS berfokus pada data kuantitatif (statistik, forecasting, econometric, ML). Dimensi sosial–budaya petani tidak masuk dalam desain model.
2	Pengetahuan lokal tidak terintegrasi dalam DSS/ontologi	Tacit knowledge petani hanya menjadi temuan naratif dalam artikel, tetapi tidak pernah dioperasionalkan ke dalam ontologi, aturan pakar, atau model DSS.
3	Epistemic blindness akibat ketergantungan pada data sensor/formal	Sistem hanya “melihat” apa yang direkam sensor/log mesin sehingga mengabaikan variabel sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang tidak tercatat.
4	Gap konteks antara model DSS global dan realitas sawit Indonesia	Model partisipatif, sertifikasi global, atau DSS luar negeri tidak sesuai dengan kondisi agraria, konflik lahan, dan struktur inti-plasma.

4.3. Future Research Directions

Untuk memberikan arah pengembangan riset yang lebih komprehensif, hasil sintesis terhadap 22 artikel pada studi ini kemudian dipetakan ke dalam beberapa rekomendasi riset masa depan. Tabel 7 menyajikan lima arah riset utama yang relevan dan memiliki potensi besar untuk memperkuat pengembangan DSS yang lebih inklusif, kontekstual, dan berkelanjutan.

Tabel 7. Future Research

No	Future Research	Deskripsi
1	Mengembangkan Epistemology-Aware DSS	Membangun DSS yang menggabungkan pengetahuan teknis, sosial, kelembagaan, dan pengetahuan lokal untuk menghasilkan rekomendasi yang lebih kontekstual.
2	Metode Komputasional untuk Pengetahuan Lokal	Mengembangkan teknik formal seperti ontology enrichment, rule extraction, dan tacit knowledge modeling untuk mengoperasionalkan pengetahuan lokal ke dalam struktur DSS.
3	Integrasi Multi-Layer Data dalam Pipeline DSS	Menggabungkan data sosial, kelembagaan, ekologis, dan sensor untuk mengurangi bias data formal dan meningkatkan akurasi rekomendasi.
4	Co-Design dan DSS Partisipatoris	Merancang DSS dengan pendekatan partisipatif yang melibatkan petani kecil, serta memasukkan faktor perilaku dan preferensi pengguna ke dalam model.
5	DSS Khusus untuk Konteks Sawit Indonesia	Membangun DSS yang sesuai dengan kondisi agraria Indonesia, dinamika inti–plasma, keberagaman petani kecil, serta sistem sosial-ekologis tropis.

Tabel 7 merangkum lima arah riset masa depan yang dapat dilakukan berdasarkan peta kesenjangan penelitian dari 22 artikel yang dianalisis. Setiap arah riset disusun untuk menjawab kekurangan yang ditemukan dalam literatur, seperti dominasi pendekatan teknokratis, minimnya integrasi pengetahuan lokal, bias data sensor, hingga ketidaksesuaian konteks sistem dengan realitas petani sawit di Indonesia. Dengan demikian, tabel ini memberikan panduan terstruktur bagi peneliti yang ingin mengembangkan DSS generasi berikutnya yang lebih epistemically aware, adaptif, dan mampu menangkap kompleksitas pengelolaan sawit berkelanjutan.

5. Conclusion

Penelitian ini menyajikan analisis mendalam terhadap 22 artikel terkait pengembangan Decision Support Systems (DSS) dan teknologi pendukung keberlanjutan di sektor pertanian dan kelapa sawit. Sintesis yang dilakukan menunjukkan bahwa sebagian besar DSS yang dikembangkan dalam literatur masih berorientasi pada paradigma teknokratis, terutama melalui pendekatan statistik, econometric modeling, machine learning, IoT, dan formalisme ontologi. Paradigma tersebut menempatkan data teknis sebagai basis utama pengambilan keputusan, sementara pengetahuan sosial, budaya, kelembagaan, serta pengetahuan lokal petani cenderung berada di luar struktur model. Dominasi pendekatan teknis ini menciptakan epistemic narrowness yang menghasilkan bias representasi pengetahuan dan keterbatasan sistem dalam menangkap kompleksitas nyata di lapangan.

