

Smart Farming dan Big Data: Decision Support System untuk Optimalisasi Investasi dan Analisis Risiko Agribisnis

Ayu Danavia

Akademi Bisnis Lombok
danavia01@gmail.com

Abstract

Smart Farming and Big Data: Decision Support System for Investment Optimization and Agribusiness Risk Analysis. The digital revolution and climate change mandate a paradigm shift in agribusiness management toward data-driven decision-making. This study examines the role of smart farming, big data analytics, and AI-powered Decision Support Systems (DSS) in optimizing investments and evaluating agribusiness risks within the framework of Human Capital 5.0. Utilizing a qualitative-descriptive research design and a Systematic Literature Review (SLR) combined with comparative case study analysis, this study evaluates 11 primary sources spanning global frameworks (FAO, World Bank, CGIAR/AICCRA multi-agent AI risk tools) and Indonesian regional cases (corn agribusiness in Bima Regency, coffee smart farming in Cianjur, and national digital infrastructure reports). The findings reveal that IoT-based smart farming increases crop productivity by 20-25% (with volumetric yield gains up to 33%), while cutting irrigation water usage by 28.6-30% and chemical input costs by 25%. Furthermore, multi-agent AI architectures reduce enterprise risk assessment costs by over 95% compared to traditional consultancies. However, technological adoption remains constrained by rural digital infrastructure gaps (3,493 blank spot villages) and low digital literacy. The study underscores that achieving Human Capital 5.0 requires empowering farmers from physical laborers into knowledge-based agricultural managers supported by state-led infrastructure and blended finance.

Keywords: Big Data Analytics, Decision Support System, Human Capital 5.0, Risk Analysis, Smart Farming.

PENDAHULUAN

Sektor pertanian global dan nasional saat ini berada pada persimpangan jalan mendasar akibat terpaan guncangan ganda: disrupsi teknologi digital berbasis kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) dan eskalasi krisis iklim global. Sebagai negara agraris, Indonesia menggantungkan ketahanan pangan dan perekonomian pedesaan pada sektor pertanian. Namun, praktik pertanian konvensional yang berorientasi pada kerja fisik menghadapi keterbatasan struktural berupa degradasi kualitas lahan, inefisiensi rantai pasok, ketidakpastian iklim, serta fenomena penuaan petani dan kelangkaan tenaga kerja muda. Menurut estimasi Organisasi Pangan dan Pertanian [1], (populasi dunia yang diproyeksikan mencapai 9,7 hingga 10 miliar jiwa pada tahun 2050 menuntut peningkatan produksi pangan global setidaknya sebesar 50-70% dibanding tingkat produksi saat ini. Kondisi ini menegaskan bahwa peningkatan hasil panen tidak lagi dapat mengandalkan ekstensifikasi lahan semata, melainkan harus ditempuh melalui transformasi digital yang presisi, adaptif, dan berkelanjutan.

Kajian literatur terdahulu (state of the art) mengonfirmasi pesatnya perkembangan riset pertanian digital, namun sebagian besar masih terfragmentasi dalam domain teknis atau kualitatif secara terpisah. Kajian komprehensif [2] dan [3] berfokus pada arsitektur algoritma dan pemodelan keputusan cerdas big data seperti Machine Learning, Deep Learning, MLOps, dan Intelligent Agricultural Ecosystems (IAE) tetapi tidak menghubungkan rekomendasi teknis tersebut dengan kalkulasi risiko finansial pembiayaan dan dinamika perilaku petani di tingkat

