



**PROSIDING SEMINAR NASIONAL
POLITEKNIK PEMBANGUNAN PERTANIAN BOGOR**

Homepage: <https://jurnal.polbangtan-bogor.ac.id/index.php/jpp>

Kompetensi Digital Penyuluh dan Revitalisasi Fungsi Pembelajaran BPP sebagai Penggerak Penerapan Teknologi Pertanian Modern

Reni Purpasari¹, Ghani Hariz Zakiyyan¹, Tri Wahyu Cahyono¹, Edi Puspito², Ranny Mutiara Chaidirsyah³

Politeknik Pembangunan Pertanian Bogor, Program Studi Agribisnis Hortikultura, Kota Bogor, Provinsi Jawa Barat, Indonesia, 16119

²Pusat Penyuluh Pertanian, BPPSDMP, Kementerian Pertanian, Jakarta, Indonesia, 12550

³Rural Advisory Services for Southeast Asia (RASSEA) Dramaga, Bogor, Indonesia, 16680

*Email correspondence: renipurpasari44@gmail.com

Informasi Artikel

Diterima 12 February 2013
Direvisi 29 August 2013
Disetujui terbit 22 October 2013
Diterbitkan online xxx

Keywords

Agricultural Extension, BPP, Digital Competence, Mentoring, Modern Technology, Robust HC3 Regression.

Kata Kunci

BPP, Kompetensi Digital, Pendampingan, Regresi Robust HC3, Penyuluhan Pertanian, Teknologi Modern.

ABSTRACT

Digital transformation is a strategic agenda in modern agricultural development in Indonesia. This study aims to analyze the influence of the Agricultural Extension Center (BPP) function as a data and information hub, the BPP function as a planning and learning center, extension agents' digital competence, and their participation in farmer mentoring on the adoption of modern agricultural technology. A quantitative approach with an explanatory survey design was applied. Data collection was conducted through a hybrid mechanism using structured questionnaires via virtual snowball sampling targeting agricultural extension agents across Indonesia. Following the data cleaning process, a final valid sample of 1,171 respondents was established. Data were analyzed using multiple linear regression with the Robust Standard Error HC3 approach in R software to correct for heteroskedasticity. The results demonstrated that the BPP function as a planning and learning center, extension agents' digital competence, and mentoring participation had positive and significant effects on the adoption of modern agricultural technology. These findings confirm a paradigmatic shift in agricultural extension within the digital era, moving from a top-down, one-way information transfer model toward participatory learning facilitation and digital capacity empowerment (The New Extensionist). Policy implications emphasize the urgency of reorienting BPP functions into digital learning incubators and accelerating structured digital upskilling programs for agricultural extension agents.

ABSTRAK

Transformasi digital merupakan agenda strategis dalam pembangunan pertanian modern di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fungsi Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) sebagai pusat data dan informasi, fungsi BPP sebagai pusat perencanaan dan pembelajaran, kompetensi digital penyuluh, serta partisipasi penyuluh dalam pendampingan petani terhadap penerapan teknologi pertanian

eksplanatif diterapkan dalam penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan secara hibrida menggunakan kuesioner terstruktur melalui metode *virtual snowball sampling* terhadap penyuluh pertanian di Indonesia. Setelah melalui proses pembersihan data, diperoleh sampel final sebanyak 1.171 responden yang valid. Data dianalisis menggunakan regresi linear berganda dengan pendekatan *Robust Standard Error HC3* di lingkungan software R guna mengoreksi gejala heteroskedastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungsi BPP sebagai pusat perencanaan dan pembelajaran, kompetensi digital penyuluh, serta partisipasi pendampingan berpengaruh positif dan signifikan terhadap penerapan teknologi pertanian modern. Sebaliknya, fungsi BPP sebagai pusat data dan informasi tidak berpengaruh signifikan dalam model parsial. Kompetensi digital penyuluh ditemukan sebagai determinan yang paling dominan dalam mendorong adopsi teknologi modern. Hasil ini mengonfirmasi terjadinya pergeseran paradigma penyuluhan di era digital, dari model transfer informasi satu arah (*top-down*) menuju fasilitasi pembelajaran partisipatif dan pemberdayaan kapasitas digital (*The New Extensionist*). Implikasi kebijakan menekankan pentingnya reorientasi fungsi BPP menjadi inkubator pembelajaran digital serta

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital dalam sektor pertanian telah menjadi agenda strategis yang mendominasi wacana pembangunan modern di tingkat global. Pemanfaatan teknologi digital, seperti sensor cerdas, Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), aplikasi berbasis mobile, dan sistem informasi pertanian, berkembang pesat untuk meningkatkan efisiensi produksi, ketepatan pengambilan keputusan, serta keberlanjutan usaha tani. Perkembangan ini mendorong lahirnya konsep pertanian digital yang menempatkan data, teknologi, dan inovasi sebagai faktor utama dalam memperkuat daya saing sektor agraria. Namun demikian, digitalisasi pertanian tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi semata, melainkan juga pada kapasitas aktor-aktor pertanian dalam mengasimilasi informasi dan inovasi tersebut secara efektif, sehingga transformasi digital dapat benar-benar memberikan dampak nyata bagi peningkatan produktivitas dan kesejahteraan petani (Sugihono et al., 2024).

Lebih lanjut, transformasi digital mencakup integrasi teknologi canggih seperti IoT, sensor, aplikasi mobile, serta kecerdasan buatan dalam praktik pertanian yang mendukung penerapan pertanian presisi dan manajemen sumber daya secara efisien serta berkelanjutan. Penerapan teknologi ini membuka peluang besar bagi peningkatan kualitas produksi sekaligus mitigasi risiko lingkungan. Namun, kesiapan petani untuk mengadopsi teknologi digital sangat dipengaruhi oleh faktor internal, seperti kebiasaan, keterampilan, dan inovativitas pribadi, serta faktor eksternal berupa dukungan kebijakan, infrastruktur, dan ekosistem kelembagaan yang kondusif. Dengan demikian, keberhasilan digitalisasi pertanian ditentukan oleh sinergi antara inovasi teknologi dan kesiapan sosial-ekonomi petani dalam menghadapi dinamika pembangunan pertanian modern (Jadhav et al., 2024; Larasati et al., 2024; Yesankar et al., 2024).

Dalam konteks Indonesia, transformasi digital di sektor pertanian telah mencapai

momentum signifikan di tengah tuntutan peningkatan produktivitas, efisiensi sumber daya, serta adaptasi terhadap perubahan iklim dan dinamika pasar. Sistem penyuluhan pertanian yang diimplementasikan melalui kelembagaan Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) berfungsi sebagai instrumen utama dalam mempercepat proses transformasi ini. Sebagai unit kerja terdepan, BPP memiliki peran strategis sebagai pusat data dan informasi, pusat perencanaan program, serta pusat pembelajaran bagi petani dan pelaku usaha. Reposisi peran BPP menjadi berbasis digital menjadikannya simpul utama dalam diseminasi pengetahuan dan inovasi pertanian di tingkat lokal, sehingga memperkuat kapasitas kelembagaan dalam mendukung pembangunan pertanian modern yang berkelanjutan.

