

From Technology to Human Behavior: Mapping Agricultural Innovation and Psychological Drivers for Food Self-Sufficiency (2020–2026)

Wahyu Almizri^{1*}, Yusuf Akhmad²

¹Universitas Negeri Malang

²Sekolah Menengah Pertama Negeri 9 Kota Jambi, Provinsi Jambi

*Email Korespondensi: almizri.wahyu@gmail.com

Abstrak

Di tengah krisis iklim global, kemandirian pangan menjadi prioritas strategis nasional. Meskipun inovasi teknologi berkembang pesat, rendahnya tingkat adopsi di tingkat petani tetap menjadi hambatan utama yang sering terabaikan. Penelitian ini bertujuan memetakan lanskap inovasi pertanian dan mengidentifikasi penggerak psikologis yang memengaruhi perilaku petani untuk mencapai kemandirian pangan selama periode 2020–2026. Metode penelitian menggunakan tinjauan literatur sistematis dan pemetaan bibliometrik. Data awal sebanyak 2.300 artikel diekstraksi melalui *Publish or Perish* dari *database Crossref*, *PubMed*, *Scopus*, dan *Google Scholar*. Proses seleksi data dilakukan menggunakan protokol PRISMA, sementara analisis kluster dan visualisasi tren diolah melalui aplikasi *VOSviewer*. Hasil analisis mengungkapkan tiga kluster utama riset: (1) kluster teknologi yang berfokus pada *precision agriculture* dan *smart fertilizer*; (2) kluster perilaku manusia yang didominasi teori adopsi (UTAUT, TAM, SDT); dan (3) kluster sistem pangan adaptif. Penelitian menyimpulkan bahwa transformasi kemandirian pangan 2026 bergantung pada sinkronisasi antara inovasi teknologi dengan kesiapan psikologis petani. Kebijakan harus beralih dari intervensi teknosentris menuju penguatan kapasitas perilaku dan pembelajaran kolaboratif.

Kata kunci: Inovasi Pertanian, Perilaku Manusia, Swasembada Pangan, PRISMA, *VOSviewer*, Pertanian Presisi

Abstract

Amid the global climate crisis, food self-sufficiency has become a national strategic priority. Despite the rapid development of technological innovation, low adoption rates at the farmer level remain a major obstacle. This study aims to describe the agricultural innovation landscape and identify psychological drivers that influence farmers' behavior in achieving food self-sufficiency during the 2020–2026 period. The research method uses systematic literature observation and bibliometric mapping. Initial data of 2,300 articles were extracted through Publish or Perish from the Crossref, PubMed, Scopus, and Google Scholar databases. The data selection process was carried out using the PRISMA protocol, interim cluster analysis, and trend visualization processed through the VOSviewer application. The analysis results revealed three main research clusters: (1) a technology cluster focusing on precision agriculture and smart fertilizers; (2) a human behavior cluster that dominates adoption theories (UTAUT, TAM, SDT); and (3) an adaptive food system cluster. The study concludes that the transformation to food self-sufficiency by 2026 depends on synchronizing technological innovation with farmers' psychological readiness. Policies must shift from techno-centric interventions to strengthening behavioral capacity and collaborative learning.

Keywords: Agricultural Innovation, Human Behavior, Food Self-sufficiency, PRISMA, *VOSviewer*, Precision Agriculture

PENDAHULUAN

Krisis *planetari* yang mencakup perubahan iklim, polusi, dan hilangnya keanekaragaman hayati kini telah menjadi ancaman eksistensial bagi stabilitas sistem pangan dunia, di mana proyeksi populasi global yang mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050 menuntut transformasi mendalam dalam cara kita memproduksi dan mengonsumsi makanan (Adnan *et al.*, 2025). Dalam rentang waktu antara tahun 2020 hingga 2026, diskursus mengenai ketahanan pangan telah bergeser secara signifikan menuju konsep kemandirian pangan (*food self-sufficiency*) sebagai strategi krusial untuk memitigasi risiko kegagalan rantai pasok global yang sempat lumpuh akibat pandemi dan konflik geopolitik (Rifka Alkhilyatul Ma'rifat, I Made Suraharta, 2024). Secara teoretis, kemandirian pangan berakar pada cita-cita otonomi atau unit rumah tangga yang mampu mencukupi kebutuhannya sendiri tanpa ketergantungan absolut pada pihak luar, sebuah nilai simbolis yang kuat dalam membangun martabat sosial meski dalam realitas ekonomi pasar yang hiper-terkoneksi saat ini kemandirian total sering kali dianggap sebagai sebuah mitos. Namun, banyak komunitas di berbagai belahan dunia tetap berperilaku "seolah-olah" kemandirian adalah tujuan yang dapat diraih, memicu munculnya inovasi pertanian yang sangat dinamis untuk menjawab tantangan tersebut Skrzypczy, (2023).

Evolusi inovasi ini terlihat jelas dari transisi pertanian konvensional menuju pertanian presisi dan digitalisasi, di mana penggunaan teknologi pupuk cerdas (*smart fertilizer*), data satelit, dan sensor berbasis *Internet of Things* (IoT) diharapkan mampu mengoptimalkan nutrisi tanaman serta meningkatkan hasil panen tanpa merusak lingkungan (Blakeney, 2022). Meskipun kemajuan teknis ini berkembang pesat di laboratorium, terdapat kesenjangan yang lebar dalam tingkat adopsi di lapangan, terutama di negara berkembang yang sering kali menghadapi kendala infrastruktur dan keterbatasan pengetahuan teknis. Fenomena ini menegaskan bahwa teknologi pertanian tidak beroperasi dalam ruang hampa, melainkan sangat bergantung pada penggerak psikologis dan perilaku manusia sebagai penentu utama keberhasilannya. Berdasarkan pemetaan bibliometrik yang terlihat dalam visualisasi *VOSviewer*, riset global saat ini terbagi ke dalam tiga poros utama: klaster teknologi yang berfokus pada akurasi dan produktivitas, klaster perilaku manusia yang didominasi oleh teori adopsi, serta klaster sistem pangan adaptif yang menjembatani keduanya (Taljaard & Sonnenberg, 2019).

