



Kapasitas Adopsi Teknologi Pertanian Presisi dan Stabilitas Produktivitas Padi: Studi Komparatif Sistem Sawah Irigasi Intensif dan Sawah Tadah Hujan di Indonesia

Maemunah¹

¹University of Banten; Email: maemunah@unair.ac.id

***Corresponding Author:** maemunah@unair.ac.id

Citation: Aziz (2026). The Title of Article (Book Antiqua 14pt Bold). *Journal of Advanced Studies in Linguistics and Language Science*, 10(4), xx–xx. <https://doi.org/0000-0000>

Published: 04/05/2026

ABSTRACT

This article examines how differences in agroecological conditions and institutional capacity shape the adoption of precision agriculture technologies among rice farmers in irrigated and rainfed rice systems in Indonesia. The study uses a comparative case-study design based on secondary agricultural statistics, policy documents, climate-risk reports, and scholarly literature. The comparison focuses on irrigated rice systems, represented by major lowland rice production areas, and rainfed rice systems, represented by drought-prone rice landscapes. The article argues that precision agriculture adoption cannot be explained solely by technology availability. Rather, adoption outcomes are mediated by irrigation reliability, farmer organization, extension quality, input access, and the ability to convert digital information into operational farm decisions. The findings show that irrigated systems offer stronger conditions for yield stabilization because water control enables farmers to synchronize planting, fertilizer application, pest monitoring, and harvesting. Conversely, rainfed systems face higher climate exposure and greater uncertainty, making digital tools useful but insufficient without collective water governance and adaptive extension. The novelty of this article lies in integrating adoption theory, agroecological risk, and institutional capacity into a comparative framework for explaining uneven technological transformation in rice farming. The study contributes to agricultural sciences by proposing an institutional-agroecological model of precision agriculture adoption.

Keywords: precision agriculture; rice farming; irrigation; rainfed agriculture; institutional capacity; Indonesia

INTRODUCTION

Produksi pangan global berada dalam tekanan simultan akibat perubahan iklim, degradasi sumber daya alam, volatilitas harga input, serta meningkatnya kebutuhan pangan populasi dunia (FAO, 2023; IPCC, 2023). Dalam konteks tersebut, padi tetap menjadi komoditas strategis bagi negara-negara Asia karena berperan langsung terhadap ketahanan pangan, pendapatan petani, dan stabilitas sosial ekonomi pedesaan. Di Indonesia, padi menempati posisi sentral dalam sistem pangan nasional. Luas panen padi pada 2024 mencapai sekitar 10,05 juta hektare dengan produksi 53,14 juta ton gabah kering giling, sedangkan produksi beras untuk konsumsi pangan penduduk mencapai 30,62 juta ton (BPS, 2025). Namun, penurunan luas panen sebesar 1,64 persen dan produksi sebesar 1,55 persen dibandingkan 2023 menunjukkan bahwa persoalan produktivitas tidak semata terkait teknologi, tetapi juga berkaitan dengan iklim, tata kelola air, akses input, dan kapasitas kelembagaan petani (BPS, 2025; Kementerian Pertanian, 2025).

Pertanian presisi sering diposisikan sebagai jalan keluar untuk meningkatkan efisiensi input dan produktivitas melalui penggunaan sensor, citra satelit, pemetaan lahan, aplikasi rekomendasi pupuk, sistem informasi cuaca, dan platform digital pertanian. Literatur adopsi inovasi menjelaskan bahwa teknologi akan diadopsi ketika petani menilai teknologi tersebut memiliki keuntungan relatif, kompatibilitas, kemudahan penggunaan, dan dapat diuji dalam konteks lokal (Rogers, 2003). Namun, dalam sistem pertanian kecil, keputusan adopsi tidak dapat dilepaskan dari risiko produksi, kapasitas finansial, kualitas penyuluhan, dan stabilitas pasar (Feder et al., 1985; Barrett et al., 2022). Dengan demikian, adopsi teknologi pertanian presisi bukan proses linier dari penyediaan aplikasi menuju peningkatan produktivitas, melainkan proses sosial-teknis yang bergantung pada ekologi, institusi, dan kemampuan petani mengelola risiko.

Studi-studi terdahulu menunjukkan hasil yang beragam. Wolfert et al. (2017) menekankan bahwa digitalisasi agrifood system berpotensi meningkatkan efisiensi produksi melalui integrasi data, sensor, dan pengambilan keputusan berbasis informasi. Lowenberg-DeBoer dan Erickson (2019) menunjukkan bahwa manfaat ekonomi pertanian presisi lebih mudah terlihat pada sistem pertanian skala besar dibandingkan petani kecil karena adanya hambatan biaya, keterampilan, dan skala ekonomi. Sementara itu, Klerkx et al. (2019) menegaskan bahwa transformasi digital pertanian memerlukan ekosistem inovasi yang melibatkan penyuluh, perusahaan teknologi, lembaga riset, pemerintah, dan organisasi petani. Studi lain pada pertanian kecil di Asia menunjukkan bahwa informasi digital hanya efektif ketika didukung oleh penyuluhan kontekstual dan kelembagaan lokal yang dapat menerjemahkan data menjadi praktik budidaya (Aker, 2011; Fabregas et al., 2019).

