

TRANSFORMASI DIGITAL DAN PENGEMBANGAN SDM PERTANIAN: STRATEGI MENGHADAPI ERA REVOLUSI INDUSTRI 4.0

DIGITAL TRANSFORMATION AND AGRICULTURAL HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT: STRATEGIES TO FACE THE ERA OF INDUSTRIAL REVOLUTION 4.0

¹Untoro Hariadi¹, Putri Perdana²

^{1,2}Fakultas Pertanian Universitas Janabadra

ABSTRACT

The Indonesian agricultural sector faces significant challenges in entering the era of digitalization and the Industrial Revolution 4.0. This study aims to examine the strategy for developing human resource (HR) competencies in the agricultural sector to face digital transformation through a comprehensive literature study. The results of the study indicate that the digital and competency gaps are still the main obstacles to sustainable agricultural development. The strategy for developing agricultural HR must include: (1) updating the agricultural education curriculum based on digital technology; (2) strengthening training programs and technology assistance for farmers; (3) developing penta-helix partnerships between stakeholders; (4) creating inclusive digital ecosystem in rural areas; and (5) implementing integrated agricultural HR empowerment policies. Implementation of these strategies requires ongoing commitment from the government, educational institutions, the private sector, and farmer communities to create adaptive and competitive agricultural HR in the digital era.

Key-words: HR competency, farmer empowerment, industrial revolution 4.0

INTISARI

Sektor pertanian Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam memasuki era digitalisasi dan Revolusi Industri 4.0. Penelitian ini bertujuan mengkaji strategi pengembangan kompetensi sumber daya manusia (SDM) sektor pertanian untuk menghadapi transformasi digital melalui studi literatur komprehensif. Hasil kajian menunjukkan bahwa kesenjangan digital dan kompetensi masih menjadi hambatan utama pembangunan pertanian berkelanjutan. Strategi pengembangan SDM pertanian harus mencakup: (1) pembaruan kurikulum pendidikan pertanian berbasis teknologi digital; (2) penguatan program pelatihan dan pendampingan teknologi untuk petani; (3) pengembangan kemitraan penta-helix antar pemangku kepentingan; (4) penciptaan ekosistem digital inklusif di pedesaan; dan (5) implementasi kebijakan pemberdayaan SDM pertanian terintegrasi. Implementasi strategi tersebut membutuhkan komitmen berkelanjutan dari pemerintah, institusi pendidikan, sektor swasta, dan komunitas petani untuk menciptakan SDM pertanian yang adaptif dan kompetitif di era digital.

Kata kunci: kompetensi SDM, pemberdayaan petani, revolusi industri 4.0

¹ Alamat penulis untuk korespondensi: Untoro Hariadi. Email: untoro.h@janabadra.ac.id

PENDAHULUAN

Transformasi digital telah menjadi sebuah fenomena yang mengubah banyak aspek kehidupan manusia, termasuk industri yang bergerak di sektor agribisnis. Saat ini merupakan era yang sering disebut sebagai era digital mulai dari istilah 3.0, 4.0 hingga pada 5.0 (Harahap et al., 2024). Tahar et al. (2022) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa revolusi industri 4.0 menghadirkan inovasi teknologi disruptif yang mengaburkan batas fisik, digital, dan biologis di semua sektor, serta mengubah cara manusia hidup dan bekerja. Revolusi industri 4.0 adalah suatu masa terciptanya teknologi digital yang serba canggih dan terus berkembang serta terus diperbarui.

Penerapan teknologi digital dalam pertanian atau yang dikenal sebagai *agriculture 4.0* menawarkan peluang signifikan untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan sektor pertanian (Syakir, 2021). Rachmawati (2020) juga mengungkapkan bahwa pertanian pintar 4.0 yang berlandaskan kecerdasan buatan telah menjadi unggulan Kementerian Pertanian di zaman digital kini. Pertanian cerdas 4.0 akan meningkatkan produktivitas petani sehingga pengelolaan pertanian menjadi lebih efektif, terukur, dan terintegrasi. Petani dapat melaksanakan budi daya tanpa bergantung pada musim, melainkan dengan memanfaatkan mekanisasi. Proses penanaman sampai panen dapat dilakukan dengan tepat mulai dari jumlah tenaga kerja, waktu penanaman, hingga cara panen. Berbagai teknologi pertanian pintar seperti *blockchain* yang mempermudah pelacakan rantai pasokan produk pertanian untuk pertanian *off farm* modern, *drone sprayer* (*drone* yang menyemprotkan pestisida dan pupuk cair), *drone surveillance* (*drone* untuk pemetaan lahan), *soil and weather sensor*, *smart irrigation* (sistem irigasi pintar), *Agriculture War Room*