Lebih lanjut, digitalisasi BPP tidak hanya diartikan sebagai adopsi teknologi, tetapi juga sebagai reposisi fungsi kelembagaan untuk menjadi pusat pengendalian informasi, perencanaan program, dan pembelajaran yang terhubung secara digital. Analogi dari sektor lain, seperti digitalisasi layanan keuangan dan pendidikan, menunjukkan bahwa keberhasilan transformasi digital ditentukan oleh sinergi antara inovasi teknologi, regulasi yang adaptif, serta kesiapan sumber daya manusia dalam mengintegrasikan nilai-nilai lokal dengan tuntutan global (Amalia et al., 2024; Hasanah et al., 2024). Oleh karena itu, BPP sebagai pusat pembelajaran digital harus mampu menyeimbangkan inovasi teknologi dengan kebutuhan lokal petani, sehingga dapat memperkuat kapasitas adaptasi terhadap perubahan iklim, meningkatkan daya saing agribisnis, dan memastikan keberlanjutan pembangunan pertanian di Indonesia.

Peran kelembagaan penyuluhan dalam mendukung transformasi digital pertanian dapat dianalisis melalui pendekatan Agricultural Knowledge and Innovation

System (AKIS). Pendekatan ini menekankan pentingnya interkoneksi multipihak—termasuk petani, penyuluh, peneliti, akademisi, pemerintah, dan sektor swasta—dalam produksi, pengelolaan, serta pemanfaatan pengetahuan untuk mendorong inovasi. Keberhasilan adopsi teknologi tidak hanya bergantung pada pasokan teknologi, tetapi juga pada efektivitas pertukaran pengetahuan dan kolaborasi multipihak dalam sistem tersebut. Dalam konteks ini, penggunaan ICT dan inovasi digital terbukti meningkatkan akses petani terhadap informasi serta mendukung pengambilan keputusan secara real-time, sekaligus mengatasi keterbatasan sumber daya dan kesenjangan literasi digital yang sering menjadi hambatan adopsi teknologi baru (Khatri et al., 2024; Prajapati et al., 2025; Sugihono et al., 2025a).

Dinamika kelembagaan penyuluhan sejalan dengan Teori Difusi Inovasi dari Rogers (1995), yang menggambarkan adopsi inovasi sebagai proses berurutan melalui tahap pengetahuan, persuasi, keputusan, implementasi, dan konfirmasi. Dalam konteks ini, penyuluh pertanian berfungsi sebagai agen perubahan yang menghubungkan inovasi dengan komunitas lokal, termasuk kelompok perempuan dan petani kecil, sehingga memperkuat proses penyebaran informasi dan teknologi (Isaya et al., 2018). Efektivitas fungsi kelembagaan Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) sangat bergantung pada kompetensi digital penyuluh dan intensitas pendampingan yang diberikan, yang secara simultan menjadi determinan utama keberhasilan adopsi teknologi pertanian modern. Keterampilan digital dan literasi teknologi penyuluh merupakan faktor kritis dalam mengatasi kesenjangan digital serta mendukung transfer teknologi melalui metode partisipatif dan platform digital. Oleh karena itu, keberhasilan transformasi digital dalam sektor pertanian tidak hanya ditentukan oleh

kualitas teknologi, tetapi juga oleh peran sentral kelembagaan penyuluhan dalam mengelola jaringan pengetahuan, memperkuat kolaborasi multipihak, dan memastikan keberlanjutan inovasi di tingkat akar rumput (Aranguri et al., 2025; Priya et al., 2025).

Sejumlah studi empiris terdahulu telah mengonfirmasi urgensi aspek-aspek tersebut secara parsial. Dalam dimensi kapasitas individu, kompetensi dan kesiapan penyuluh dalam mengadopsi teknologi digital terbukti berkorelasi positif dengan efektivitas penyebaran informasi pertanian kepada petani (Asante et al., 2024). Selain itu, pemanfaatan media digital dalam penyuluhan terbukti mampu mengurangi hambatan jarak geografis dan mengubah pola komunikasi konvensional menjadi lebih fleksibel tanpa menurunkan tingkat adopsi inovasi di tingkat petani (Dahlan et al., 2024). Dari perspektif sistem makro, kapasitas kelembagaan penyuluhan dan penguatan ekosistem AKIS merupakan prasyarat mutlak bagi kelancaran transformasi digital sektor pertanian (Charatsari et al., 2023; Leonnig & Nielsen, 2025a). Sementara itu, studi tantangan empiris di negara berkembang, termasuk Indonesia, menunjukkan bahwa kegagalan adopsi teknologi digital sering kali berakar pada lemahnya dukungan kelembagaan lokal, keterbatasan akses teknologi, serta rendahnya kapasitas literasi digital sumber daya manusia (Azis & Suryana, 2023; Thi Hoa Sen et al., 2024a).

Meskipun kajian mengenai digitalisasi pertanian terus berkembang, sebagian besar literatur terdahulu cenderung menganalisis fungsi kelembagaan BPP, kompetensi digital penyuluh, atau pola pendampingan secara terpisah. Berdasarkan penelusuran pustaka yang dilakukan, penelitian yang mengintegrasikan fungsi BPP—baik sebagai pusat data-informasi maupun pusat perencanaan-pembelajaran—kapasitas

digital individu penyuluh, dan aspek interaksi sosial berupa partisipasi pendampingan ke dalam satu model empiris yang utuh masih sangat terbatas. Akibatnya, gambaran holistik mengenai faktor penentu penerapan teknologi pertanian modern di Indonesia masih menyisakan celah empiris.

Berdasarkan kesenjangan penelitian yang ada, studi ini menawarkan kontribusi baru dengan mengembangkan model struktural yang mengintegrasikan dimensi kelembagaan penyuluhan, kapasitas individu penyuluh, dan aspek interaksi sosial penyuluhan untuk menjelaskan varians dalam penerapan teknologi pertanian modern. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fungsi Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) sebagai pusat data dan informasi, fungsi BPP sebagai pusat perencanaan dan pembelajaran, kompetensi digital penyuluh, serta partisipasi penyuluh dalam pendampingan secara simultan dan parsial terhadap penerapan teknologi pertanian modern. Secara teoretis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur sosiologi pedesaan dan ilmu penyuluhan pertanian terkait difusi inovasi di era digital. Secara praktis, studi ini diharapkan menjadi dasar bagi pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan untuk mendesain program penguatan kapasitas kelembagaan penyuluhan di era transformasi pertanian 4.0 di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama periode enam bulan, dari Juli hingga Desember 2025. Dengan mempertimbangkan cakupan luas transformasi digital, lokasi penelitian difokuskan pada wilayah-wilayah pertanian sentra di Indonesia yang memiliki densitas kelembagaan Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) yang tinggi serta aktif dalam penggunaan teknologi informasi. Pemilihan wilayah didasarkan pada keragaman