Temuan penelitian ini juga mengidentifikasi tiga bentuk epistemological gaps yang konsisten muncul di seluruh literatur: (1) gaps dalam representasi pengetahuan, terutama ketika tacit knowledge petani tidak terakomodasi dalam DSS; (2) epistemic blindness, yaitu ketergantungan sistem pada data sensor atau data formal yang tidak mampu menangkap dimensi sosial-ekologis petani kecil; dan (3) contextual gaps, yang menunjukkan bahwa banyak DSS dikembangkan di luar konteks tropis dan agraria Indonesia sehingga tidak selaras dengan tantangan sawit lokal, seperti konflik lahan, struktur inti-plasma, dan keragaman praktik budidaya.

Berdasarkan keseluruhan temuan, penelitian ini menegaskan perlunya pendekatan baru dalam pengembangan DSS, yaitu Epistemology-Aware DSS, yang mampu menyatukan pengetahuan teknis, sosial, budaya, kelembagaan, dan lokal secara setara. Sistem semacam ini akan lebih mampu menangkap realitas kompleks pengelolaan sawit berkelanjutan, meningkatkan relevansi lokal, serta memperkuat efektivitas rekomendasi bagi petani kecil dan pemangku kepentingan lainnya. Selain itu, penelitian ini memberikan peta masa depan yang jelas melalui lima arah riset strategis untuk mendorong transformasi DSS dari sekadar alat teknis menjadi platform pengetahuan yang lebih dialogis, inklusif, dan kontekstual.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Zhai, J. F. Martínez, V. Beltran, and N. L. Martínez, "Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, Art. no. 105256, 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105256.
- [2] A. Sediyo and B. Sholihah, "The opportunity of AI technology to increase the value chain of oil palm plantation," *INTELMATICS*, vol. 5, pp. 42–47, 2025, doi: 10.25105/v5i1.22477.
- [3] A. Tratwal, M. Jakubowska, and A. Pietrusińska-Radzio, "Decision support systems in integrated pest and disease management: Innovative elements in sustainable agriculture," *Sustainability*, vol. 17, no. 18, Art. no. 8111, 2025, doi: 10.3390/su17188111.
- [4] N. Mohan Modak, T. Senapati, V. Simić, D. Pamučar, A. Saha, and L. E. Cárdenas-Barrón, "Managing a sustainable dual-channel supply chain for fresh agricultural products using blockchain technology," *Expert Syst. Appl.*, vol. 244, Art. no. 122929, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122929.
- [5] D. Petraki, I. Gazoulis, M. Kokkini, M. Danaskos, P. Kanatas, A. Rekkas, and I. Travlos, "Digital tools and decision support systems in agroecology: Benefits, challenges, and practical