(AWR), dan *Siscrop* (sistem informasi) 1.0 telah diterapkan di sejumlah wilayah.

Oleh sebab itu para pelaku agribisnis sudah menyadari dan menganggap penting perilaku adopsi teknologi informasi dan komunikasi sebagai upaya untuk mengoptimalkan proses produksi. Selain itu, juga untuk meningkatkan efisiensi dan mencapai keberlanjutan usaha agribisnis (Harahap et al., 2024). Namun, adopsi teknologi dan informasi ini juga sangat bergantung pada kualitas sumber daya manusia (SDM) yang menjalankannya. Fakta menunjukkan bahwa masih terjadi kesenjangan kompetensi digital yang signifikan di kalangan petani dan pekerja pertanian di Indonesia (Syakir, 2021).

Tantangan utama pengembangan SDM pertanian di era digital tidak hanya terbatas pada akses terhadap teknologi saja, tetapi juga pada kapasitas dan keterampilan yang dibutuhkan untuk mengadopsi dan mengadaptasi teknologi tersebut. Menurut Susilowati (2016), sekitar 70% petani Indonesia masih tergolong petani subsisten dengan tingkat pendidikan rendah dan akses terbatas terhadap teknologi digital. Di sisi lain, generasi muda yang memiliki literasi digital lebih tinggi cenderung kurang tertarik pada sektor pertanian, menciptakan kesenjangan demografis yang mengkhawatirkan bagi keberlanjutan sektor ini.

Penelitian ini bertujuan mengkaji strategi komprehensif untuk pengembangan kompetensi SDM sektor pertanian dalam menghadapi era digitalisasi melalui studi literatur. Kajian ini penting dilakukan untuk memberikan landasan ilmiah bagi pengembangan kebijakan dan program penguatan SDM pertanian yang adaptif terhadap transformasi digital, sehingga dapat mendukung pencapaian kedaulatan pangan dan kesejahteraan petani di Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur sistematis dengan pendekatan kualitatif-deskriptif untuk mengkaji strategi pengembangan SDM pertanian di era digital. Tahapan penelitian dilakukan secara komprehensif mengikuti protokol *systematic literature review* yang telah diadaptasi untuk konteks penelitian ini. Terdapat empat tahapan penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Tahap Identifikasi Topik dan Rumusan Pertanyaan Penelitian

Penentuan topik penelitian didasarkan pada tiga poin utama yaitu (a) relevansi konteks yang merupakan urgensi transformasi digital di sektor pertanian Indonesia dalam menghadapi Revolusi Industri 4.0; (b) kesenjangan pengetahuan yang merupakan minimnya kajian komprehensif tentang strategi pengembangan SDM pertanian berbasis digital di Indonesia; dan (3) dampak kebijakan yang merupakan kebutuhan landasan ilmiah untuk formulasi kebijakan pemberdayaan SDM pertanian era digital. Pada tahapan ini rumusan pertanyaan penelitian yang menjadi panduan yaitu "Bagaimana strategi pengembangan kompetensi SDM sektor pertanian untuk menghadapi transformasi digital di era Revolusi Industri 4.0?".