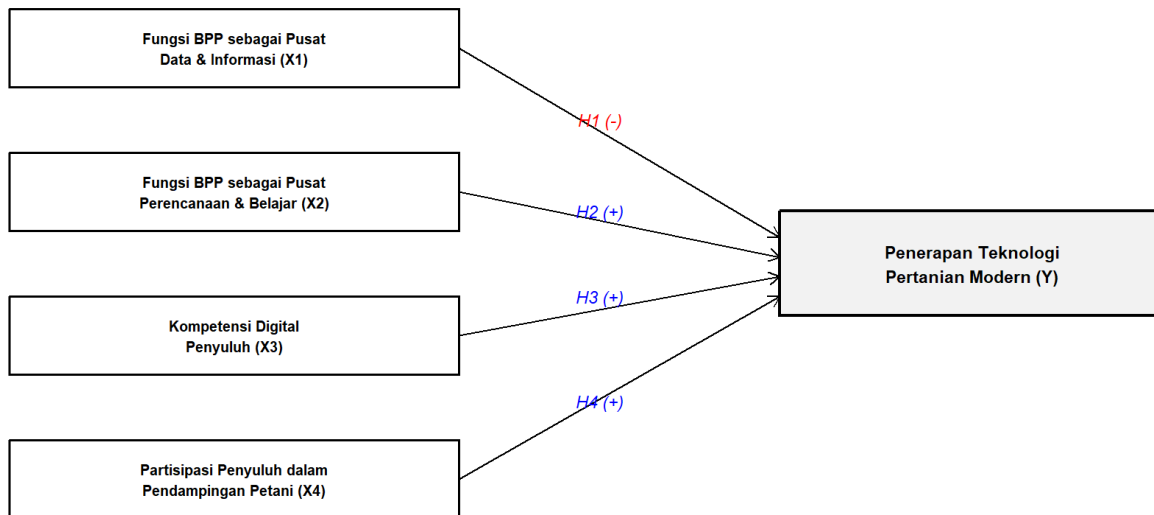
karakteristik ekologis pertanian dan tingkat adopsi inovasi digital lokal.

2.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain survei eksplanatif. Pendekatan ini bertujuan untuk menguji hipotesis, menganalisis pola hubungan,

serta mengonfirmasi pengaruh kausalitas antara dimensi kelembagaan dan kapasitas individu

terhadap penerapan inovasi (J.W Creswell, 2018). Desain potong-lintang diterapkan, di mana pengumpulan data dari semua variabel dilakukan secara simultan dalam satu periode waktu pengamatan yang sama.



Gambar 1. Kerangka penelitian

Guna memberikan arah analisis yang terstruktur, penelitian ini mengonseptualisasikan hubungan kausalitas antarvariabel berdasarkan sintesis Teori Difusi Inovasi Rogers (1995) dan pendekatan *Agricultural Knowledge and Innovation System* (AKIS) (Sugihono et al., 2025b). Faktor kelembagaan lokal yang diwakili oleh fungsi BPP (X_1 dan X_2) diletakkan sebagai basis struktural penyuplai informasi dan ruang belajar. Sementara itu, kapasitas individu (X_3) dan interaksi sosial (X_4) diletakkan sebagai motor penggerak aktualisasi teknologi di tingkat lapangan. Secara visual, alur pemikiran, interkoneksi variabel, serta posisi pengujian hipotesis parsial (H_1, H_2, H_3, H_4) dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

H1: Pengaruh Fungsi BPP sebagai Pusat Data dan Informasi terhadap Penerapan Teknologi Pertanian Modern

Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) di tingkat kecamatan diamanatkan sebagai simpul pengumpul dan penyedia data komoditas serta info teknologi tapak (Peraturan Menteri Permentan no.49 Tahun, 2019) Dalam kerangka kerja *Agricultural Knowledge and Innovation System* (AKIS), ketersediaan data merupakan prasyarat awal penyusunan basis pengetahuan bagi aktor lokal. Tahap pertama dari model adopsi Rogers (1995) juga menegaskan bahwa paparan informasi (*knowledge stage*) adalah pintu masuk utama sebelum adopsi terjadi. Ketersediaan informasi teknologi yang akurat di BPP diasumsikan dapat menekan tingkat ketidakpastian risiko bagi petani.

H2: Pengaruh Fungsi BPP sebagai Pusat Perencanaan dan Pembelajaran terhadap Penerapan Teknologi Pertanian Modern

Penyuluhan pertanian tidak sekadar melakukan transfer teknologi secara pasif, melainkan sebuah proses pendidikan nonformal yang dinamis (M. Fatah et al., 2025). Melalui fungsi pusat perencanaan dan pembelajaran, BPP menyediakan ruang bagi interaksi multipihak untuk merekayasa kegiatan pembelajaran bersama, seperti melalui sekolah lapang atau demonstrasi plot (*demplot*) (Tjokropandojo et al., 2026). Proses asimilasi teknologi yang kompleks (seperti IoT atau pertanian presisi) menuntut pemahaman operasional yang mendalam melalui evaluasi partisipatif. Pembelajaran sosial ini memfasilitasi petani untuk bergerak dari sekadar tahu (*knowledge*) menuju tahap meyakini (*persuasion*).

H3: Pengaruh Kompetensi Digital Penyuluh terhadap Penerapan Teknologi Pertanian Modern

Di era *Agriculture 4.0*, penyuluh pertanian dituntut bertindak sebagai perantara inovasi (*innovation broker*) yang menjembatani kesenjangan digital pedesaan (Davis et al., 2024). Kompetensi digital yang memadai mencakup kecakapan menyaring, mengelola, dan mendiseminasikan inovasi pertanian berbasis perangkat cerdas kepada petani (Vuorikari et al., 2022). Penyuluh yang melek digital dapat mengonversi diseminasi konvensional yang terhambat jarak geografis menjadi komunikasi yang asinkron, cepat, dan interaktif (Steinke et al., 2021). Kapasitas individu ini menjadi pilar utama dalam mempercepat tahapan persuasi dan keputusan adopsi di tingkat petani.

Adopsi teknologi modern bermuatan risiko teknis dan finansial yang tinggi bagi petani. Kehadiran penyuluh melalui pendampingan yang intensif dan partisipatif berfungsi sebagai instrumen mitigasi risiko psikologis tersebut di lapangan (Arsyad et al., 2025).

Dalam koridor Teori Rogers (1995), peran agen perubahan (*change agent*) sangat krusial pada fase implementasi dan konfirmasi untuk memastikan teknologi yang diadopsi tidak ditinggalkan kembali oleh pengguna. Kualitas interaksi tatap muka maupun hibrida membangun modal sosial berupa kepercayaan (*trust*) yang memperkuat komitmen petani dalam menerapkan inovasi secara berkelanjutan.

2.3 Populasi dan Sampel

Populasi target dalam penelitian ini adalah seluruh penyuluh pertanian aktif di Indonesia yang terdaftar resmi pada database Kementerian Pertanian. Mengingat luasnya jangkauan geografis populasi, penarikan sampel dilakukan menggunakan teknik *non-probability sampling* dengan metode *virtual snowball sampling*. Kuesioner elektronik didistribusikan secara berantai melalui jaringan komunikasi dan komunitas digital resmi penyuluh pertanian. Melalui strategi ini, diperoleh sampel sebanyak 1.174 responden yang mengisi data secara lengkap dan memenuhi seluruh kriteria inklusi untuk dianalisis. Jumlah sampel yang besar ini ($N > 1.000$) secara statistik memadai untuk meminimalkan *sampling error* dan memenuhi asumsi asimtotik dalam analisis multivariat.