- implementations,” *Agronomy*, vol. 15, no. 1, Art. no. 236, 2025, doi: 10.3390/agronomy15010236.
- [6] J. Simon, “A socio-epistemological framework for scientific publishing,” *Social Epistemology*, vol. 24, no. 3, pp. 201–218, 2010, doi: 10.1080/02691728.2010.498930.
- [7] M. N. Akhtar, E. Ansari, S. S. N. Alhady, and E. Abu Bakar, “Leveraging on advanced remote sensing- and artificial intelligence-based technologies to manage palm oil plantation for current global scenario: A review,” *Agriculture*, vol. 13, no. 2, Art. no. 504, 2023, doi: 10.3390/agriculture13020504.
- [8] F. N. Mohd Nain, N. H. Ahamed Hassain Malim, R. Abdullah, M. F. Abdul Rahim, M. A. Ahmad Mokhtar, and N. S. Mohamad Fauzi, “A review of an artificial intelligence framework for identifying the most effective palm oil prediction,” *Algorithms*, vol. 15, no. 6, Art. no. 218, 2022, doi: 10.3390/a15060218.
- [9] L. Judijanto, “Exploring the potentials of artificial intelligence and digital technologies in transforming the palm oil industry: A review,” *J. Inf., Technol. Policy*, pp. 1–13, 2025, doi: 10.62836/jitp.2025.431.
- [10] D. Iakovidis, Y. Gadanakis, J. Campos-Gonzalez, and J. Park, “Optimising decision support tools for the agricultural sector,” *Environ., Develop. Sustainability*, 2024, doi: 10.1007/s10668-024-04743-x.
- [11] N. A. binti Mohd Suib, N. H. M. Salleh, M. S. Shukor, N. Chamhuri, S. Shahimi, K. M. Salleh, and K. Hashim, “The influence of Good Agricultural Practice (GAP) on the productivity and well-being of Malaysian Sustainable Palm Oil (MSPO)-certified independent smallholders in Malaysia,” *Agriculture*, vol. 13, no. 5, Art. no. 990, 2023, doi: 10.3390/agriculture13050990.
- [12] A. Ilhami, T. Hidayat, and Riandi, “Exploring the potential of palm oil plantation waste for local communities using mixed methods,” *Global J. Environ. Sci. Manage.*, vol. 10, no. S.I., pp. 219–236, 2024, doi: 10.22034/gjesm.2024.10.SI.14.
- [13] E. M. Ouafiq, R. Saadane, and A. Chehri, “Data management and integration of low power consumption embedded devices IoT for transforming smart agriculture into actionable knowledge,” *Agriculture*, vol. 12, no. 3, Art. no. 329, 2022, doi: 10.3390/agriculture12030329.
- [14] J. Backman, M. Koistinen, and A. Ronkainen, “Agricultural process data as a source for knowledge: Perspective on artificial intelligence,” *Smart Agric. Technol.*, vol. 5, Art. no. 100254, 2023, doi: 10.1016/j.atech.2023.100254.
- [15] A. Abubakar, S. Kasim, M. Y. Ishak, and M. K. Uddin, “Maximizing oil palm yield: Innovative replanting strategies for sustainable productivity,” *J. Environ. Earth Sci.*, vol. 5, no. 2, 2023, doi: 10.30564/jees.v5i2.5904.
- [16] K. T. Sibhatu, M. P. Tabe-Ojong, and H. Siregar, “Nature-based land management practices and yield dynamics in oil palm production: Insights from Indonesian smallholder growers,” *Agricultural Economics*, vol. 56, no. 5, pp. 713–727, 2025, doi: 10.1111/agec.70018.
- [17] N. Lachgar, M. Essabbar, H. Saikouk, and A. El Hilali Alaoui, “Development of an expert system for precision irrigation: Knowledge modeling approach,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 165623–165644, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3612263.
- [18] A. F. Alharbi, M. A. Aslam, K. A. Asiry, N. R. Aljohani, and Y. Glikman, “An ontology-based agriculture decision-support system with an evidence-based explanation model,” *Smart Agric. Technol.*, vol. 9, Art. no. 100659, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100659.
- [19] B. Darnala, F. Amardeilh, C. Roussey, K. Todorov, and C. Jonquet, “C3PO: A crop planning and production process ontology and knowledge graph,” *Frontiers in Artificial Intelligence*, vol. 6, 2023, doi: 10.3389/frai.2023.1187090.
- [20] R. Abbasi, P. Martinez, and R. Ahmad, “An ontology model to represent aquaponics 4.0 system’s knowledge,” *Information Processing in Agriculture*, vol. 9, no. 4, pp. 514–532, 2022, doi: 10.1016/j.inpa.2021.12.001.
- [21] A. T. Sayuti, W. Windarto, M. R. Martadinata, M. A. Ridho, Sulhi, M. Daud, and A. Kadir, “Legal realism and the future of palm oil management in Indonesia,” 2025, doi: 10.22437/jlj.8.1.375-398.
- [22] C. S. Sundaraja, D. W. Hine, and A. D. Lykins, “Palm oil: Understanding barriers to sustainable consumption,” *PLoS ONE*, vol. 16, no. 8, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0254897.