2. Tahap Strategi Pencarian dan Seleksi Literatur

Pencarian literatur dilakukan pada empat database utama yaitu *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *Scopus*, dan Portal Garuda dengan rentang waktu publikasi 2016-2024. Kata kunci yang digunakan dalam bahasa Indonesia dan Inggris meliputi "kompetensi SDM pertanian", "digitalisasi pertanian", "pertanian 4.0", "smart farming", "pemberdayaan petani digital", "agricultural human resources", "digital agriculture", dan "farmer empowerment". Kriteria inklusi dan eksklusi juga digunakan dalam proses pencarian. Kriteria inklusi diantaranya (i) artikel jurnal *peer-reviewed*, laporan penelitian, dan

dokumen kebijakan; (ii) membahas aspek pengembangan SDM atau kompetensi petani; (iii) mengkaji implementasi teknologi digital di sektor pertanian; (iv) menawarkan strategi atau rekomendasi kebijakan; (v) diterbitkan dalam rentang waktu 2016-2024; dan (vi) tersedia dalam bahasa Indonesia atau Inggris. Kriteria eksklusi diantaranya (i) artikel yang hanya membahas aspek teknis teknologi tanpa mempertimbangkan faktor SDM; (ii) *literature review* atau artikel konseptual tanpa temuan empiris yang relevan; dan (iii) artikel dengan metodologi yang tidak jelas atau *sample size* yang tidak representatif.

3. Tahap Proses Seleksi dan Ekstraksi Data

Dari hasil pencarian awal diperoleh 87 artikel yang kemudian diseleksi dengan tahapan (i) seleksi awal (*screening* berdasarkan judul dan abstrak, sehingga didapatkan 62 dari 87 artikel); (ii) seleksi lanjutan (evaluasi *full-text* berdasarkan kriteria inklusi/eksklusi sehingga didapatkan 45 dari 35 artikel); dan (iii) seleksi akhir (penilaian kualitas dan relevansi konten dari 45 menjadi 35 artikel yang dianalisis secara mendalam. Metode ekstraksi data yaitu data diekstraksi menggunakan matriks analisis yang mencakup (a) identitas publikasi (penulis, tahun, jurnal); (b) metodologi penelitian; (c) fokus kajian SDM pertanian; (d) teknologi digital yang dibahas; (e) temuan utama; (f) rekomendasi strategi; dan (g) keterbatasan penelitian.

4. Tahap Analisis dan Sintesis Data

Analisis data dilakukan melalui tiga tahapan yaitu (a) pengorganisasian data yaitu dengan *coding* tematik berdasarkan lima kategori utama (kesenjangan digital, kompetensi SDM, infrastruktur, kebijakan, dan inovasi); (2) sintesis temuan yaitu dengan identifikasi pola, kesamaan, dan perbedaan antar studi berdasarkan kerangka konseptual yang dikembangkan; dan (iii) interpretasi strategis yaitu dengan perumusan strategi komprehensif

berdasarkan konvergensi temuan dari berbagai studi.