Namun, literatur tersebut masih memiliki tiga keterbatasan. Pertama, sebagian besar studi adopsi teknologi presisi menempatkan petani sebagai unit keputusan individual, sementara pada sistem padi Indonesia, keputusan tanam, distribusi air, dan pengendalian hama sering bersifat kolektif melalui kelompok tani dan perkumpulan petani pemakai air. Kedua, kajian digitalisasi pertanian sering belum membedakan secara tajam antara sistem sawah irigasi intensif dan sawah tadah hujan, padahal reliabilitas air menentukan kemampuan petani memanfaatkan rekomendasi digital. Ketiga, studi empiris tentang pertanian presisi

cenderung menekankan efisiensi input, tetapi belum cukup menjelaskan bagaimana kapasitas kelembagaan memediasi hubungan antara informasi digital, koordinasi budidaya, dan stabilitas produktivitas.

Kebaruan artikel ini terletak pada pengembangan kerangka komparatif yang menghubungkan kapasitas adopsi teknologi, tata kelola air, dan stabilitas produktivitas padi. Studi ini menawarkan model bahwa **kapasitas adopsi → penggunaan teknologi → koordinasi budidaya → stabilitas produktivitas** hanya berjalan efektif ketika didukung oleh kelembagaan lokal dan infrastruktur agroekologis yang memadai. Artikel ini berkontribusi pada agricultural sciences dengan memperluas teori adopsi inovasi dari pendekatan individual menuju pendekatan institusional-agroekologis.

Penelitian ini bertujuan menganalisis bagaimana perbedaan antara sistem sawah irigasi intensif dan sawah tadah hujan membentuk adopsi teknologi pertanian presisi dan dampaknya terhadap stabilitas produktivitas padi. Secara khusus, artikel ini menjawab tiga pertanyaan: bagaimana perbedaan infrastruktur air memengaruhi kapasitas adopsi teknologi; bagaimana kelembagaan petani memediasi penggunaan informasi digital; dan bagaimana perbedaan konteks agroekologis menghasilkan outcome produktivitas yang berbeda.

METHODOLOGY

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-komparatif berbasis data sekunder. Desain yang digunakan adalah studi kasus komparatif antara dua tipe agroekosistem padi: sawah irigasi intensif dan sawah tadah hujan. Pemilihan kasus didasarkan pada perbedaan reliabilitas air, struktur kelembagaan, dan tingkat eksposur risiko iklim. Unit analisis adalah sistem produksi padi, bukan individu petani.

Data dikumpulkan dari statistik produksi padi, dokumen kebijakan pertanian, laporan perubahan iklim, laporan pembangunan pertanian, serta artikel ilmiah tentang adopsi inovasi dan digitalisasi pertanian. Data utama mencakup luas panen, produksi, tren produktivitas nasional, risiko iklim, dan kebijakan transformasi pertanian digital. Analisis dilakukan dengan metode pattern matching, yaitu membandingkan pola empiris antar-kasus dengan kerangka teori adopsi inovasi dan kapasitas kelembagaan. Validasi dilakukan melalui triangulasi sumber antara BPS, Kementerian Pertanian, FAO, IPCC, World Bank, dan literatur jurnal. Batasan penelitian ini adalah tidak menggunakan survei primer sehingga klaim kausal bersifat analitis-inferensial, bukan estimasi ekonometrik.

RESULTS & DISCUSSION

1.1 Perbedaan Agroekologis dan Kapasitas Mengubah Informasi Digital Menjadi Keputusan Budidaya

Temuan utama menunjukkan bahwa perbedaan agroekologis menentukan efektivitas informasi digital dalam praktik budidaya padi. Pada sistem sawah irigasi intensif, rekomendasi digital mengenai waktu tanam, kebutuhan air, pupuk, dan pengendalian hama lebih mudah dioperasionalkan karena petani memiliki akses relatif stabil terhadap air. Dalam sistem ini, teknologi presisi berfungsi sebagai instrumen penguatan koordinasi budidaya. Informasi cuaca dan rekomendasi pemupukan dapat disesuaikan dengan jadwal tanam

yang lebih terkontrol.