Lebih mendalam lagi, keputusan petani untuk mengadopsi inovasi pertanian dapat dijelaskan melalui kerangka psikologis seperti *Unified Theory of Acceptance and*

Use of Technology (UTAUT) dan *Technology Acceptance Model* (TAM), di mana variabel ekspektasi kinerja, kemudahan penggunaan, pengaruh sosial, dan kondisi fasilitas menjadi faktor penentu niat seseorang untuk berubah. Selain faktor-faktor tersebut, persepsi risiko iklim dan kepercayaan terhadap pengembang teknologi memainkan peran sebagai variabel moderasi yang krusial, petani cenderung menolak alat canggih jika dianggap terlalu kompleks atau tidak selaras dengan identitas sosio-ekologis dan nilai-nilai budaya mereka. Di wilayah Afrika Sub-Sahara seperti Mali dan Tanzania, kegagalan banyak intervensi teknologi sering kali disebabkan oleh pendekatan "eksogen" atau dorongan dari luar yang mengabaikan narasi lokal, sementara inovasi "endogen" yang berbasis komunitas terbukti lebih berkelanjutan karena memanfaatkan pembelajaran eksperiensial dan pengetahuan tradisional petani (Adnan *et al.*, 2017).

Kondisi yang serupa namun dengan dinamika yang lebih spesifik ditemukan di Indonesia, di mana tantangan kemandirian pangan terlihat nyata pada komoditas daging sapi yang terus mengalami defisit produksi domestik. Ketidakmampuan mencapai kemandirian ini secara paradoks didorong oleh urbanisasi yang pesat dan perubahan gaya hidup masyarakat kota yang beralih ke diet protein hewani tinggi, sementara kapasitas produksi peternak rakyat masih terbatas oleh skala usaha yang kecil dan produktivitas yang rendah. Menariknya, perilaku konsumsi masyarakat Muslim di Indonesia menunjukkan bahwa mereka bersedia mentoleransi "jarak tempuh pangan" (*food miles*) yang jauh melalui daging impor, asalkan persyaratan halal terpenuhi secara ketat, yang menunjukkan bahwa etika agama sering kali menjadi penggerak psikologis yang lebih kuat dibandingkan nasionalisme ekonomi atau pertimbangan dampak lingkungan Mutenje *et al.*, (2016). Di sisi lain, upaya transformasi menuju ekonomi hijau di daerah seperti Deli Serdang menunjukkan bahwa inovasi kewirausahaan hijau di tingkat petani individu dapat berkontribusi pada kemandirian pangan nasional jika didukung oleh kebijakan sistemik yang memperbaiki akses teknologi dan infrastruktur pasar (Marrero *et al.*, 2022).

Selain model pertanian skala besar, terdapat pula gerakan "kemandirian tenang" (*quiet self-sufficiency*) melalui praktik penyediaan pangan mandiri oleh rumah tangga (*food self-provisioning*) dan pertanian perkotaan yang meskipun skalanya kecil, memberikan kontribusi signifikan terhadap resiliensi komunitas dan kesejahteraan mental Aboagye-Darko & Mkhize, (2025). Eksperimen sosial seperti ekovillages di Eropa juga memberikan model alternatif bagi manajemen sumber daya yang berorientasi pada

konsep *degrowth*, di mana kemandirian pangan, air, dan energi diupayakan sebagai cara untuk melepaskan diri dari ketergantungan pada sistem kapitalis yang eksploitatif. Pada akhirnya, peta jalan menuju kemandirian pangan di tahun 2026 menuntut sinkronisasi antara inovasi teknologi presisi dengan kesiapan psikologis manusia, kebijakan tidak boleh lagi hanya berfokus pada pemberian bantuan fisik, tetapi harus beralih pada penguatan kapasitas perilaku petani melalui pembelajaran kolaboratif dan penghargaan terhadap narasi lokal agar transformasi sistem pangan yang berkelanjutan dan berdaulat dapat benar-benar terwujud Aditi *et al.* (2025).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan hibrida yang menggabungkan Analisis Bibliometrik dan *Systematic Literature Review* (SLR). Tujuannya adalah untuk tidak hanya merangkum isi konten literatur, tetapi juga memetakan secara visual struktur intelektual dan tren perkembangan inovasi pertanian serta penggerak psikologisnya menuju tahun 2026 (Pakri *et al.*, 2026). Dengan menggabungkan kedua metode ini, kita dapat menangkap gambaran besar dari ribuan data sekaligus mendalami esensi dari artikel-artikel kunci yang paling relevan bagi kemandirian pangan.

Proses pencarian dan penyaringan artikel dilakukan dengan mengikuti protokol PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk menjamin transparansi dan kualitas data. Kami melakukan penelusuran pada empat basis data utama menggunakan perangkat lunak *Publish or Perish* (PoP), yaitu *Crossref* (1.000), *PubMed* (1.000), *Scopus* (200), dan *Google Scholar* (100), dengan fokus pada rentang waktu penelitian antara tahun 2020 hingga proyeksi 2026.

Pada tahap awal identifikasi, peneliti menemukan total 2.300 catatan. Sebelum masuk ke tahap penyaringan, sebanyak 100 catatan dihapus karena merupakan duplikasi. Dari 2.200 artikel yang tersisa, kami melakukan penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, yang menyebabkan eliminasi besar-besaran sebanyak 2.150 artikel karena ketidaksesuaian topik. Selanjutnya, 50 artikel yang tersisa diperiksa secara mendalam melalui pembacaan teks lengkap (*full-text*). Pada tahap kelayakan (*eligibility*) ini, kami mengeluarkan 33 artikel lainnya dengan alasan spesifik: tidak fokus pada dimensi perilaku manusia dalam pertanian atau tidak membahas aspek kemandirian pangan secara langsung. Pada akhirnya, ditetapkanlah 17 studi kunci yang masuk ke dalam ulasan sistematis ini.