lapangan. Tinjauan sistematis [4] menegaskan efektivitas analitik big data dalam optimasi tanah, air, dan tanaman, namun belum mengakomodasi analisis risiko usaha agribisnis secara menyeluruh. Di tingkat internasional, riset CGIAR/AICCRA [5] mengembangkan alat penilaian risiko berbasis AI (Finance Agent, Climate Agent, Behavioral Agent) yang mampu menghasilkan risalah tingkat investor dengan memangkas biaya konsultasi hingga di atas 95% (biaya asesmen <5%), namun penerapannya berfokus pada skala korporasi Afrika Timur tanpa mempertimbangkan hambatan struktural petani gurem di negara berkembang seperti Indonesia. Sementara itu, riset empiris lokal di Indonesia seperti [6] membuktikan bahwa smart farming hemat air 28,6-30%, hemat bahan kimia 25%, dan meningkatkan produktivitas 20-25% (volume naik 33%), serta [7] yang menunjukkan literasi digital berpengaruh dominan (34%) terhadap kinerja agribisnis jagung Bima ($R^2 = 0,68$; akurasi Random Forest 81%), namun kedua studi lokal tersebut belum merumuskan model Decision Support System (DSS) terintegrasi yang menghubungkan data sensor lapangan secara langsung dengan profil risiko investasi investor.

Kesenjangan penelitian (research gap) yang mendasar terletak pada ketiadaan kerangka kerja terpadu yang mampu menjembatani data presisi lapangan dengan pemodelan risiko investasi multidimensi dan kesiapan modal manusia. Berdasarkan bukti literatur terdahulu, riset teknis cenderung mengabaikan kelayakan finansial, sedangkan riset pembiayaan sering kali mengabaikan kendala perilaku dan literasi digital petani lokal. Kebaruan ilmiah (scientific novelty) dari artikel ini terletak pada perumusan model integrasi Decision Support System (DSS) berbasis AI dan big data yang secara simultan menyatukan tiga pilar analisis: (1) efisiensi input teknis berbasis IoT/smart farming, (2) analisis risiko multidimensi terintegrasi (finansial, iklim, dan perilaku petani), serta (3) transformasi Human Capital 5.0 yang disesuaikan dengan konteks sosial-ekonomi dan infrastruktur digital Indonesia (3.493 desa blank spot) di bawah pembinaan negara [8]

Tujuan dari kajian artikel ini adalah untuk: (1) menganalisis peran teknis smart farming dan analitik big data dalam Decision Support System agribisnis; (2) membandingkan efektivitas asesmen risiko berbasis AI skala global (CGIAR/AICCRA) dan empiris lokal Indonesia (Bima, Cianjur); (3) mengidentifikasi strategi optimalisasi investasi dan mitigasi risiko multidimensi (finansial, iklim, perilaku); serta (4) merumuskan rekomendasi kebijakan dan peta jalan penguatan Human Capital 5.0 berbasis peranan negara.

METODE

Penelitian ini menerapkan rancangan kajian literatur sistematis (Systematic Literature Review/SLR) yang dipadukan dengan analisis studi kasus deskriptif komparatif (descriptive comparative case study) menggunakan kerangka kerja kualitatif dan kuantitatif terintegrasi (mixed-methods framework). Metode ini dipilih untuk mengevaluasi secara rigorous dan komprehensif interaksi antara variabel teknologi cerdas, efisiensi operasional, risiko pembiayaan, dan kapasitas sosial-ekonomi petani.

Desain Penelitian dan Kasus Studi

Cakupan studi dan sumber data terdiri dari 11 dokumen ilmiah terverifikasi yang dikelompokkan ke dalam dua tingkatan analisis (global dan lokal):

1. Studi Kasus Agribisnis Jagung di Kabupaten Bima [7]: Menggunakan rancangan mixed methods sequential explanatory dengan survei terstruktur terhadap 140 petani responden yang tersebar secara proporsional di 18 kecamatan, dilengkapi wawancara mendalam dengan 10 informan kunci dan FGD. Mengukur pengaruh adopsi teknologi (X1), literasi