2.4 Sumber, Jenis, dan Pengukuran Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer kuantitatif yang diperoleh langsung dari responden melalui instrumen kuesioner terstruktur. Konstruk operasional penelitian ini mencakup empat variabel independen (X) dan satu variabel dependen (Y), yaitu:

1. Fungsi BPP sebagai Pusat Data dan Informasi (X_1)
2. Fungsi BPP sebagai Pusat Perencanaan dan Pembelajaran (X_2)
3. Kompetensi Digital Penyuluh (X_3)

4. Partisipasi Penyuluh dalam Pendampingan Petani (X_4)

5. Penerapan Teknologi Pertanian Modern (Y)

Setiap item pertanyaan atau pernyataan dalam instrumen ini diukur menggunakan skala Likert 5 poin. Skala ini digunakan untuk mengonversi persepsi kualitatif menjadi data numerik, dengan rentang skor dari 1 (Sangat Tidak Setuju) hingga 5 (Sangat Setuju).

2.5 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dilaksanakan secara hibrida untuk mengoptimalkan tingkat respons. Mekanisme utama melibatkan penggunaan kuesioner digital berbasis Google Forms yang disebarakan melalui platform komunikasi instan, serta pengisian kuesioner secara langsung pada pertemuan koordinasi atau lokakarya berkala penyuluh di tingkat daerah. Sebelum penyebaran kuesioner secara luas, instrumen diuji validitasnya dengan menggunakan nilai *Corrected Item-Total Correlation* ($r_{drop} > 0,30$) dan diuji reliabilitasnya dengan koefisien *Cronbach's Alpha* ($\alpha > 0,60$) untuk memastikan konsistensi internal instrument (Hair et al., 2019).

2.6 Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan memanfaatkan lingkungan komputasi statistik R. Tahapan analisis meliputi penerapan statistik deskriptif untuk membangun profil data, yang mencakup perhitungan rata-rata, standar deviasi, serta penentuan nilai minimum dan maksimum. Selanjutnya, pengujian asumsi klasik

ekonometrika dilaksanakan. Pengujian asumsi klasik mencakup:

- Uji Multikolinearitas: diukur melalui *Variance Inflation Factor* (VIF) dengan batas toleransi < 10 .
- Uji Autokorelasi: diuji dengan statistik *Durbin-Watson* (DW).
- Uji Normalitas Residual: menggunakan *Shapiro-Wilk Test*. Mengingat ukuran sampel yang besar ($N = 1.174$), pelanggaran minor terhadap asumsi normalitas akan dimitigasi dengan bersandar pada *Central Limit Theorem* (CLT) yang menjamin distribusi sampling inferensial mendekati normal secara asimtotik.
- Uji Heteroskedastisitas: menggunakan *Breusch-Pagan Test*.

Untuk mengantisipasi dan mengoreksi bias yang disebabkan oleh gejala heteroskedastisitas pada varians residual, estimasi parameter model regresi linear berganda tidak dilakukan dengan menggunakan Ordinary Least Squares (OLS) standar. Sebagai gantinya, digunakan pendekatan Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors tipe HC3. Pendekatan estimator robust HC3 ini menghasilkan estimasi standard error yang valid dan tidak bias pada sampel besar, meskipun terdapat ketidaksamaan varians residual (Leonnig & Nielsen, 2025b).

Model regresi linear berganda dalam penelitian ini dispesifikasikan melalui persamaan matematika berikut:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_4 X_{4i} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Keterangan:

- Y_i = Penerapan Teknologi Pertanian Modern pada pengamatan ke- i
- X_{1i} = Fungsi BPP sebagai Pusat Data dan Informasi pada pengamatan ke- i

- X_{2i} = Fungsi BPP sebagai Pusat Perencanaan dan Pembelajaran pada pengamatan ke- i
- X_{3i} = Kompetensi Digital Penyuluh pada pengamatan ke- i
- X_{4i} = Partisipasi Penyuluh dalam Pendampingan Petani pada pengamatan ke- i
- β_0 = Konstanta (*Intercept*)
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = Koefisien regresi parsial masing-masing variabel independen
- ε_i = Robust *stochastic error term*

Uji kecocokan model (*goodness of fit*) dinilai melalui Koefisien Determinasi (R^2). Evaluasi signifikansi pengaruh simultan dilakukan dengan Uji F, sedangkan signifikansi pengaruh parsial dinilai menggunakan Uji t pada tingkat kekeliruan $\alpha = 5$. Akhirnya, variabel yang paling dominan ditentukan dengan membandingkan nilai Koefisien Beta Terstandarisasi (*Standardized Beta Coefficient*) yang memiliki nilai absolut terbesar dan signifikan secara statistik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Data

3.1.1 Pembersihan Data (*Data Cleaning*)

Sebelum analisis inferensial dilakukan, prosedur pembersihan data (*data cleaning*) diterapkan guna menjamin kualitas dan validitas estimasi. Pemeriksaan awal mengidentifikasi adanya *missing value* pada

34 entri yang tersebar acak pada beberapa item instrumen. Pada tingkat responden, pengamatan yang memiliki data hilang melebihi ambang batas 10% dieksklusi dari basis data (tercatat sebanyak 1 responden). Sementara itu, bagi responden dengan *missing value* kurang dari atau sama dengan 10%, dilakukan tindakan pemulihan data melalui metode imputasi rata-rata (*mean imputation*). Melalui tahapan ini, ukuran sampel akhir yang valid dan siap dianalisis adalah sebanyak 1.171 responden.

3.1.2 Analisis Deskriptif Variabel Penelitian

Analisis statistik deskriptif diterapkan untuk membangun profil distribusi data dan memberikan gambaran umum mengenai persepsi responden terhadap semua variabel yang diteliti (Tabel 1).

Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian ($N = 1.171$)

Variabel	Mean	SD	Min	Max
Fungsi BPP sebagai Pusat Data dan Informasi (X_1)	4,48	0,63	1	5
Fungsi BPP sebagai Pusat Perencanaan dan Pembelajaran (X_2)	4,46	0,65	1	5
Kompetensi Digital Penyuluh (X_3)	4,40	0,60	1	5
Partisipasi Penyuluh dalam Pendampingan Petani (X_4)	4,31	0,60	1	5
Penerapan Teknologi Pertanian Modern (Y)	4,31	0,60	1	5

Berdasarkan Tabel 1, seluruh variabel penelitian menunjukkan nilai rata-rata yang tinggi, yaitu di atas 4,00 pada skala 1–5. Variabel fungsi BPP sebagai pusat data dan informasi (X_1) memiliki rerata tertinggi sebesar 4,48, diikuti oleh fungsi BPP sebagai

pusat perencanaan dan pembelajaran (X_2) dengan rerata 4,46. Selain itu, nilai standar deviasi (SD) untuk seluruh variabel berada dalam rentang sempit antara 0,60 hingga 0,65, yang menunjukkan bahwa persepsi

responden bersifat homogen dengan variabilitas yang rendah.