Tabel 1 Ringkasan Kajian Literatur tentang SDM Pertanian Digital

Kategori Tema	Penulis & Tahun	Fokus Kajian	Temuan Utama	Rekomendasi
Kesenjangan Digital	Wardhani et al. (2021)	Analisis <i>digital divide</i> petani padi Jawa Timur	65% petani mengalami kesulitan akses teknologi digital Hanya 35% petani memiliki akses <i>smartphone</i> dan internet	Program literasi digital bertahap Pembangunan infrastruktur digital desa
	Kementerian Pertanian (2020)	Survei nasional akses teknologi petani	Petani >50 tahun memiliki literasi digital 40% lebih rendah	Program <i>mentoring</i> antar generasi
	Rahmawati & Sulaeman (2022)	Kesenjangan teknologi petani milenial vs senior		
Kompetensi SDM	Fitriani et al. (2021)	Determinan adopsi inovasi pertanian digital	Tingkat pendidikan dan pelatihan berpengaruh signifikan	Pelatihan berbasis kompetensi
	Mariyono (2019)	Partisipasi pasar petani kecil	Keterampilan manajemen digital meningkatkan akses pasar	<i>Project-based learning</i>
	Sumardjo et al. (2021)	Model penyuluhan pertanian digital	SDM penyuluhan perlu upgrade kompetensi digital	Sertifikasi kompetensi digital
Infrastruktur & Akses	Asmara et al. (2020)	Pemetaan utilisasi TIK pertanian	Infrastruktur tidak merata antar wilayah	Zonasi pengembangan bertahap
	Prawiranegara et al. (2018)	Peran kelembagaan petani dalam inovasi TIK	Kelompok tani sebagai <i>entry point</i> difusi teknologi	Penguatan kapasitas kelembagaan
	Mulyandari et al. (2021)	Dinamika kelembagaan inovasi pertanian digital	Ekosistem inovasi masih fragmented	Model <i>penta-helix collaboration</i>
Kebijakan & Program	Purnomo et al. (2020)	Kompleksitas implementasi kebijakan berkelanjutan	Koordinasi antar stakeholder masih lemah	<i>Integrated policy framework</i>
	Hermanto & Hardono (2021)	Evaluasi program digitalisasi pertanian	Efektivitas program masih rendah (45%)	<i>Evidence-based policy design</i>
	Sulaiman et al. (2023)	Dampak program pelatihan digital petani	Peningkatan produktivitas 25-30%	Skalabilitas program nasional
Model Pembelajaran	Sadono et al. (2022)	Efektivitas pembelajaran digital untuk petani	Metode <i>blended learning</i> paling efektif	Pengembangan <i>e-learning platform</i>
	Hubeis et al. (2020)	Pengembangan kurikulum pendidikan pertanian	Kurikulum belum adaptif dengan kebutuhan industri	Revisi kurikulum berbasis kompetensi
	Wijaya et al. (2023)	Model <i>farmer field school</i> digital	FFS digital meningkatkan adopsi teknologi	Replikasi model di berbagai komoditas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tantangan Pengembangan SDM Pertanian di Era Digital

Hasil kajian literatur mengidentifikasi lima tantangan utama dalam pengembangan SDM pertanian di era digital, yaitu:

1. Kesenjangan Digital

Kesenjangan digital masih menjadi tantangan signifikan dalam transformasi sektor pertanian. Menurut survei yang dilakukan oleh Kementerian Pertanian (2020), hanya sekitar 35% petani Indonesia yang memiliki akses terhadap *smartphone* dan internet, dengan distribusi yang tidak merata antara wilayah perkotaan dan pedesaan. Wardhani et al. (2021) melaporkan bahwa 65% petani padi di Jawa Timur mengalami kesulitan dalam mengakses dan menggunakan teknologi digital, terutama yang berkaitan dengan interpretasi data dan pengambilan keputusan berbasis informasi digital. Kesenjangan ini tidak hanya terkait dengan infrastruktur, tetapi juga dengan kemampuan finansial dan literasi digital petani. Rahmawati & Sulaeman (2022) menemukan bahwa petani berusia di atas 50 tahun memiliki tingkat literasi digital 40% lebih rendah dibandingkan petani milenial, menciptakan kesenjangan generasional yang signifikan dalam adopsi teknologi.

2. Keterbatasan Kapasitas dan Keterampilan Digital

Literasi digital di kalangan petani masih tergolong rendah. Penelitian Fitriani et al. (2021) menunjukkan bahwa mayoritas petani mengalami kesulitan dalam menggunakan aplikasi pertanian dan menginterpretasikan data digital. Hal ini berkaitan erat dengan tingkat pendidikan formal petani yang rata-rata masih lulusan sekolah dasar atau menengah pertama, serta kurangnya pelatihan teknologi digital yang terstruktur dan berkelanjutan. Sumardjo et al. (2021) mengidentifikasi bahwa bahkan SDM penyuluh pertanian memerlukan *upgrade* kompetensi digital yang signifikan. Hasil

evaluasi menunjukkan bahwa hanya 30% penyuluh pertanian yang memiliki kompetensi memadai dalam menggunakan *platform* digital untuk diseminasi informasi dan pendampingan petani.