Setelah data artikel terkumpul, kami menggunakan perangkat lunak *VOSviewer* untuk melakukan pemetaan bibliometrik. Teknik ini memungkinkan kami untuk memvisualisasikan hubungan antar kata kunci dan konsep dalam tiga perspektif utama:

1. *Network Visualization*. Digunakan untuk melihat klusterisasi topik riset yang saling berhubungan, seperti kaitan antara teknologi pertanian presisi dengan perilaku adopsi petani.
2. *Overlay Visualization*. Berfungsi sebagai "mesin waktu" yang menunjukkan evolusi tren dari tahun 2024 hingga 2026, membantu mengidentifikasi pergeseran dari teori perilaku tradisional ke isu-isu modern seperti pertanian cerdas dan efisiensi data.
3. *Density Visualization*. Digunakan untuk mengidentifikasi titik panas (*hotspots*) riset. Semakin cerah warna pada area tertentu, seperti pada kata "*adoption*", "*behavior*", dan "*data*", semakin besar intensitas penelitian yang dilakukan pada area tersebut.

Data dari artikel yang terpilih kemudian dianalisis secara tematik. Peneliti melakukan ekstraksi informasi mengenai inovasi teknologi (seperti *smart fertilizer*), penggerak psikologis (seperti teori UTAUT dan persepsi risiko), serta sistem pangan adaptif (Alhassan *et al.*, 2023). Hasil dari pemetaan visual *VOSviewer* kemudian disintesis dengan temuan kualitatif dari literatur untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai masa depan kemandirian pangan. Kombinasi metode ini memastikan bahwa analisis kami didukung oleh data kuantitatif yang kuat sekaligus pemahaman kualitatif yang mendalam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Seleksi Sumber Literatur (PRISMA)

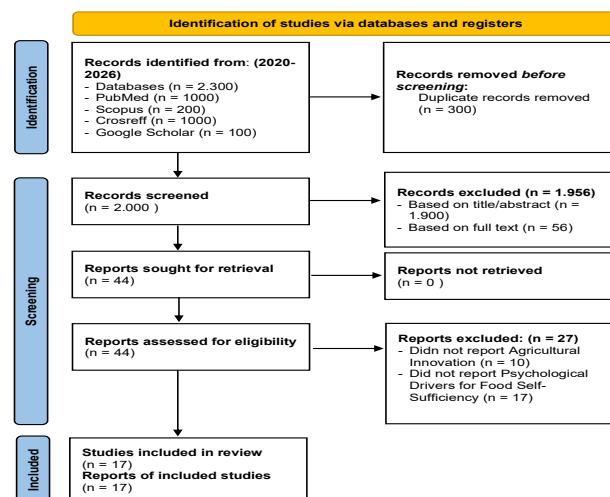
Proses seleksi literatur dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa setiap artikel yang dianalisis memiliki relevansi tinggi terhadap integrasi inovasi teknologi dan perilaku manusia dalam mencapai kemandirian pangan. Alur seleksi dimulai dengan tahap identifikasi melalui perangkat lunak *Publish or Perish* (PoP) yang berhasil mengumpulkan total 2.300 catatan dari empat basis data utama: *Crossref* (1.000), *PubMed* (1.000), *Scopus* (200), dan *Google Scholar* (100). Pada tahap awal penyaringan, sebanyak 300 artikel dihapus karena merupakan duplikasi antar database, menyisakan 2.000 artikel untuk dievaluasi lebih lanjut.

Penyaringan berikutnya dilakukan secara ketat berdasarkan judul dan abstrak untuk melihat kesesuaian dengan ruang lingkup riset. Tahap ini menyebabkan eliminasi

besar-besaran sebanyak 1.956 artikel karena fokus pembahasannya yang terlalu jauh, seperti studi medis murni tanpa konteks pangan atau analisis ekonomi makro yang tidak menyinggung aspek perilaku petani. Dari proses tersebut, tersisa 44 artikel yang memenuhi kriteria untuk dilakukan peninjauan teks lengkap (*full-text*).

Pada tahap kelayakan (*eligibility*), peneliti melakukan pembacaan mendalam terhadap 44 artikel tersebut. Hasilnya, 27 artikel kembali dikeluarkan dengan alasan spesifik 10 artikel hanya berfokus pada aspek teknis biologi tanaman tanpa menyinggung adopsi manusia, dan 17 artikel lainnya tidak secara langsung berkaitan dengan strategi kemandirian pangan nasional atau hanya bersifat laporan teknis singkat. Melalui protokol PRISMA 2020 ini, ditetapkanlah 17 studi kunci berkualitas tinggi yang menjadi fondasi utama dalam ulasan sistematis ini.

Studi-studi yang terpilih ini mencakup spektrum yang luas, mulai dari analisis empiris penggunaan teknologi pupuk cerdas (*smart fertilizer*) di negara berkembang, determinan inovasi digital di sektor pertanian Ghana, hingga tantangan spesifik kemandirian pangan komoditas daging sapi di Indonesia. Selain itu, literatur ini juga diperkuat dengan riset mengenai transformasi ekonomi hijau di Deli Serdang yang menyoroti peran kewirausahaan petani. Dengan jumlah literatur yang telah disaring ketat, analisis ini mampu menyinergikan data kuantitatif mengenai efisiensi teknologi dengan pemahaman kualitatif yang mendalam mengenai psikologi petani menuju target tahun 2026.



Gambar 1. Bagan Alur untuk Pemilihan Studi

2. Karakteristik Artikel

Berdasarkan hasil seleksi menggunakan protokol PRISMA, terdapat 17 artikel kunci yang dianalisis secara mendalam. Artikel-artikel ini mencakup berbagai wilayah geografis, mulai dari Asia (Indonesia, Pakistan, Malaysia), Afrika (Ghana, Tanzania, Malawi), hingga Eropa dan Australia. Fokus utama dari literatur yang terpilih adalah integrasi antara kemajuan teknologi pertanian dengan variabel psikologis yang mendorong adopsi teknologi tersebut demi tercapainya kemandirian pangan.