3.1.3 Uji Kualitas Instrumen

Pengujian kualitas instrumen melibatkan evaluasi validitas butir melalui Corrected Item-Total Correlation (r_{drop}) serta evaluasi reliabilitas dengan menggunakan koefisien *Cronbach's Alpha* (α).

Tabel 2. Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Variabel	Jumlah Item	Rentang r_{drop}	Cronbach's Alpha (α)	Keterangan
X_1	7	0,769 – 0,845	0,941	Valid & Sangat Reliabel
X_2	5	0,839 – 0,881	0,947	Valid & Sangat Reliabel
X_3	9	0,735 – 0,839	0,953	Valid & Sangat Reliabel
X_4	7	0,333 – 0,845	0,897	Valid & Sangat Reliabel
Y	8	0,357 – 0,846	0,916	Valid & Sangat Reliabel

Hasil yang disajikan dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa setiap item pernyataan pada masing-masing konstruk memiliki nilai r_{drop} yang melebihi ambang batas kritis 0,30. Hal ini menegaskan bahwa semua indikator valid dalam mengukur variabel laten yang bersangkutan. Selain itu, koefisien *Cronbach's Alpha* untuk setiap konstruk secara signifikan melampaui batas minimum 0,60, dengan rentang antara 0,897 hingga

0,953, yang menunjukkan tingkat konsistensi internal instrumen yang sangat tinggi.

3.1.4 Analisis Korelasi Antarvariabel

Penerapan analisis korelasi *Pearson Product-Moment* bertujuan untuk menentukan kekuatan dan arah hubungan linear antara variabel-variabel yang diteliti (Tabel 3).

Tabel 3. Matriks Korelasi Pearson Antarvariabel Penelitian

Variabel	X1	X2	X3	X4	Y
X_1	1,000				
X_2	0,871	1,000			
X_3	0,784	0,811	1,000		
X_4	0,787	0,826	0,884	1,000	
Y	0,737	0,780	0,872	0,858	1,000

Matriks korelasi menunjukkan bahwa semua variabel memiliki hubungan positif dan searah. Hubungan antara variabel independen dan Penerapan Teknologi Pertanian Modern (Y) dikategorikan sebagai kuat ($r > 0,70$), dengan asosiasi tertinggi pada Kompetensi Digital Penyuluh (X_3 ; $r = 0,872$). Namun, koefisien korelasi

antarvariabel bebas juga tinggi, seperti antara X_3 dan X_4 yang mencapai 0,884. Oleh karena itu, diperlukan pengujian multikolinearitas yang lebih ketat menggunakan parameter VIF dalam pemodelan regresi.

3.1.5 Uji Asumsi Klasik

Sebelum menarik kesimpulan inferensial, serangkaian uji asumsi klasik dilaksanakan

guna mendeteksi potensi pelanggaran ekonometrika dalam model (Tabel 3.4).

Tabel 4. Ringkasan Hasil Pengujian Asumsi Klasik

Prosedur Uji	Nilai Statistik	Batas Kritis	Kesimpulan
Multikolinearitas (VIF)	4,507 – 5,480	VIF < 10,00	Tidak terjadi multikolinearitas serius
Heteroskedastisitas (Breusch-Pagan)	$p = 0,000005$	$p > 0,05$	Terjadi gejala heteroskedastisitas
Autokorelasi (Durbin-Watson)	$DW = 1,968$ ($p = 0,290$)	$p > 0,05$	Bebas dari gejala autokorelasi

Hasil uji asumsi klasik menunjukkan bahwa model tidak mengalami masalah multikolinearitas dan autokorelasi. Namun, uji Breusch-Pagan menolak hipotesis homoskedastisitas ($p < 0,05$). Ketidaksamaan varians residual ini mendukung keputusan peneliti untuk menggunakan estimator *Robust Standard Error* HC3, yang bertujuan mengoreksi

ketepatan standard error tanpa mengubah koefisien regresi OLS.

3.1.6 Analisis Regresi Linear Berganda (Robust HC3)

Estimasi parameter regresi linear berganda dengan pendekatan *Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors* (HC3) dirangkum pada Tabel 3.5.

Tabel 5. Hasil Estimasi Regresi Linear Berganda Robust HC3

Variabel	Koefisien (B)	Robust Error	Std. t-statistic	p-value
Konstanta	0,310	0,061	5,082	< 0,001
Fungsi BPP: Data & Informasi (X_1)	-0,014	0,027	-0,514	0,607
Fungsi BPP: Perencanaan & Pembelajaran (X_2)	0,102	0,028	3,654	< 0,001
Kompetensi Digital Penyuluh (X_3)	0,480	0,030	16,160	< 0,001
Partisipasi Pendampingan (X_4)	0,347	0,031	11,371	< 0,001

Berdasarkan hasil estimasi pada Tabel 5, persamaan empiris regresi linear berganda

dalam penelitian ini dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 0,310 - 0,014X_1 + 0,102X_2 + 0,480X_3 + 0,347X_4$$

Model ini menunjukkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,798 dan Adjusted R^2 sebesar 0,797. Ini mengindikasikan bahwa 79,8% variasi dalam Penerapan Teknologi Pertanian Modern (Y) dapat dijelaskan secara simultan oleh keempat variabel independen dalam model tersebut. Kelayakan model ini didukung oleh nilai F -

statistik sebesar 1.152 ($df = 4; 1.166; p < 0,001$), yang menunjukkan signifikansi pengaruh secara simultan.

3.1.7 Pengujian Hipotesis Secara Parsial (Uji t)

Pengujian parsial dengan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$ menghasilkan keputusan sebagai berikut:

1. H1 (Fungsi BPP Pusat Data dan Informasi terhadap Y): Nilai $t = -0,514$ ($p = 0,607 > 0,05$). Koefisien tidak signifikan, sehingga H1 ditolak.
2. H2 (Fungsi BPP Pusat Perencanaan dan Pembelajaran terhadap Y): Nilai $t = 3,654$ ($p < 0,001$). Koefisien positif dan signifikan, sehingga H2 diterima.
3. H3 (Kompetensi Digital Penyuluh terhadap Y): Nilai $t = 16,160$ ($p < 0,001$). Koefisien positif dan signifikan secara dominan, sehingga H3 diterima.
4. H4 (Partisipasi Pendampingan terhadap Y): Nilai $t = 11,371$ ($p < 0,001$). Koefisien positif dan signifikan, sehingga H4 diterima.

3.2 Pembahasan

3.2.1 Fungsi BPP sebagai Pusat Data dan Informasi Tidak Lagi Menjadi Faktor Utama dalam Penerapan Teknologi Pertanian Modern

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Fungsi BPP sebagai Pusat Data dan Informasi (X_1) tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap Penerapan Teknologi Pertanian Modern ($\beta = -0,014$; $p = 0,607$). Temuan ini menimbulkan anomali teoretis yang menarik. Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 49 Tahun 2019, BPP diamanatkan sebagai basis data utama di tingkat tapak (Kecamatan). Namun, hasil empiris menunjukkan bahwa ketersediaan data secara fisik di kelembagaan lokal tidak secara langsung menentukan adopsi teknologi modern oleh petani.