- [23] Z. Ogahara, K. Jespersen, I. Theilade, and M. R. Nielsen, "Review of smallholder palm oil sustainability reveals limited positive impacts and identifies key implementation and knowledge gaps," *Land Use Policy*, vol. 120, Art. no. 106258, 2022, doi: 10.1016/j.landusepol.2022.106258.
- [24] S. Sabrina, S. Sarwoprasodjo, M. Hubeis, and D. H. Azahari, "A palm game design as a development communication strategy to increase knowledge of sustainable oil palm for Gen Z and millennials in Jakarta," *Edelweiss Applied Science and Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 3556–3568, 2024, doi: 10.55214/25768484.v8i6.2754.
- [25] K. I. Majesty, B. D. Purnamasari, K. Mizuno, T. Sutardi, and K. N. Ekawati, "Palm oil waste management with local wisdom as an approach to achieve sustainable development in independent smallholder palm plantations," *Evergreen*, vol. 11, no. 4, pp. 3484–3496, 2024, doi: 10.5109/7326984.
- [26] D. T. Adereti, M. Gardezi, T. Wang, and J. McMaine, "Understanding farmers' engagement and barriers to machine learning-based intelligent agricultural decision support systems," *Agronomy Journal*, vol. 116, no. 3, pp. 1237–1249, 2024, doi: 10.1002/agj2.21358.
- [27] A. Hopf, J. A. Watson, M. Swisher, Z. Brym, and G. Hoogenboom, "Assessment of the knowledge landscape, information needs and attitude towards decision support systems among hemp farmers in Florida," *Journal of Cannabis Research*, vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.1186/s42238-025-00318-3.
- [28] M. von Bloh, D. Lobell, and S. Asseng, "Knowledge informed hybrid machine learning in agricultural yield prediction," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 227, Art. no. 109606, 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.109606.
- [29] A. Estefan, R. Ordoñez, C. Parilli, and P. Winters, "Hybrid agricultural extension and the adoption of climate-resilient varieties: Evidence from oil palm in the Amazon," *Food Policy*, vol. 136, Art. no. 102952, 2025, doi: 10.1016/j.foodpol.2025.102952.
- [30] M. D. Pashkevich, C. A. M. Marshall, B. Freeman, V. J. Reiss-Woolever, J. P. Caliman, J. Drewer, *et al.*, "The socioecological benefits and consequences of oil palm cultivation in its native range: The Sustainable Oil Palm in West Africa (SOPWA) Project," *Science of the Total Environment*, vol. 926, Art. no. 171850, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.171850.
- [31] H. Purnomo, B. Okarda, L. Juniyanti, S. D. Kusumadewi, D. Puspitaloka, M. Azzahra, S. Nadhira, P. Irawan, N. Liswanti, G. C. Schoneveld, and M. A. Brady, "Advancing palm oil sustainability to address the climate crisis: Leveraging theory of change and system dynamics model at the jurisdictional level," *Forest Policy and Economics*, vol. 181, Art. no. 103594, 2025, doi: 10.1016/j.forpol.2025.103594.
- [32] I. Mouratiadou, N. Lemke, C. Chen, A. Wartenberg, R. Bloch, M. Donat, T. Gaiser, D. H. Basavegowda, K. Helming, S. A. Hosseini Yekani, *et al.*, "The Digital Agricultural Knowledge and Information System (DAKIS): Employing digitalisation to encourage diversified and multifunctional agricultural systems," *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 16, Art. no. 100274, 2023, doi: 10.1016/j.es.2023.100274