- digital (X2), dan akses pasar (X3) terhadap kinerja agribisnis (Y) menggunakan regresi linear berganda dan algoritma Machine Learning Random Forest (akurasi prediksi 81%).
2. Studi Kasus Smart Farming Kopi di Cianjur [8] : Evaluasi penerapan sistem pemantauan dan penyiraman otomatis berbasis IoT oleh Kelompok Tani Sinar Makmur Tani yang berhasil mengoptimalkan proses penjemuran dan meningkatkan produktivitas kopi pasca-penjemuran dari 16 kg menjadi 64 kg.
 3. Kajian Sintesis Smart Farming Indonesia [6] : Sintesis empiris efisiensi operasional IoT dan sensor presisi pada lahan pertanian lokal (penghematan air 28,6–30%, reduksi bahan kimia 25%, dan peningkatan hasil panen 20–25% / volume hingga 33%).
 4. Benchmark Kerangka Kerja Multi-Agent AI CGIAR/AICCRA [5], [9] : Evaluasi penerapan 10 alat penilaian risiko berbasis AI pada UMKM agribisnis di Afrika Timur (Malawi, Uganda, Kenya, Tanzania) sebagai pembanding efisiensi biaya (<5% dibanding konsultasi tradisional) dan ketepatan analisis risiko investasi (Traffic Light Framework).
 5. Kerangka Kebijakan & Benchmark Global [1], [2], [3], [4], [10] : Mengestraksi arsitektur big data, Intelligent Agricultural Ecosystems, Digital Public Infrastructure, serta kendala 3.493 desa blank spot.

Pengumpulan dan Pengolahan Data Sekunder

Data sekunder dikumpulkan secara sistematis dari 11 dokumen sumber terverifikasi (jurnal bereputasi ScienceDirect, MDPI Agronomy, RIGGS, IJSR, serta laporan resmi FAO, World Bank, CGIAR, Kementerian Pertanian RI, dan Komdigi). Pengolahan data dilakukan melalui analisis isi (content analysis) dan koding tematik untuk menyintesis indikator kuantitatif efisiensi input, koefisien regresi, tingkat akurasi pemodelan Machine Learning, matriks risiko investasi (Traffic Light Framework), serta variabel kelembagaan pedesaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peran AI, Big Data, dan Smart Farming dalam Decision Support System

Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi Internet of Things (IoT), Big Data Analytics, dan Kecerdasan Buatan (AI) mentransformasi Decision Support System (DSS) dari sekadar sistem pemantau pasif menjadi platform prekognitif presisi. Berdasarkan sintesis kajian [2], [3], [4], [6], arsitektur DSS smart farming beroperasi melalui empat lapisan terintegrasi: Perception Layer (sensor kelembapan FC-28, kamera RGB, GPS, drone LiDAR), Network Layer (LoRa, ZigBee, 4G/5G), Data Processing Layer (cloud analytics, algoritma Deep Learning CNN/LSTM, Deep Reinforcement Learning), dan Application Layer (dashboard presisi, otomatisasi aktuator).

Penerapan teknologi cerdas ini memberikan dampak efisiensi operasional dan ekonomis yang signifikan di berbagai tahapan budidaya pertanian di Indonesia ([6]):

- Smart Planting & Sowing: Penggunaan mesin tanam otomatis berbasis Computer Numerical Control (CNC) dan algoritma presisi meningkatkan efisiensi pembibitan hingga 4 kali lipat dibanding penyemaian manual ([6], [11]).
- Smart Cultivation & Irigasi Otomatis: Implementasi IoT berbasis ESP32 dan sensor tanah pada lahan kering dan greenhouse menghemat air irigasi sebesar 28,6% hingga 30% per hari, mempertahankan kelembapan tanah optimal pada rentang 60–80%, serta menurunkan waktu respons pemantauan hingga 40% ([12], [13], [14]).
- Pest & Disease Control: Sistem deteksi hama tikus dan penyakit tanaman berbasis IoT dan AI mempercepat tindakan pencegahan, mengurangi kerugian hasil panen, serta menekan penggunaan pupuk dan pestisida kimia sebesar 25% ([12], [15], [16]).