Berikut adalah tabel identitas 17 artikel kunci yang menjadi dasar analisis dalam penelitian ini:

No	Year/ First Author	Negara	Populasi	Exposure / Types of Technology	Findings Counseling Psychology Research
1.	2025 / Sanga	Mali (Afrika)	Petani kecil & Asosiasi lokal	<i>Agent-based model</i> inovasi pertanian	Keamanan pangan dipengaruhi oleh dinamika aktor dan kekuatan narasi lokal dalam sistem adaptif kompleks
2.	2025 / Adnan	Pakistan	353 Petani daerah lumbung padi	<i>Smart Fertilizer Technology</i>	Ekspektasi kinerja, pengaruh sosial, dan kepercayaan (<i>trust</i>) secara signifikan menentukan niat adopsi
3.	2025 / Aboagye-Darko	Ghana	207 Responden sektor pertanian	Inovasi Digital (<i>Mobile apps, AI, Cloud</i>)	Inovasi personal, kesadaran ketahanan pangan, dan pengalaman bertani memperkuat niat adopsi digital
4.	2025 / Aditi	Indonesia	398 Petani kecil (Deli Serdang)	<i>Agricultural Green Innovation</i>	Transformasi ekonomi hijau memediasi hubungan antara inovasi kewirausahaan petani dengan ketahanan pangan
5.	2024 / Nazaruddin	Indonesia	895 Konsumen Muslim urban	Rantai pasok daging sapi (<i>Beef Supply Chain</i>)	Urbanisasi dan perilaku konsumsi mendorong ketidakmandirian,

No	Year/ First Author	Negara	Populasi	Exposure / Types of Technology	Findings Counseling Psychology Research
					label Halal adalah syarat psikologis mutlak bagi konsumen.
6.	2023 / Bihun	Teoretis	Individu (Kepribadian)	Sistem Regulasi Diri Psikologis	Kemandirian (<i>self-sufficiency</i>) merupakan faktor kunci dalam pengembangan sistem regulasi diri dan kontrol perilaku manusia
7.	2023 / Skrzypczyński	Eropa	Komunitas pemukiman & <i>Ecovillages</i>	Strategi Manajemen Sumber Daya	Kemandirian pangan dan energi diupayakan sebagai bentuk otonomi psikologis dalam gerakan <i>degrowth</i> .
8.	2022 / Marrero	Puerto Rico	Petani kecil pasca-badai Maria	Sistem pangan resilien	Resiliensi dibangun melalui narasi kolaboratif dan identitas sosio-ekologis petani yang kuat
9.	2022 / Blakey	Asia Selatan	Petani sistem padi-gandum	<i>Precision Agriculture & Direct-seeded rice</i>	Motivasi dan pengetahuan petani adalah faktor tertinggi yang memengaruhi kinerja kerja dan produktivitas
10.	2021 / Bagum	Bangladesh	355 Petani padi	Aplikasi pupuk cerdas	Motivasi internal dan pengetahuan teknis secara signifikan meningkatkan performa petani di lapangan
11.	2019 / Taljaard	South Africa	469 Konsumen perempuan	<i>Voluntary Simplistic Consumption</i>	Motivasi intrinsik dan rasa kompetensi merupakan penggerak utama perilaku konsumsi berkelanjutan
12.	2018 / Vávra	Czech Republic	Tukang kebun aktif	<i>Food Self-Provisioning</i>	Motivasi pro-lingkungan dan gaya hidup

No	Year/ First Author	Negara	Populasi	Exposure / Types of Technology	Findings Counseling Psychology Research
			(<i>gardener s</i>)		mendorong kemandirian pangan rumah tangga yang signifikan
13.	2018 / Kuntos ch	Tanzania	Kelompok petani subsisten	Kompohemat energi & <i>Fertilizer micro-dosing</i>	Hambatan adopsi disebabkan oleh kesenjangan komunikasi dan persepsi pengguna terhadap kompleksitas inovasi
14.	2017 / Adnan	Malaysia	Petani padi	<i>Green Fertilizer Technology</i> (GFT)	Sikap positif dan persepsi kontrol perilaku (<i>PBC</i>) memicu niat kuat untuk mengadopsi teknologi hijau
15.	2017 / Rich	Australia	571 Dewasa (<i>simplifiers</i>)	<i>Voluntary Simplicity Lifestyle</i>	Kepuasan kebutuhan psikologis (otonomi, kompetensi, keterkaitan) memediasi hubungan antara gaya hidup mandiri dengan kesejahteraan..
16.	2016 / Mutenj e	Malawi	Rumah tangga petani	Varietas unggul & Konservasi tanah/air	Dinamika gender dan persepsi risiko pasar sangat memengaruhi keputusan inovasi rumah tangga..
17.	2015 / Gudeman	<i>Post-Socialist</i>	Rumah tangga pedesaan	Sistem <i>Oikos</i> vs Pasar	Kemandirian memiliki nilai simbolis martabat sosial yang kuat meskipun dalam ketergantungan pasar..