Fenomena ini mendukung argumen dalam Teori Difusi Inovasi (Rogers, 1995) bahwa tahap pengetahuan yang berasal dari paparan informasi hanyalah langkah awal.

Informasi pertanian di era digital telah berubah dari barang langka menjadi komoditas yang melimpah. Petani dan penyuluh kini dapat menghindari jalur birokrasi informasi konvensional dengan mengakses platform video daring, media sosial, atau aplikasi pertanian (Steinke et al., 2021). Oleh karena itu, transfer informasi satu arah yang menjadi ciri fungsi data tradisional tidak lagi memadai tanpa adanya fasilitasi konversi data menjadi tindakan praktis (Ongachi et al., 2026). Nilai korelasi yang tinggi ($r = 0,737$) namun tidak signifikan dalam uji regresi parsial menunjukkan bahwa fungsi informasi dari BPP kemungkinan bekerja secara tidak langsung, yaitu sebagai penyuplai bahan baku pengetahuan yang baru efektif jika didukung oleh kompetensi digital penyuluh dan aktivitas pendampingan di lapangan.

3.2.2 Fungsi BPP sebagai Pusat Pembelajaran Lebih Penting daripada Sebagai Pusat Informasi

Berbeda dengan fungsi informasi, dimensi Fungsi BPP sebagai Pusat Perencanaan dan Pembelajaran (X_2) menunjukkan pengaruh positif dan signifikan terhadap adopsi teknologi modern ($\beta = 0,102$; $p < 0,001$). Hasil yang kontras ini menegaskan bahwa dalam ekosistem pertanian modern, penyediaan ruang pembelajaran interaktif memiliki peran yang lebih penting dibandingkan dengan sekadar penyediaan data statis. Penyuluhan, pada dasarnya, merupakan pendidikan nonformal yang keberhasilannya bergantung pada bagaimana informasi tersebut didekonstruksi melalui proses pembelajaran bersama (social learning) agar sesuai dengan kapasitas adaptasi lokal petani (M. Fatah et al., 2025).

Teknologi pertanian modern (seperti mekanisasi presisi atau aplikasi berbasis IoT) menuntut pemahaman operasional dengan kompleksitas tinggi. Melalui

penguatan fungsi BPP sebagai pusat pembelajaran—seperti optimalisasi sekolah lapang, petak percontohan (*demplot*), dan ruang konsultasi agribisnis—BPP mampu bertindak sebagai wadah de-eskalasi risiko inovasi (Charatsari et al., 2024). Petani dibekali ruang untuk mengevaluasi kegunaan teknologi sebelum mengambil keputusan adopsi penuh. Penguatan aspek ini sejalan dengan arah revitalisasi kelembagaan pertanian yang menuntut kelembagaan lokal bertransformasi menjadi inkubator pembelajaran partisipatif (Ongachi et al., 2026).

3.2.3 Kompetensi Digital Penyuluh sebagai Penggerak Utama Transformasi Pertanian Modern

Kompetensi Digital Penyuluh (X_3) telah diidentifikasi sebagai determinan paling dominan dalam model struktural ini ($\beta = 0,480$; $p < 0,001$). Temuan ini menegaskan bahwa percepatan transformasi pertanian menuju era Agriculture 4.0 tidak hanya bergantung pada perangkat keras, tetapi juga pada kapasitas modal manusia yang menggerakkannya. Berdasarkan kerangka kerja kompetensi digital Eropa (Vuorikari et al., 2022). Kemampuan dalam mengelola informasi digital dan memecahkan masalah berbasis teknologi merupakan kompetensi inti dari profesionalisme modern.

Penyuluh dengan literasi digital yang tinggi bertindak sebagai filter sekaligus penerjemah gelombang informasi makro menjadi rekomendasi taktis bagi petani. Penguasaan teknologi digital terbukti memperluas jangkauan layanan penyuluhan, mereduksi batas geografis, serta mempercepat diseminasi temuan riset terbaru ke tingkat petani secara *real-time* (“The State of Food and Agriculture 2022,” 2022). Kemampuan memanfaatkan media sosial, aplikasi pesan instan, dan platform cerdas lainnya mengubah proses penyuluhan konvensional menjadi interaksi

yang responsif dan dinamis (Rustandi & Abdul Farid, 2025). Oleh sebab itu, investasi kebijakan pada peningkatan kapasitas digital penyuluh memberikan daya ungkit (*leverage*) terbesar dalam keberhasilan adopsi teknologi pertanian modern di Indonesia (Thi Hoa Sen et al., 2024).

3.2.4 Pendampingan Penyuluh Menjadi Jembatan antara Inovasi dan Adopsi Teknologi

Partisipasi penyuluh dalam pendampingan petani (X_4) menunjukkan pengaruh positif dan signifikan yang kuat terhadap penerapan teknologi ($\beta = 0,347$; $p < 0,001$). Temuan ini menegaskan bahwa kehadiran fisik penyuluh serta intensitas interaksi dalam mendampingi aktivitas usaha tani tidak dapat sepenuhnya digantikan oleh otomatisasi digital. Pendampingan berfungsi sebagai jembatan yang mengurangi ketidakpastian psikologis dan teknis yang sering dihadapi petani ketika beralih dari metode tradisional ke sistem modern (Tjokropandojo et al., 2026).

Dalam kerangka difusi inovasi, penyuluh yang aktif mendampingi petani berfungsi ganda sebagai agen perubahan dan perantara inovasi (Davis et al., n.d.). Interaksi tatap muka yang intensif menghasilkan modal sosial berupa kepercayaan, yang mempercepat fase persuasi dan keputusan dalam siklus adopsi Rogers (1995). Melalui pendampingan terstruktur, hambatan teknis di lapangan dapat diatasi secara langsung melalui diskusi kelompok dan pemecahan masalah bersama (Arsyad et al., 2025). Keberhasilan modernisasi pertanian terbukti memerlukan sinergi yang seimbang antara penetrasi teknologi digital dan intensitas pendampingan humanis di lapangan.

3.2.5 Temuan Utama Penelitian: Pergeseran Paradigma Penyuluhan Pertanian di Era Digital

Sintesis menyeluruh terhadap model empiris ini mengungkapkan temuan mendasar: adanya pergeseran paradigma dalam sistem penyuluhan pertanian di era digital. Paradigma lama yang memposisikan kelembagaan penyuluhan hanya sebagai agen transfer informasi satu arah terbukti telah usang dan kehilangan signifikansi statistiknya (Rustandi & Abdul Farid, 2025). Di era kelimpahan data, bukan ketersediaan informasi yang membatasi adopsi, melainkan kapasitas aktor lapangan dalam mengasimilasi dan mengontekstualisasikan informasi tersebut (Steinke et al., 2021).