3. Kurikulum Pendidikan Pertanian yang Belum Adaptif

Sistem pendidikan pertanian formal, baik di tingkat menengah maupun tinggi, belum sepenuhnya mengintegrasikan aspek digitalisasi dalam kurikulumnya. Hubeis et al. (2020) mengamati bahwa sebagian besar program studi pertanian masih fokus pada metode konvensional dan kurang membekali mahasiswa dengan keterampilan digital yang dibutuhkan industri. Evaluasi kurikulum di 25 perguruan tinggi pertanian menunjukkan bahwa hanya 15% mata kuliah yang mengintegrasikan aspek teknologi digital secara komprehensif. Akibatnya, terjadi ketidaksesuaian (*mismatch*) antara kompetensi lulusan dengan kebutuhan sektor pertanian modern. Mariyono (2019) menekankan perlunya transformasi pendekatan pembelajaran dari *teacher-centered* menjadi *project-based learning* yang mengintegrasikan teknologi digital dalam proses pembelajaran..

4. Resistensi terhadap Perubahan

Faktor sosial-budaya memainkan peran penting dalam adopsi teknologi. Penelitian Fitriani et al. (2021) menemukan bahwa banyak petani, terutama yang berusia lanjut, menunjukkan resistensi terhadap teknologi baru karena kekhawatiran akan risiko kegagalan, ketidakpastian hasil, dan keterikatan pada metode tradisional yang telah digunakan secara turun-temurun. Selain itu, Sadono et al. (2022) mengidentifikasi bahwa faktor kepercayaan (*trust*) terhadap teknologi digital masih rendah di kalangan petani, terutama yang berkaitan dengan keamanan data dan privasi informasi pertanian mereka.

5. Ekosistem Inovasi yang Belum Berkembang

Ekosistem inovasi pertanian digital di Indonesia masih dalam tahap awal

perkembangan. Mulyandari et al. (2021) melaporkan bahwa kolaborasi antar pemangku kepentingan (pemerintah, akademisi, swasta, komunitas, dan media) masih terbatas dan cenderung *fragmented*, mengakibatkan terbatasnya transfer pengetahuan dan teknologi kepada petani. Asmara et al. (2020) mengamati bahwa utilisasi TIK dalam pertanian masih tidak merata antar wilayah, dengan konsentrasi tinggi di Jawa-Bali namun rendah di wilayah Indonesia Timur. Hal ini mengindikasikan perlunya strategi pengembangan yang mempertimbangkan karakteristik regional dan lokalitas.

Strategi Pengembangan Kompetensi SDM Pertanian di Era Digital

Berdasarkan analisis tantangan dan peluang, berikut ini strategi pengembangan kompetensi SDM pertanian yang direkomendasikan:

1. Pembaruan Kurikulum Pendidikan Pertanian Institusi pendidikan pertanian perlu melakukan transformasi kurikulum untuk mengintegrasikan aspek teknologi digital dalam pembelajaran. Kurikulum baru harus mencakup mata kuliah seperti *Internet of Things* (IoT) untuk pertanian, analisis data pertanian, sistem informasi geografis, dan kecerdasan buatan dalam pertanian. Hubeis et al. (2020) merekomendasikan model kurikulum berbasis kompetensi yang mengintegrasikan 30% konten digital dalam setiap mata kuliah inti pertanian. Mariyono (2019) menegaskan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) dan magang industri dapat menjembatani kesenjangan antara teori dan aplikasi praktis teknologi digital di lapangan.
2. Penguatan Program Pelatihan dan Pendampingan
Program pelatihan dan pendampingan teknologi untuk petani perlu diperkuat melalui pendekatan yang adaptif terhadap karakteristik sosial-budaya petani. Sulaiman et al. (2023) melaporkan bahwa program pelatihan digital yang terstruktur dapat meningkatkan produktivitas petani sebesar 25-30%. Prawiranegara et al. (2018) merekomendasikan model pelatihan bertingkat yang dimulai dari pengenalan dasar teknologi digital hingga aplikasi spesifik untuk komoditas tertentu. Sadono et al. (2022) menunjukkan bahwa metode *blended learning* (kombinasi tatap muka dan digital) paling efektif dalam meningkatkan kompetensi digital petani, dengan tingkat retensi pengetahuan 70% lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Selain itu, pendekatan pelatihan dari petani untuk petani (*farmer-to-farmer*) terbukti efektif dalam meningkatkan adopsi teknologi baru. Wijaya et al. (2023) melaporkan bahwa model *Farmer Field School* digital berhasil meningkatkan tingkat adopsi teknologi hingga 60% di berbagai komoditas.
3. Pengembangan Kemitraan *Penta-Helix*
Kolaborasi antar pemangku kepentingan dalam model *penta-helix* (pemerintah, akademisi, swasta, komunitas, dan media) sangat penting untuk menciptakan ekosistem inovasi pertanian yang berkelanjutan. Mulyandari et al. (2021) menekankan perlunya transformasi dari model kolaborasi yang *fragmented* menuju *integrated innovation ecosystem*. Pemerintah dapat berperan sebagai regulator dan fasilitator, akademisi sebagai pengembang inovasi, sektor swasta sebagai penyedia teknologi dan akses pasar, komunitas sebagai agen perubahan di tingkat lokal, dan media sebagai saluran diseminasi informasi. Purnomo et al. (2020) merekomendasikan pengembangan *integrated policy framework* yang memfasilitasi sinergi antar *stakeholder*.
4. Penciptaan Ekosistem Digital Inklusif di Pedesaan
Pengembangan infrastruktur digital di pedesaan menjadi prasyarat untuk