Analisis terhadap artikel-artikel ini menunjukkan bahwa meskipun teknologi yang ditawarkan sangat canggih (seperti pupuk cerdas atau AI), keberhasilan kemandirian pangan sangat bergantung pada faktor regulasi diri, motivasi intrinsik, serta kepercayaan petani terhadap sistem inovasi tersebut (Alaba *et al.*, 2024). Temuan ini mempertegas

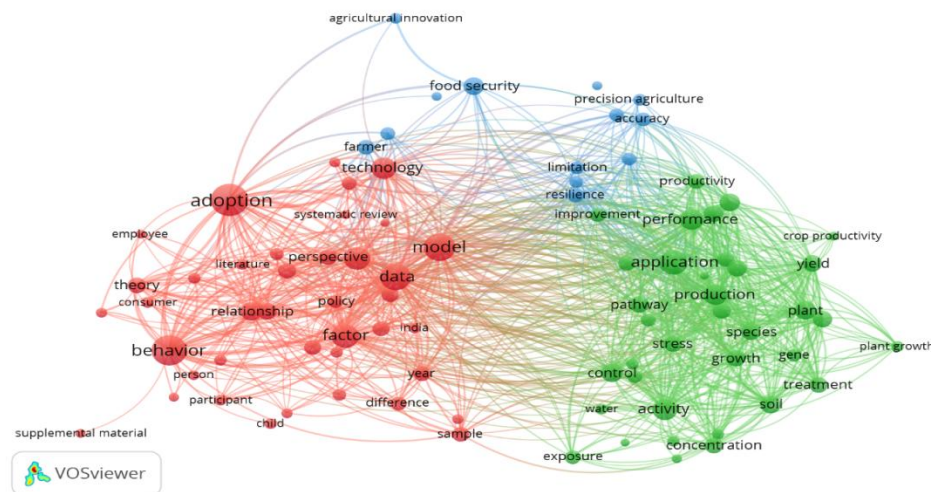
bahwa transformasi sistem pangan menuju 2026 harus menyinergikan aspek teknis dengan intervensi psikologis yang tepat.

3. Analisis Bibliometrik (Visualiasi VOSviewer)

Analisis bibliometrik dilakukan untuk memetakan struktur intelektual dan tren penelitian global yang mengaitkan inovasi pertanian dengan perilaku manusia dalam bingkai kemandirian pangan periode 2020–2026. Visualisasi diolah menggunakan perangkat lunak *VOSviewer* untuk menghasilkan gambaran menyeluruh mengenai hubungan antar konsep kunci (Silveira *et al.*, 2026).

A. Analisis Jaringan (*Network Visualization*)

Visualisasi jaringan mengungkapkan adanya tiga kluster utama yang mendominasi peta riset saat ini. Hal ini menunjukkan bahwa domain penelitian kemandirian pangan telah berkembang menjadi ekosistem yang multidisiplin.



Gambar 1. *Network Visualization*

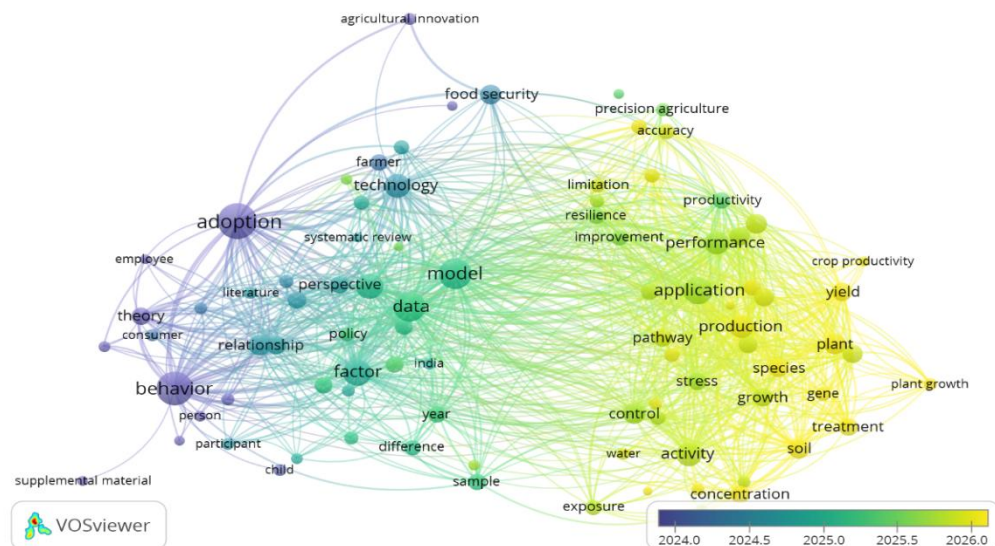
- Kluster Merah (Dimensi Perilaku). Berfokus pada aspek psikologis dan sosial. Kata kunci yang paling menonjol meliputi "*behavior*", "*adoption*", "*theory*", "*relationship*", dan "*perspective*". Kluster ini menunjukkan bahwa pemahaman mengenai teori adopsi (seperti UTAUT atau TAM) menjadi fondasi utama dalam riset inovasi pertanian.
- Kluster Hijau (Dimensi Produksi). Berfokus pada luaran fisik dan teknis biologi. Kata kunci utama mencakup "*production*", "*yield*", "*plant*", "*soil*", dan "*crop*".

productivity". Hal ini mengonfirmasi bahwa efisiensi budidaya dan optimalisasi sumber daya tanah tetap menjadi pilar dalam mencapai kemandirian pangan.

- **Klaster Biru (Dimensi Keamanan & Teknologi Presisi).** Berperan sebagai jembatan antara teknologi dan kebijakan. Kata kunci di sini adalah "*food security*", "*precision agriculture*", "*accuracy*", dan "*resilience*". Klaster ini menunjukkan bahwa ketahanan dan resiliensi sistem pangan sangat bergantung pada akurasi implementasi teknologi pertanian presisi.

B. Analisis Tren Kronologis (*Overlay Visualization*)

Visualisasi overlay memberikan perspektif waktu mengenai evolusi topik riset. Gradasi warna dari ungu ke kuning merepresentasikan transisi tren dari tahun 2024 menuju proyeksi 2026.