Paradigma baru dalam penyuluhan modern mengharuskan reposisi peran kelembagaan dan individu menuju fasilitasi pembelajaran, penguasaan literasi digital, serta penguatan kemitraan dalam penciptaan pengetahuan bersama. Pola ini sejalan dengan konsep *The New Extensionist* yang mengharuskan penyuluh pertanian abad ke-21 untuk menguasai kompetensi fungsional sebagai fasilitator jaringan dan agen transformasi digital (Davis et al., n.d.). Modernisasi sektor pertanian di negara berkembang seperti Indonesia pada dasarnya bukan hanya tentang mekanisasi, tetapi juga transformasi kapasitas manusia. Keberhasilan adopsi teknologi pertanian modern ditentukan oleh konfigurasi harmonis antara kelembagaan lokal yang edukatif (BPP), kapasitas digital individu penyuluh, dan komitmen pendampingan sosial yang konsisten.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa keberhasilan akselerasi transformasi digital dan adopsi teknologi pertanian modern di Indonesia ditentukan oleh konfigurasi dimensi kelembagaan lokal yang edukatif, kapasitas digital individu penyuluh, dan intensitas pendampingan sosial. Hasil estimasi model regresi robust mengindikasikan bahwa fungsi Balai

Penyuluhan Pertanian (BPP) sebagai pusat perencanaan dan pembelajaran, kompetensi digital penyuluh, serta partisipasi penyuluh dalam pendampingan petani memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap penerapan teknologi pertanian modern.

Sebaliknya, peran BPP sebagai pusat data dan informasi tidak menunjukkan pengaruh signifikan dalam model parsial. Temuan ini menegaskan bahwa di era kelimpahan informasi digital, ketersediaan data statis di lembaga lokal tidak secara otomatis mendorong adopsi inovasi tanpa adanya proses asimilasi pengetahuan yang interaktif. Selain itu, kompetensi digital penyuluh diidentifikasi sebagai faktor penentu paling dominan dalam mendorong penerapan teknologi pertanian modern.

Secara teoretis, temuan ini mengindikasikan terjadinya pergeseran paradigma (*paradigmatic shift*) dalam sistem penyuluhan pertanian di era digital. Pola penyuluhan telah bergeser dari paradigma konvensional yang bertumpu pada transfer informasi satu arah (*top-down*) menuju paradigma baru yang berfokus pada fasilitasi pembelajaran partisipatif, kecakapan literasi digital, dan pendampingan humanis di lapangan (*The New Extensionist*).

4.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian dan pergeseran paradigma yang teridentifikasi, beberapa saran taktis dan strategis dirumuskan sebagai berikut:

1. Penguatan Regulasi dan Kapasitas Digital Penyuluh: Mengingat bahwa kompetensi digital penyuluh merupakan faktor penggerak yang paling dominan, Kementerian Pertanian bersama Pemerintah Daerah perlu merancang program peningkatan kapasitas digital yang terstruktur bagi penyuluh. Pendekatan ini harus beralih dari

pelatihan dasar TIK menuju penguasaan ekosistem *Agriculture 4.0*, termasuk pemanfaatan aplikasi pertanian presisi, manajemen big data komoditas, dan optimalisasi media digital sebagai sarana penyuluhan interaktif.

2. Reorientasi Fungsi Kelembagaan BPP: Peran BPP di tingkat kecamatan harus direvitalisasi secara fisik dan fungsional dari sekadar tempat perekaman data statis menjadi pusat inkubator pembelajaran digital (*digital learning hub*). Anggaran pembangunan kelembagaan sebaiknya diprioritaskan untuk memfasilitasi ruang belajar yang interaktif, pembuatan petak percontohan (*dempplot*) berbasis teknologi modern, serta penyediaan sarana pelatihan yang memungkinkan petani berinteraksi langsung dengan inovasi.
3. Optimalisasi Model Pendampingan Hibrida: Dinamika penyuluhan di lapangan harus mempertahankan intensitas pendampingan fisik yang

dipadukan dengan pemanfaatan platform digital (*hybrid extension system*). Hal ini penting untuk menjaga modal sosial berupa kepercayaan (*trust*) antara penyuluh dan petani sekaligus mempercepat proses penyelesaian hambatan teknis adopsi teknologi di tingkat tapak.

4. Keterbatasan dan Agenda Penelitian Mendatang: Penelitian ini berbasis data potong lintang (*cross-sectional*) dengan metode *virtual snowball sampling* yang berpotensi memiliki keterbatasan dalam menangkap dinamika perubahan perilaku adopsi jangka panjang. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain longitudinal atau menerapkan pendekatan *Structural Equation Modeling* (SEM) untuk menguji efek mediasi/moderasi (misalnya, menguji apakah kompetensi digital penyuluh memediasi hubungan antara fungsi informasi BPP terhadap tingkat adopsi teknologi oleh petani).

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Pendidikan Pertanian, BPPSDM, Kementerian Pertanian dan Program Studi Agribisnis Hortikultura Polbangtan Bogor yang telah mendukung terselesainya penulisan karya ilmiah. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh anggota Lab Agribisnis AGH.

6. Daftar Pustaka

Amalia, M., Lestari, S., & Mulyana, A. (2024). Dampak Globalisasi Terhadap Sistem Pendidikan Menurut Perspektif Hukum dan Sosiologi. *Indonesian Journal of Law and Justice*, 2(2), 16. <https://doi.org/10.47134/ijlj.v2i2.3331>

Arangurí, M., Mera, H., Noblecilla, W., & Lucini, C. (2025). Digital Literacy and Technology Adoption in Agriculture: A Systematic Review of Factors and Strategies. *AgriEngineering*, 7(9), 296. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7090296>

Arsyad, M., Lubis, Y., & Effendi, I. (2025). Enhancing farmer productivity through participatory approaches and continuous training: A communication quality perspective in North Sumatra's agricultural sector. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 12(12), 280–294. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2025.12.025>

- Asante, I. K., Ametepey, E. T. K., Ocran, J. K., Omega, S., & Annor-Frempong, F. (2024). Factors influencing the behaviour of extension agents towards the adoption of digital technologies in agricultural extension: A Theory of Planned Behaviour Perspective. *International Journal of Agricultural Extension*, 12(3), 361–378. <https://doi.org/10.33687/ijae.012.003.5340>
- Azis, M., & Suryana, E. A. (2023). Komparasi Dan Implementasi Kebijakan Digitalisasi Pertanian: Peluang Dan Tantangan. *Risalah Kebijakan Pertanian Dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian Dan Lingkungan*, 10(3), 179–198. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v10i3.51083>
- Charatsari, C., Michailidis, A., Francescone, M., De Rosa, M., Aidonis, D., Bartoli, L., La Rocca, G., Camanzi, L., & Lioutas, E. D. (2023). Do Agricultural Knowledge and Innovation Systems Have the Dynamic Capabilities to Guide the Digital Transition of Short Food Supply Chains? *Information*, 15(1), 22. <https://doi.org/10.3390/info15010022>
- Charatsari, C., Michailidis, A., Francescone, M., De Rosa, M., Aidonis, D., Bartoli, L., La Rocca, G., Camanzi, L., & Lioutas, E. D. (2024). Do Agricultural Knowledge and Innovation Systems Have the Dynamic Capabilities to Guide the Digital Transition of Short Food Supply Chains? *Information (Switzerland)*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/info15010022>
- Dahlan, S. S., Bulkis, S., Akhsan, & Salman, D. (2024). Non-Face-to-Face interactions in digital extension for innovating in farming communication: A case from South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(7). <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i7.6131>
- Davis, K., Gandhi, R., Koo, J., Kramer, B., Miller, A., Repishti, J., Spielman, D. J., & Sulaiman, R. (n.d.). *Agricultural Extension Services From Transfer of Technology to Facilitation for Innovation Key messages*.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis Eighth Edition*. www.cengage.com/highered
- Hasanah, N., Sayuti, M. N., & Lisnawati, L. (2024). Optimalisasi Regulasi Perbankan Syariah Oleh Bank Indonesia Dan Otoritas Jasa Keuangan Dalam Akselerasi Transformasi Digital. *Jurnal Manajemen Terapan Dan Keuangan*, 13(03), 709–723. <https://doi.org/10.22437/jmk.v13i03.36621>
- Isaya, E. L., Agunga, R., & Sanga, C. A. (2018). Sources of agricultural information for women farmers in Tanzania. *Information Development*, 34(1), 77–89. <https://doi.org/10.1177/0266666916675016>
- Jadhav, A., K N, M., C M, R., R, R. P., K, A., Bhat, P. P., & V, J. (2024). Revolutionizing Farm Management with Modern Agricultural Extension Techniques: A Review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(7), 1086–1099. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i7218>
- J.W Creswell. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*.
- Khatri, A., Lallawmkimi, M. C., Rana, P., Panigrahi, C. K., Minj, A., Koushal, S., & Ali, M. U. (2024). Integration of ICT in