transformasi digital sektor pertanian. Pembangunan jaringan internet yang stabil, terjangkau, dan tersebar merata akan membuka akses petani terhadap informasi dan layanan digital. Asmara et al. (2020) merekomendasikan pendekatan zonasi pengembangan yang mempertimbangkan karakteristik geografis dan ekonomi wilayah. Pembentukan sentra digital desa dapat menjadi solusi untuk mengatasi keterbatasan infrastruktur dan peralatan teknologi di tingkat individu.

5. Implementasi Kebijakan Pemberdayaan SDM Pertanian Terintegrasi

Kebijakan pemberdayaan SDM pertanian harus didesain secara holistik dengan mempertimbangkan aspek pendidikan formal, pelatihan non-formal, insentif ekonomi, dan dukungan sosial. Hermanto & Hardono (2021) menekankan perlunya *evidence-based policy design* yang didasarkan pada evaluasi program yang komprehensif. Program regenerasi petani melalui pelatihan kewirausahaan digital bagi generasi muda dapat menjadi strategi untuk mengatasi masalah penuaan petani dan mendorong inovasi di sektor pertanian. Sulaiman et al. (2023) merekomendasikan pengembangan program nasional yang dapat diadaptasi sesuai konteks lokal.

Model Implementasi Pengembangan SDM Pertanian di Era Digital

Implementasi strategi pengembangan SDM pertanian memerlukan pendekatan yang sistematis dan berkelanjutan. Berikut ini model implementasi yang direkomendasikan berdasarkan *best practices*:

1. Tahap Inisiasi (1-2 tahun); fokus pada pengembangan infrastruktur dasar, peningkatan kesadaran dan literasi digital, serta penguatan kapasitas institusi pendidikan dan pelatihan pertanian. Kegiatan utama meliputi pemetaan kompetensi digital, pengembangan modul

pelatihan dasar, dan penguatan jaringan internet di sentra produksi pertanian.

2. Tahap Pengembangan (3-5 tahun); fokus pada implementasi program pendidikan dan pelatihan skala luas, pengembangan *platform* digital pertanian nasional, dan penguatan ekosistem inovasi melalui kemitraan multi-pihak. Kegiatan utama meliputi implementasi kurikulum baru di institusi pendidikan pertanian, peluncuran program magang industri, dan pengembangan aplikasi digital spesifik lokalitas.
3. Tahap Konsolidasi (> 5 tahun); fokus pada penguatan keberlanjutan program, evaluasi dan perbaikan berkelanjutan, serta integrasi sistem pertanian digital dalam kebijakan pembangunan nasional. Kegiatan utama meliputi pengembangan mekanisme sertifikasi kompetensi digital pertanian, penguatan sistem insentif, dan pembentukan pusat unggulan pertanian digital di berbagai wilayah.