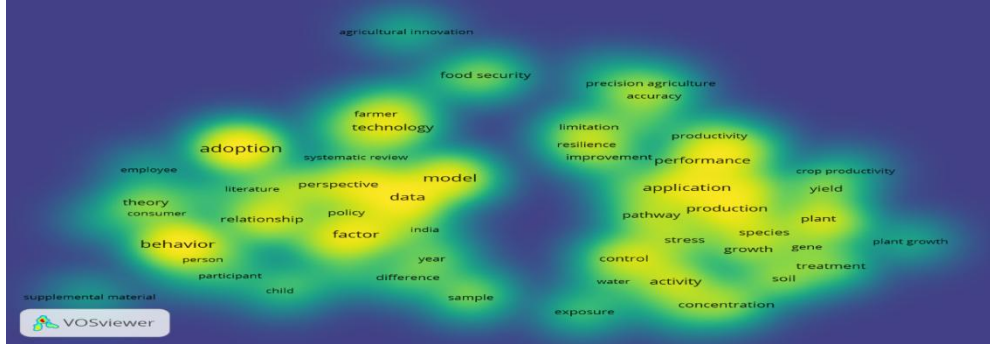


Gambar 2. *Overlay Visualization*

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada periode awal (warna ungu/biru), riset lebih banyak berfokus pada eksplorasi teori perilaku, hubungan sosial, dan konsep dasar adopsi. Namun, memasuki tahun 2025 hingga 2026 (warna hijau ke kuning terang), fokus penelitian bergeser secara tajam menuju "*precision agriculture*", "*accuracy*", "*crop productivity*", dan "*yield*". Hal ini mengindikasikan bahwa setelah pemahaman perilaku petani terbentuk, tantangan selanjutnya adalah memastikan akurasi teknologi digital dan dampak nyata terhadap peningkatan hasil panen domestik untuk kemandirian pangan.

C. Analisis Kepadatan Riset (*Density Visualization*)

Peta kepadatan menyoroti titik-titik panas (*hotspots*) penelitian yang memiliki intensitas paling tinggi atau area yang sudah sangat matang dieksplorasi.



Gambar 3. *Density Visualization*

Area dengan cahaya kuning paling terang terkonsentrasi pada variabel "*adoption*", "*behavior*", "*model*", "*data*", dan "*technology*". Tingginya kepadatan pada titik "*data*" dan "*model*" mencerminkan pentingnya penggunaan model berbasis data dalam memprediksi perilaku manusia dan mengelola sistem pangan. Sementara itu, area seperti "*resilience*" dan "*accuracy*" mulai menunjukkan intensitas yang meningkat, menandakan arah baru riset yang krusial dalam menghadapi krisis iklim global.

Secara keseluruhan, analisis visual *VOSviewer* mempertegas tesis utama penelitian ini: bahwa keberhasilan transisi teknologi pertanian menuju kemandirian pangan 2026 sangat bergantung pada integrasi yang harmonis antara kecanggihan data/teknologi (Klaster Hijau & Biru) dengan penggerak psikologis manusia (Klaster Merah).

Pembahasan

Sintesis menyeluruh terhadap struktur intelektual hasil pemetaan bibliometrik dan tinjauan sistematis terhadap 17 literatur kunci menunjukkan bahwa kemandirian pangan menuju tahun 2026 bukan lagi sekadar masalah peningkatan hasil fisik tanaman, melainkan sebuah fenomena sosio-ekologis yang kompleks. Visualisasi jaringan VOSviewer menegaskan transisi ini melalui dominasi kluster merah yang berpusat pada kata kunci "*behavior*" dan "*adoption*", yang secara teoretis berpijak pada model psikologis seperti *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT) dan *Technology Acceptance Model* (TAM). Hal ini mengindikasikan bahwa komunitas riset global telah menyepakati bahwa keberhasilan teknologi pertanian digital tidak dapat dilepaskan dari persepsi dan kesiapan mental penggunanya Boniface Umoh E., (2026).

Dalam dimensi teknologi (klaster hijau dan biru), fokus utama riset telah bergeser dari metode pertanian konvensional menuju pertanian presisi dan inovasi hijau. Penggunaan Teknologi Pupuk Cerdas (*Smart Fertilizer*) di negara berkembang seperti Pakistan dan Malaysia menunjukkan bahwa efisiensi nutrisi dapat ditingkatkan secara signifikan, namun adopsinya sangat bergantung pada ekspektasi kinerja ($\beta=0,160$) dan kepercayaan petani ($\beta=0,171$) terhadap sistem tersebut Adnan *et al.*, (2017). Lebih lanjut, di Indonesia, transformasi ekonomi hijau yang diteliti di Deli Serdang membuktikan bahwa inovasi kewirausahaan petani mampu memediasi hubungan antara praktik ramah lingkungan dengan pencapaian ketahanan pangan nasional. Hal ini selaras dengan tren dalam *Overlay Visualization* yang menunjukkan bahwa menuju tahun 2026, fokus riset akan semakin tajam pada akurasi data dan produktivitas tanaman yang terintegrasi dengan sistem digital Kendall, (2022).

Namun, tantangan nyata muncul ketika inovasi yang bersifat eksogen (didorong dari luar) bertabrakan dengan realitas narasi lokal. Studi simulasi di Mali mengungkapkan bahwa program ketahanan pangan sering kali gagal jika hanya berfokus pada bantuan pendanaan tanpa memperbaiki struktur jaringan sosial petani Ruderman *et al.*, (2025). Sebaliknya, mekanisme inovasi endogen yang berbasis komunitas terbukti lebih resilien karena memanfaatkan pembelajaran eksperiensial dan keselarasan dengan identitas sosio-ekologis petani. Di Puerto Rico, misalnya, identitas petani yang kuat menjadi penggerak utama resiliensi pasca-bencana badai Maria, di mana kemandirian dibangun melalui kolaborasi agen lokal daripada ketergantungan pada bantuan pemerintah.

Analisis terhadap kasus spesifik Indonesia pada komoditas daging sapi menyingkap sisi unik dari perilaku manusia yang didikte oleh etika agama dan urbanisasi. Urbanisasi yang pesat terbukti mendorong perubahan gaya hidup yang meningkatkan permintaan daging sapi secara drastis, menyebabkan defisit produksi domestik yang memaksa peningkatan impor. Menariknya, konsumen Muslim di Indonesia menunjukkan tingkat toleransi yang tinggi terhadap "jarak tempuh pangan" (*food miles*) yang jauh meskipun berdampak buruk pada jejak karbon asalkan persyaratan halal terpenuhi secara mutlak. Fenomena ini menegaskan bahwa dalam konteks kemandirian pangan, nilai-nilai subjektif dan religiusitas sering kali menjadi penggerak psikologis yang lebih kuat dibandingkan nasionalisme ekonomi atau kepedulian lingkungan (Nazaruddin *et al.*, 2024).