- Agricultural Extension Services: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(12), 394–410.
<https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i123146>
- Larasati, N., Putri, A. A., Soemodinoto, A. S., Alyssa, N., & Shoofiyan, O. S. (2024). Unified theory of acceptance and use of technology model to understand farmer's readiness: Implementation of precision agriculture based on digital IoT monitoring apps in West Java, Indonesia. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 14(4), 176–183.
<https://doi.org/10.55493/5005.v14i4.5258>
- Leonnig, E. G., & Nielsen, J. Ø. (2025a). An empirical analysis of organic micro-level agricultural knowledge and innovation systems (microAKIS) in three federal states in Germany. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 31(2), 234–258.
<https://doi.org/10.1080/1389224X.2024.2371293>
- Leonnig, E. G., & Nielsen, J. Ø. (2025s). An empirical analysis of organic micro-level agricultural knowledge and innovation systems (microAKIS) in three federal states in Germany. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 31(2), 234–258.
<https://doi.org/10.1080/1389224X.2024.2371293>
- M. Fatah, Giyoto, & Islah. (2025). Sustainable Farming Education: A Case of Non-Formal Education At Lembaga Pengembangan Pertanian Nahdlatul Ulama (Nahdlatul Ulama Agricultural Development Institute). *Nadwa: Jurnal Pendidikan Islam*, 19(1), 85–108.
<https://doi.org/10.21580/nw.2025.19.1.26600>
- Ongachi, W., Belinder, I., Bhat, B., Hussain, S., & Dub, R. (2026). Strengthening agricultural extension services to enhance farmers' capacity and resilience for sustainable development; a systematic review. *BMC Agriculture*, 2(1), 17.
<https://doi.org/10.1186/s44399-026-00039-9>
- Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 49 Tahun 2019 Tentang Balai Penyuluhan Pertanian, Kementerian Pertanian RI (2019).
- Prajapati, C. S., Priya, N. K., Bishnoi, S., Vishwakarma, S. K., Buvaneswari, K., Shastri, S., Tripathi, S., & Jadhav, A. (2025). The Role of Participatory Approaches in Modern Agricultural Extension: Bridging Knowledge Gaps for Sustainable Farming Practices. *Journal of Experimental Agriculture International*, 47(2), 204–222.
<https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i23281>
- Priya, N. K., Patil, S. S., Vishwakarma, S. K., Saikant, D. R. K., Mishra, I., Tripathi, S., Pathak, A. K., & Shastri, S. (2025). Digital Innovations in Extension Education: A Review of Emerging Technologies and their Impact on Agricultural Knowledge Dissemination. *Journal of Experimental Agriculture International*, 47(5), 408–423.
<https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i53430>
- Rogers, E. M. . (1995). *Diffusion of innovations*. Free Press.
- Rustandi, Y., & Abdul Farid. (2025). Perception Dynamics Between Farmers and Agricultural Extension Officers (PPL) Regarding Digital Agricultural Extension Using Smartphones. *Jurnal Penyuluhan Pertanian*, 20(2), 155–169.
<https://doi.org/10.51852/wsc9bf39>

- Steinke, J., van Etten, J., Müller, A., Ortiz-Crespo, B., van de Gevel, J., Silvestri, S., & Priebe, J. (2021). Tapping the full potential of the digital revolution for agricultural extension: an emerging innovation agenda. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 19(5–6), 549–565. <https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1738754>
- Sugihono, C., Hariadi, S. S., & Wastutiningsih, S. P. (2024). Integrasi Pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Meningkatkan Layanan Penyuluhan Pertanian. *Jurnal Penyuluhan*, 20(02), 178–190. <https://doi.org/10.25015/20202450736>
- Sugihono, C., Hariadi, S. S., & Wastutiningsih, S. P. (2025a). Information and communication technology transform the agricultural extension practices in North Maluku, Indonesia. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 14(1), 46. <https://doi.org/10.11591/ijaas.v14.i1.pp46-52>
- Sugihono, C., Hariadi, S. S., & Wastutiningsih, S. P. (2025b). Information and communication technology transform the agricultural extension practices in North Maluku, Indonesia. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 14(1), 46–52. <https://doi.org/10.11591/ijaas.v14.i1.pp46-52>
- The State of Food and Agriculture 2022. (2022). In *The State of Food and Agriculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9479en>
- Thi Hoa Sen, L., Chou, P., Dacuyan, F. B., Nyberg, Y., & Wetterlind, J. (2024a). Barriers and enablers of digital extension services' adoption among smallholder farmers: the case of Cambodia, the Philippines and Vietnam. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2368351>
- Thi Hoa Sen, L., Chou, P., Dacuyan, F. B., Nyberg, Y., & Wetterlind, J. (2024b). Barriers and enablers of digital extension services' adoption among smallholder farmers: the case of Cambodia, the Philippines and Vietnam. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2368351>
- Tjokropandojo, D. S., Fiisabiilillah, D. F., & Fahmi, F. Z. (2026). Diffusion of Innovation within Informality: Social Capital in Agricultural Development of Indonesian Villages. *Journal of Regional and City Planning*, 35(3), 322–337. <https://doi.org/10.5614/jpww.2024.35.3.5>
- Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2 - The Digital Competence Framework for Citizens*. <https://doi.org/10.2760/115376>
- Yesankar, P. R., Bandre, P., Verma, P., Gudadhe, A. G., Gourshettiwar, P., & Puri, C. (2024). A Review on the Role of IoT in Smart Agriculture with Reference to Efficiency, Sustainability and Precision Farming. 2024 5th *International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*, 533–537. <https://doi.org/10.1109/ICESC60852.2024.10689999>