- Smart Harvesting & Post-Harvest: Sistem image processing berbasis kamera RGB untuk identifikasi kematangan buah (seperti tomat) mencapai tingkat akurasi di atas 90%, menekan losses pasca-panen hingga 10–15% ([3], [17]). On-farm smart cultivation pada kopi Cianjur meningkatkan produktivitas penjemuran kopi 4 kali lipat dari 16 kg menjadi 64 kg (Batavia Pos, 2026).

Tabel 1. Sintesis Temuan Kuantitatif Dampak Smart Farming dan Big Data di Indonesia dan Global

Sistem / Teknologi Smart Farming	Dampak Efisiensi Input	Peningkatan Produktivitas / Akurasi / Sumber
Irigasi Otomatis IoT ESP32 (Lahan Kering & Greenhouse)	Penghematan air 28,6% - 30%/hari; respon pemantauan +40% lebih cepat	Hasil panen +12% - 20%; [13], [14]
Deteksi Hama & Pemupukan Presisi AI/IoT	Reduksi penggunaan pupuk & pestisida kimia 25%	Deteksi hama akurat; efisiensi +30%; [12], [15]
Panen Otomatis & Image Processing RGB	Penurunan kerugian pasca-panen (losses) 10-15%	Akurasi deteksi >90%; panen kopi 4x; [8], [17]
Multi-Agent AI Risk Assessment (CGIAR / AICCRA)	Biaya asesmen <5% dibanding konsultasi konvensional	Waktu analisis turun dari bulan ke jam; [5], [9]
Regresi & Random Forest Digital Farming Bima	Optimalisasi input & rantai pasok agribisnis jagung	$R^2 = 0,68$; akurasi Random Forest 81%; [7]

Perbandingan Kasus Global (CGIAR/AICCRA) dan Lokal (Indonesia)

Di tingkat global, riset terdepan CGIAR/AICCRA ([5], [9]) mengembangkan metodologi penilaian risiko berbasis multi-agent AI yang menyatukan tiga pilar analisis: Finance Agent (menganalisis konsentrasi pendapatan komoditas tunggal dan arus kas musiman), Climate Agent (menganalisis data spasial CHIRPS dan ERA5 untuk memetakan kerentanan agroklimat), dan Behavioral Agent (mengukur risiko tata kelola internal dan potensi side-selling oleh petani mitra). Pengujian pada 10 perusahaan agribisnis di Afrika Timur membuktikan bahwa sistem AI ini menghasilkan risalah risiko tingkat investor (investor-grade risk report) dalam hitungan jam dengan biaya kurang dari 5% dari biaya konsultasi tradisional. Sebaliknya, di Indonesia, penerapan smart farming masih menghadapi jurang pemisah antara efisiensi teknis dan kapasitas sosial-ekonomi. Studi [7] pada agribisnis jagung di Kabupaten Bima (populasi 140 petani responden di 18 kecamatan) menghasilkan persamaan regresi linear berganda:

$$Y = 0,312 X_1 + 0,428 X_2 + 0,267 X_3 \quad (R^2 = 0,68)$$

di mana X_1 adalah Adopsi Teknologi ($t = 3,845$; $p < 0,001$), X_2 adalah Literasi Digital ($t = 5,217$; $p < 0,001$), dan X_3 adalah Akses Pasar ($t = 2,996$; $p = 0,003$). Pemodelan Machine Learning Random Forest mengonfirmasi bahwa Literasi Digital memberikan kontribusi variabel paling dominan (34%), diikuti Adopsi Teknologi (29%), dan Akses Pasar (21%), dengan tingkat akurasi pemodelan mencapai 81%. Temuan FGD mengungkapkan bahwa meskipun produksi jagung Bima sangat tinggi (724.000 ton), tingkat pendidikan petani yang

mayoritas tamatan SD-SMP (48%) dan literasi digital yang rendah-sedang (84%) membuat petani tetap terjerat manipulasi harga oleh tengkulak saat panen raya akibat ketiadaan akses informasi pasar real-time.