Selain model skala besar, pembahasan ini juga menyoroti gerakan "kemandirian tenang" (*quiet self-sufficiency*) melalui praktik penyediaan pangan mandiri oleh rumah tangga (*food self-provisioning*) Vávra *et al.*, (2018). Data menunjukkan bahwa tukang kebun aktif mampu memenuhi hingga 36% kebutuhan sayuran rumah tangga, yang tidak hanya memberikan kontribusi ekonomi tetapi juga meningkatkan kesejahteraan psikologis dan otonomi individu. Gerakan ini sejalan dengan konsep "oikos" atau unit rumah tangga yang mencukupi kebutuhannya sendiri sebagai bentuk perlawanan terhadap eksploitasi pasar kapitalis dan bagian dari strategi *degrowth* global.

Sebagai akumulasi dari seluruh analisis, peta jalan menuju kemandirian pangan 2026 menuntut pendekatan hibrida yang menyatukan akurasi teknologi presisi dengan intervensi psikologis yang memanusiakan petani. Kebijakan tidak boleh lagi bersifat teknosentris; penguatan kapasitas perilaku, peningkatan kesadaran ketahanan pangan, dan penghargaan terhadap narasi lokal harus menjadi inti dari setiap layanan penyuluhan pertanian. Hanya dengan menyinkronkan kecanggihan data (klaster biru) dengan penggerak perilaku manusia (klaster merah), transformasi sistem pangan yang berkelanjutan, berdaulat, dan resilien terhadap krisis iklim dapat benar-benar diwujudkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa transformasi lanskap inovasi pertanian dalam rentang waktu 2020 hingga proyeksi 2026 telah mengalami pergeseran paradigma yang fundamental, beralih dari pendekatan yang murni teknosentris menuju integrasi perilaku manusia yang lebih mendalam sebagai penentu keberhasilan kemandirian pangan. Berdasarkan analisis visual bibliometrik, struktur intelektual dalam domain ini secara konsisten terbagi menjadi tiga poros utama, yakni klaster merah yang merepresentasikan dimensi perilaku sebagai inti dari niat adopsi, klaster hijau yang berfokus pada luaran fisik produksi, serta klaster biru yang menghubungkan keduanya melalui akurasi teknologi pertanian presisi. Temuan dari berbagai studi kunci menegaskan bahwa teknologi secanggih apa pun, seperti pupuk cerdas (*smart fertilizer*) atau sistem digital berbasis AI, tidak akan memberikan kontribusi nyata terhadap kemandirian pangan nasional jika tidak diselaraskan dengan penggerak psikologis petani, terutama yang berkaitan dengan ekspektasi kinerja, kepercayaan pada pengembang teknologi, serta ketersediaan kondisi fasilitas yang memadai. Selain faktor-faktor tersebut, persepsi risiko terhadap perubahan iklim dan identitas sosio-ekologis petani terbukti menjadi variabel

kritis yang menentukan apakah suatu inovasi akan diterima secara permanen atau justru ditolak karena dianggap tidak selaras dengan narasi dan kearifan lokal mereka.

Dalam konteks spesifik Indonesia, fenomena ketidakmandirian pangan pada komoditas daging sapi menunjukkan adanya paradoks di mana urbanisasi yang pesat dan perubahan gaya hidup masyarakat kota mendorong ketergantungan pada impor, namun konsumen Muslim secara psikologis bersedia mentoleransi jarak tempuh pangan (*food miles*) yang jauh asalkan persyaratan label halal terpenuhi secara ketat. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam mencapai target kemandirian pangan 2026, nilai-nilai subjektif dan etika agama sering kali menjadi penggerak perilaku yang lebih dominan dibandingkan sekadar pertimbangan ekonomi rasional. Sebagai rekomendasi, penelitian selanjutnya perlu melakukan studi longitudinal untuk melacak keberlanjutan adopsi teknologi serta memperdalam riset mengenai konsep "Halal *Food Miles*" untuk mengeksplorasi titik temu antara kepatuhan agama dan keberlanjutan lingkungan. Secara metodologis, penggunaan model simulasi seperti *Agent-Based Modeling* (ABM) yang dikombinasikan dengan narasi kolaboratif sangat disarankan untuk memahami kompleksitas interaksi antar aktor dalam sistem pangan yang adaptif.

Bagi para pemangku kebijakan, hasil analisis ini memberikan mandat untuk mentransformasi layanan penyuluhan pertanian dari sekadar pemberi bantuan alat menjadi fasilitator pembelajaran eksperiensial yang mampu menyentuh dimensi psikologis dan bisnis petani. Kebijakan pangan nasional harus mulai bergeser dari intervensi eksogen yang bersifat "dorongan luar" menuju penguatan inovasi endogen yang berbasis komunitas dan jaringan petani lokal agar difusi teknologi dapat berjalan lebih organik dan berkelanjutan. Selain itu, otoritas halal perlu mengintegrasikan sertifikasi dengan sistem ketertelusuran yang transparan guna membangun kepercayaan konsumen terhadap produk lokal. Dukungan finansial pun harus mulai mempertimbangkan skor kredit berbasis perilaku adopsi inovasi hijau untuk memudahkan petani kecil dalam mengakses modal. Terakhir, pembangunan infrastruktur digital di pedesaan tetap menjadi prasyarat mutlak karena persepsi kemudahan penggunaan teknologi sangat bergantung pada kualitas fasilitas digital yang tersedia di lapangan. Hanya dengan menyinergikan akurasi data teknologi presisi dengan kesiapan mental manusia, transformasi menuju kemandirian pangan yang berdaulat pada tahun 2026 dapat benar-benar diwujudkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan apresiasi yang tulus kepada Institut Islam Muaro Jambi yang telah memberikan dukungan akademik serta fasilitas yang memungkinkan penelitian ini diselesaikan dengan baik. Rasa terima kasih juga ditujukan kepada para pengembang perangkat lunak *Publish or Perish* dan *VOSviewer* atas kontribusi teknologi mereka yang sangat membantu dalam proses ekstraksi data bibliometrik dan pemetaan struktur intelektual riset ini.