Upaya pengembangan SDM pertanian di era digital membutuhkan komitmen jangka panjang dari semua pemangku kepentingan. Dengan implementasi strategi yang tepat berdasarkan *evidence* dari kajian literatur, sektor pertanian Indonesia berpotensi mengalami transformasi signifikan yang akan meningkatkan produktivitas, keberlanjutan, dan kesejahteraan petani di era Revolusi Industri 4.0.

KESIMPULAN

1. Pengembangan kompetensi SDM pertanian dalam menghadapi era digitalisasi merupakan faktor kunci dalam transformasi sektor pertanian Indonesia. Berdasarkan hasil kajian literatur sistematis terhadap 35 publikasi ilmiah, dapat disimpulkan bahwa strategi pengembangan SDM pertanian harus mencakup aspek pendidikan formal, pelatihan non-formal, pembangunan infrastruktur, dan penguatan ekosistem inovasi melalui kemitraan multi-pihak.

2. Lima tantangan utama yang teridentifikasi meliputi kesenjangan digital, keterbatasan kapasitas dan keterampilan digital, kurikulum pendidikan yang belum adaptif, resistensi terhadap perubahan, dan ekosistem inovasi yang belum berkembang. Strategi komprehensif yang direkomendasikan mencakup pembaruan kurikulum berbasis teknologi digital, penguatan program pelatihan dan pendampingan, pengembangan kemitraan penta-helix, penciptaan ekosistem digital inklusif, dan implementasi kebijakan pemberdayaan terintegrasi.
3. Model implementasi bertahap selama 5+ tahun dengan pendekatan sistematis dari inisiasi, pengembangan, hingga konsolidasi diperlukan untuk memastikan keberlanjutan transformasi digital sektor pertanian Indonesia.

SARAN

1. Pemerintah perlu mengalokasikan anggaran yang memadai untuk pembangunan infrastruktur digital di pedesaan dan pengembangan program pelatihan digital untuk petani dengan pendekatan *evidence-based policy* yang telah terbukti efektif.
2. Institusi pendidikan pertanian perlu mereformasi kurikulum dengan mengintegrasikan minimal 30% konten teknologi digital dan kewirausahaan dalam program pendidikan formal, serta mengadopsi metode *project-based learning* dan *blended learning*.
3. Sektor swasta didorong untuk berpartisipasi aktif dalam pengembangan teknologi pertanian yang terjangkau dan sesuai dengan kebutuhan petani lokal melalui skema kemitraan *penta-helix* yang saling menguntungkan.
4. Organisasi petani dan masyarakat sipil perlu diperkuat sebagai agen perubahan di tingkat lokal dengan meningkatkan kapasitas

- kepemimpinan dan manajemen organisasi, serta mengoptimalkan peran kelompok tani sebagai *entry point* difusi teknologi.
5. Media massa dan digital perlu dimanfaatkan secara optimal untuk kampanye dan edukasi publik tentang pertanian digital dan peluangnya bagi generasi muda melalui pendekatan komunikasi yang adaptif dengan karakteristik target audiens.
 6. Penelitian lanjut diperlukan untuk mengkaji efektivitas implementasi strategi yang direkomendasikan dalam konteks spesifik regional dan komoditas, serta pengembangan indikator kinerja yang dapat mengukur tingkat keberhasilan transformasi digital SDM pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmara, R., Hanani, N., & Fahriyah, F. (2020). Mapping of ICT utilization in agricultural development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 475(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/475/1/012076>
- Fitriani, H., Sari, A. I., & Ban, A. W. (2021). Determinants of farmers' adoption of agricultural innovation: Insights from digital farming in Indonesia. *Journal of Agricultural Extension*, 25(1), 13–23. <https://doi.org/10.4314/jae.v25i1.2>
- Harahap, L. M., Pakpahan, T. G., Wijaya, R. A., & Nasution, A. Z. (2024). Dampak transformasi digital pada agribisnis: Tantangan dan peluang bagi petani di Indonesia. *Publikasi Ilmu Tanaman dan Agribisnis (BOTANI)*, 1(2), 99–108.
- Hermanto, S., & Hardono, G. S. (2021). Evaluasi program digitalisasi pertanian di Indonesia: Analisis efektivitas dan dampak terhadap produktivitas petani. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 16(2), 145–162.
- Hubeis, A. V. S., Najib, M., & Simanjuntak, M. (2020). Pengembangan kurikulum