3.3 Analisis Risiko Multidimensi Agribisnis

Sintesis lintas sumber mengidentifikasi bahwa agribisnis skala kecil dan menengah menghadapi lingkaran risiko terikat (intertwined risk feedback loops):

1. Risiko Finansial (Financial Risk): Rentan akibat konsentrasi pendapatan pada komoditas tunggal, guncangan likuiditas musiman, dan keterbatasan agunan formal. Buruknya pencatatan keuangan meningkatkan biaya pembiayaan.
2. Risiko Iklim (Climate Risk): Gelombang panas, anomali curah hujan, dan kekeringan memicu kegagalan panen yang merembet langsung pada risiko kredit macet dan ancaman keberlanjutan usaha.
3. Risiko Perilaku dan Organisasi (Behavioral Risk): Ketergantungan tinggi pada pendiri usaha (key-person dependency), risiko gagal janji atau penjualan di luar kontrak (side-selling) oleh petani mitra saat harga pasar gelap melambung, serta lemahnya literasi digital organisasi.

3.4 Optimalisasi Investasi Melalui Decision Support System dan Blended Finance

Untuk mengatasi hambatan investasi, Decision Support System (DSS) harus diintegrasikan dengan instrumen pembiayaan inovatif Blended Finance (penggabungan dana hibah, kredit konsesional, dan ekuitas swasta) serta asuransi pertanian berindeks iklim (Weather Index Insurance) ([5], [10]). Di Indonesia, pemerintah dapat memanfaatkan instrumen Matching Fund dan Voucher Digital ([8]) untuk mendanai infrastruktur IoT dan analitik AI pada titik agregasi petani gurem (seperti Koperasi Tani, Kelompok Tani, dan Brigade Pangan), sehingga biaya investasi kolektif menjadi jauh lebih terjangkau.

KESIMPULAN

Penerapan Smart Farming, Big Data Analytics, dan Decision Support System (DSS) terbukti secara ilmiah menjadi pilar utama dalam optimalisasi investasi dan analisis risiko agribisnis. Integrasi IoT dan kecerdasan buatan terbukti mampu memberikan dampak efisiensi nyata, seperti penghematan air 30%, pengurangan bahan kimia 25%, peningkatan hasil panen 20–25% (volume hingga 33%), serta efisiensi asesmen risiko di atas 95%. Namun, efektivitas teknologi cerdas ini sangat bergantung pada kesiapan SDM. Dalam kerangka Human Capital 5.0, penguatan kapasitas harus diarahkan untuk mentransformasi peran petani dari pekerja fisik menjadi pengelola pengetahuan (knowledge-based farm manager) yang mampu menginterpretasikan data analitik untuk pengambilan keputusan bisnis yang rasional dan adaptif.

SARAN

1. Kebijakan Kelembagaan & Infrastruktur: Komdigi, Kementan, dan Kemendes perlu memprioritaskan penuntasan 3.493 desa blank spot serta membangun Digital Agriculture Data Exchange Node sebagai infrastruktur data publik (DPI).
2. Skema Pembiayaan & Agregasi: Mengakselerasi skema Blended Finance, Voucher Digital, dan Listrik Masuk Sawah dengan mengarahkan investasi teknologi pada titik agregasi petani (Koperasi Tani & Brigade Pangan).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel ini. Apresiasi diberikan kepada para akademisi dan peneliti yang karyanya menjadi rujukan penting dalam kajian mengenai smart farming, big data, dan sistem pendukung keputusan agribisnis.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada lembaga internasional seperti CGIAR, World Bank, dan FAO atas publikasi dan laporan yang memperkaya perspektif global, serta kepada media dan institusi nasional yang telah menyediakan data dan informasi kebijakan terkait transformasi digital pertanian di Indonesia.