Penulis juga berterima kasih kepada penyedia basis data *Crossref*, *PubMed*, *Scopus*, dan *Google Scholar* yang telah menyediakan akses terhadap ribuan literatur berkualitas global sebagai landasan analisis dalam studi ini. Apresiasi khusus disampaikan kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan masukan konstruktif selama proses diskusi dan penulisan, serta kepada para peninjau anonim atas kritik membangun yang telah meningkatkan kualitas naskah ini. Terakhir, penulis menyampaikan penghormatan kepada para petani kecil dan komunitas lokal di berbagai belahan dunia yang menjadi subjek inspirasi dalam literatur ini, karena perjuangan mereka dalam beradaptasi terhadap inovasi adalah kunci nyata menuju kemandirian pangan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboagye-Darko, D., & Mkhize, P. (2025). Unearthing the determinants of digital innovation adoption in the agricultural sector: The role of food security awareness and agricultural experience. *Heliyon*, 11(1), e41695. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41695>
- Aditi, B., Suginam, & Cen, C. C. (2025). Agricultural Green Innovation and Food Security in Indonesia: Exploring Green Economy Transformation. *Research on World Agricultural Economy*, 6(4), 310–331. <https://doi.org/10.36956/rwae.v6i4.2412>
- Adnan, N., Md Nordin, S., Rahman, I., & Noor, A. (2017). Adoption of green fertilizer technology among paddy farmers: A possible solution for Malaysian food security. *Land Use Policy*, 63, 38–52. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.022>
- Adnan, N., Rehman, H. M., & Alam, M. N. (2025). Exploring agricultural innovation: an empirical investigation of factors influencing the adoption and non-adoption of smart fertilizer technology among farmers in developing countries. *Agriculture and Food Security*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-025-00529-0>
- Alaba, F. A., Jegede, A., Sani, U., & Dada, E. G. (2024). Artificial intelligence of things (AIoT) solutions for sustainable agriculture and food security. *Artificial Intelligence of Things for* https://doi.org/10.1007/978-3-031-53433-1_7
- Alhassan, A. L., Lakshman, G., & Mery, A. P. (2023). Agricultural Innovation (AI) and

- Circular Economy (CE) <https://www.researchgate.net/profile/Abdul-Latif-Alhassan-2/publication/382324900>
- Blakeney, M. (2022). Agricultural Innovation and Sustainable Development. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5), 1–6. <https://doi.org/10.3390/su14052698>
- Boniface Umoh E. (2026). Strategic Models of Technology Adoption and Performance in Public Service Organizations: A Multi-Level Analysis of Employee Behavior and Institutional Outcomes. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.6733319>
- Kendall, H. (2022). Precision agriculture technology adoption: a qualitative study of small-scale commercial “family farms” located in the North China Plain. *Precision Agriculture*, 23(1), 319–351. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09839-2>
- Marrero, A., López-Cepero, A., Borges-Méndez, R., & Mattei, J. (2022). Narrating agricultural resilience after Hurricane María: how smallholder farmers in Puerto Rico leverage self-sufficiency and collaborative agency in a climate-vulnerable food system. *Agriculture and Human Values*, 39(2), 555–571. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10267-1>
- Mutenje, M., Kankwamba, H., Mangisonib, J., & Kassie, M. (2016). Agricultural innovations and food security in Malawi: Gender dynamics, institutions and market implications. *Technological Forecasting and Social Change*, 103, 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.10.004>
- Nazaruddin, L. O., Aulia, Q., Fekete-Farkas, M., & Gyenge, B. (2024). Longer food miles of beef under self-insufficiency and halal requirements. *Agriculture and Food Security*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00510-3>
- Pakri, M. A. M., Khalid, N. A., Shah, J. A., & Shaffril, H. A. M. (2026). Factors influencing farmer’s adaptation potential towards post COVID-19 impacts: A systematic literature review. In *Journal of environmental management* (Vol. 411, p. 130134). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.130134>
- Rifka Alkhilyatul Ma’rifat, I Made Suraharta, I. I. J. (2024). *Explorations in Self-Sufficiency after Socialism* (Vol. 2).
- Ruderman, M. A., Christy, D., Berman, A., Waterman, J., & Langley, A. K. (2025). Family closeness and adoption satisfaction: A longitudinal study of families adopting from foster care. In *Translational Issues in Psychological Science* (Vol. 11, Number 4, pp. 457–466). American Psychological Association (APA). <https://doi.org/10.1037/tps0000473>
- Silveira, R. M. F., McManus, C., & Silva, I. J. O. da. (2026). Animal production under climate change: a global scientometric analysis of research structure, thematic evolution, and knowledge gaps. In *Tropical animal health and production* (Vol. 58, Number 5). <https://doi.org/10.1007/s11250-026-05071-0>
- Skrzypczy, R. (2023). *Self-sufficiency in basic resources as a strategy for resource management in settlements? A critical discussion and conceptual model to guide degrowth-oriented pursuits of self- sufficiency*.
- Taljaard, H., & Sonnenberg, N. (2019). Basic psychological needs and self-determined motivation as drivers of voluntary simplistic clothing consumption practices in

South Africa. *Sustainability* (Switzerland), 11(13).
<https://doi.org/10.3390/su11133742>

Vávra, J., Daněk, P., & Jehlička, P. (2018). What is the contribution of food self-provisioning towards environmental sustainability? A case study of active gardeners. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.261>