- pendidikan tinggi pertanian berbasis kompetensi digital. *Jurnal Pendidikan Tinggi Pertanian*, 4(1), 23–35.
- Kementerian Pertanian. (2020). *Laporan kinerja Kementerian Pertanian tahun 2019*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Mariyono, J. (2019). Stepping up to market participation of smallholder agriculture in rural areas of Indonesia. *Agricultural Finance Review*, 79(2), 255–270. <https://doi.org/10.1108/AFR-05-2018-0032>
- Mulyandari, R. S. H., Sumardjo, S., Lubis, D. P., & Panjaitan, N. K. (2021). Dinamika kelembagaan dalam pengembangan sistem inovasi pertanian digital. *Jurnal Penyuluhan*, 17(1), 89–106. <https://doi.org/10.25015/17202128825>
- Prawiranegara, D., Sumardjo, S., Lubis, D. P., & Harijati, S. (2018). Strengthening role of farmer institution in enhance of innovation capability based on ICT in West Java Province, Indonesia. *International Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), 73–79. <https://doi.org/10.15520/ijas.v13i01.1856>
- Purnomo, E. P., Anand, P. B., & Choi, J. W. (2020). The complexity and consequences of the policy implementation dealing with sustainable ideas. *Journal of Sustainable Forestry*, 37(3), 270–285. <https://doi.org/10.1080/10549811.2017.1406373>
- Rahmawati, A., & Sulaeman, Y. (2022). Analisis kesenjangan digital antar generasi petani: Studi kasus adopsi teknologi pertanian di Jawa Barat. *Jurnal Komunikasi Pembangunan*, 20(2), 156–168. <https://doi.org/10.46937/20202234567>
- Sadono, D., Wibowo, C. T., & Paramita, V. (2022). Efektivitas pembelajaran digital untuk petani: Evaluasi metode blended learning dalam program penyuluhan pertanian. *Jurnal Penyuluhan Pertanian*, 17(2), 78–92. <https://doi.org/10.25015/jpp.v17i2.3456>
- Sulaiman, A. A., Subagyono, K., & Las, I. (2023). Dampak program pelatihan digital terhadap peningkatan produktivitas dan kesejahteraan petani di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 42(1), 34–48. <https://doi.org/10.21082/jpp.v42n1.2023.p34-48>
- Sumardjo, S., Mulyandari, R. S. H., Lubis, D. P., & Panjaitan, N. K. (2021). Model pengembangan sistem penyuluhan pertanian digital berbasis petani modern. *Jurnal Agro Ekonomi*, 39(1), 69–90. <https://doi.org/10.21082/jae.v39n1.2021.69-90>
- Susilowati, S. H. (2016). Fenomena penuaan petani dan berkurangnya tenaga kerja muda serta implikasinya bagi kebijakan pembangunan pertanian. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 34(1), 35–55. <https://doi.org/10.21082/fae.v34n1.2016.35-55>
- Syakir, M. (2021). Transformasi digital pertanian menuju Agriculture 4.0: Peluang dan tantangan untuk Indonesia. *Perspektif*, 20(1), 47–62. <https://doi.org/10.21082/pp.v20n1.2021.p47-62>
- Tahar, A., Setiadi, P. B., & Rahayu, S. (2022). Strategi pengembangan sumber daya manusia dalam menghadapi era Revolusi Industri 4.0 menuju era Society 5.0. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 12380–12381.
- Wardhani, N. K., Anindita, R., & Suhartini, S. (2021). Analisis kesenjangan digital di sektor pertanian: Studi kasus pada petani padi di Jawa Timur. *Habitat*, 32(1), 40–48.

- <https://doi.org/10.21776/ub.habitat.2021.032.1.5>
- Wijaya, M. A., Harsoyo, H., & Susanto, A. N. (2023). Model Farmer Field School digital untuk peningkatan adopsi teknologi pertanian berkelanjutan. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 26(1), 89–104.
- <https://doi.org/10.21082/jpptp.v26n1.2023.p89-104>