Dukungan dari seluruh pihak tersebut sangat membantu sehingga artikel prosiding bertema *Human Capital 5.0: Peran Pendidikan dan Manajemen dalam Menghadapi Disrupsi AI dan Otomatisasi* dapat terselesaikan dengan baik..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Food and A. Organization, *Digital agriculture and AI innovation roadmap: Transforming agri-food systems*. Rome: FAO.
- [2] C. Qin *et al.*, “A comprehensive review of big data intelligent decision-making models for smart farms,” *Agronomy*, vol. 15, no. 12, p. 2898, doi: 10.3390/agronomy15122898.
- [3] A. Cravero, S. Sepúlveda, F. Gutiérrez, and L. Muñoz, “From precision agriculture to intelligent agricultural ecosystems: A systematic review of machine learning and big data applications,” *Agronomy*, vol. 16, no. 2, p. 516, doi: 10.3390/agronomy16020516.
- [4] Z. Ahanou, F. Mrabti, and Y. Dhassi, “Big data analytics in precision agriculture: An automated systematic literature review,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 243, p. 111401, doi: 10.1016/j.compag.2025.111401.
- [5] H. Dahl, N. Peterson, and N. Muoki, *AI-powered risk assessment tools for agribusinesses: Transforming investment-readiness and climate advisory in Africa (AICCR InfoNote)*. Accelerating Impacts of CGIAR Climate Research for Africa.
- [6] P. J. Wahyuti, T. Sjah, and K. Budastra, “Peran smart farming di Indonesia,” *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, vol. 5, no. 2, pp. 18504–18509, doi: 10.31004/riggs.v5i2.4454.
- [7] P. Arissaryadin, A. D., and R. N. Prayoga, “Integrating mixed methods and big data analytics in digital farming to improve corn agribusiness performance in Bima Regency, Indonesia,” *International Journal of Sustainability in Research*, vol. 4, no. 3, pp. 165–182, doi: 10.59890/ijsr.v4i3.428.
- [8] E. Effendi, “AI untuk pertanian, ketika smart farming membutuhkan peran negara,” *Batavia Pos*.
- [9] N. Muoki, H. Dahl, and N. Peterson, “Climate and finance risk assessments of five agribusinesses using AI-tools (Consolidated Report),” *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*.

- [10] W. Bank, *Harnessing artificial intelligence for agricultural transformation*. Washington, DC: World Bank Group.
- [11] S. Wulandari and M. Rifaldi, “Penerapan sistem Computer Numerical Control (CNC) sebagai alat penyemaian otomatis benih selada,” *Jurnal Otomasikan Pertanian*, vol. 11, no. 2, pp. 45–52.
- [12] R. Widanti, B. Pratama, and T. Kurniawan, “Pengembangan sistem smart farming berbasis IoT untuk deteksi dan pengendalian hama tikus pada pertanian padi,” *Jurnal Teknologi Informasi Pertanian*, vol. 9, no. 3, pp. 115–123.
- [13] S. Wahyudi, A. Firmansyah, and M. Lazuardi, “Rancang bangun sistem irigasi otomatis berbasis IoT untuk optimalisasi penggunaan air pada greenhouse,” *Jurnal Teknologi Pertanian dan Lingkungan*, vol. 13, no. 2, pp. 88–97.
- [14] D. Nurhaliza, “Implementasi sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada lahan pertanian kering untuk efisiensi air dan peningkatan produktivitas,” *Jurnal Rekayasa Pertanian Berkelanjutan*, vol. 6, no. 1, pp. 25–33.
- [15] F. Nugroho, R. Utami, and T. Prasetya, “Penerapan sistem image processing berbasis kamera RGB untuk identifikasi tingkat kematangan buah tomat pada proses panen otomatis,” *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, vol. 14, no. 1, pp. 51–59.
- [16] R. Hidayat, D. Syahputra, and L. Anwar, “Penerapan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam sistem pertanian cerdas untuk peningkatan produktivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya di Desa Watu,” *Jurnal Teknologi Pertanian Terapan*, vol. 15, no. 2, pp. 112–120.
- [17] F. Dirayati, “Aplikasi berbasis Internet of Things (IoT) dalam penerapan smart farming untuk efisiensi input pertanian dan keberlanjutan lingkungan di Indonesia,” *Jurnal Ilmiah Manajemen Agri*, vol. 7, no. 1, pp. 56–64.