Sebaliknya, pada sawah tadah hujan, informasi digital sering berhadapan dengan ketidakpastian ekologis yang lebih besar. Rekomendasi berbasis aplikasi mengenai waktu tanam atau dosis pupuk tidak selalu dapat dilaksanakan jika curah hujan bergeser atau ketersediaan air tidak memadai. Kondisi ini menunjukkan bahwa teknologi digital memiliki nilai prediktif, tetapi nilai operasionalnya bergantung pada kemampuan petani mengendalikan variabel dasar produksi, terutama air.

Temuan ini memperluas teori adopsi inovasi Rogers (2003). Keuntungan relatif teknologi tidak hanya ditentukan oleh karakteristik teknologi, tetapi juga oleh kompatibilitas teknologi dengan ekologi produksi. Dalam sistem irigasi, kompatibilitas lebih tinggi karena lingkungan produksi relatif dapat dikendalikan. Dalam sistem tadah hujan, kompatibilitas lebih rendah karena petani menghadapi ketidakpastian air. Dengan demikian, perbedaan outcome adopsi bukan semata akibat literasi digital, melainkan karena perbedaan kemampuan sistem pertanian mengubah informasi menjadi tindakan.

1.2 Kelembagaan Petani sebagai Mediator Adopsi Teknologi

Kapasitas kelembagaan petani menjadi faktor pembeda kedua. Pada sistem irigasi intensif, keberadaan kelompok tani dan lembaga pengelola air memungkinkan koordinasi tanam, distribusi air, dan pengendalian hama lebih sinkron. Teknologi digital dalam konteks ini tidak berdiri sendiri, tetapi melekat dalam praktik kelembagaan. Informasi mengenai cuaca, hama, atau pupuk dapat disebarkan melalui kelompok tani dan diverifikasi oleh penyuluh.

Pada sistem tadah hujan, kelembagaan petani sering menghadapi keterbatasan karena keputusan budidaya lebih dipengaruhi oleh kondisi curah hujan yang tidak pasti. Petani dapat menerima informasi digital yang sama, tetapi tidak memiliki kapasitas kolektif yang sama untuk mengoordinasikan respons. Akibatnya, manfaat teknologi menjadi lebih individual dan kurang menghasilkan efek sistemik terhadap stabilitas produktivitas.

Temuan ini sejalan dengan Klerkx et al. (2019), yang menekankan pentingnya ekosistem inovasi dalam digitalisasi pertanian. Namun, artikel ini menambahkan bahwa ekosistem inovasi perlu dibaca secara agroekologis. Kelembagaan bukan hanya saluran penyebaran teknologi, melainkan mekanisme kolektif untuk mengurangi risiko produksi. Dengan demikian, kualitas kelembagaan menentukan apakah teknologi presisi menjadi alat transformasi sistemik atau sekadar perangkat informasi individual.

1.3 Efisiensi Input, Risiko Iklim, dan Stabilitas Produktivitas

Data nasional menunjukkan bahwa produksi padi Indonesia masih besar tetapi mengalami tekanan luas panen dan produksi pada 2024 (BPS, 2025). Dalam konteks perubahan iklim, tekanan tersebut dapat meningkat karena anomali curah hujan, kekeringan, banjir, dan pergeseran musim tanam (IPCC, 2023). Teknologi presisi dapat membantu efisiensi input melalui rekomendasi pemupukan dan pengendalian hama, tetapi efektivitasnya ditentukan oleh ketepatan waktu aplikasi input.

Pada sistem irigasi, efisiensi input lebih mudah dicapai karena petani dapat menyesuaikan aplikasi pupuk dengan fase pertumbuhan tanaman. Pada sistem tadah hujan, risiko keterlambatan hujan dapat menyebabkan rekomendasi pemupukan tidak optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa efisiensi input bukan hanya persoalan dosis, tetapi juga sinkronisasi antara input, air, dan kalender tanam.

Secara teoritis, temuan ini memperluas pendekatan input-output dalam produktivitas pertanian. Produktivitas tidak hanya dihasilkan oleh jumlah input, tetapi oleh kesesuaian temporal antara input dan kondisi ekologis. Dengan demikian, pertanian presisi harus dipahami sebagai sistem pengambilan keputusan berbasis waktu, bukan hanya sistem informasi.

1.4 Tabel Analitis Bukti Empiris

Variabel	Temuan Empiris	Bukti Data/Kutipan	Interpretasi Analitis
Reliabilitas air	Sistem irigasi lebih mampu mengubah rekomendasi digital menjadi tindakan budidaya	Produksi padi nasional 2024 mencapai 53,14 juta ton GKG, tetapi turun dibanding 2023 (BPS, 2025)	Stabilitas air menentukan apakah teknologi presisi dapat meningkatkan efisiensi
Kelembagaan petani	Kelompok tani dan lembaga air memperkuat koordinasi adopsi	Dokumen kebijakan pertanian menekankan penyuluhan dan kelembagaan sebagai prasyarat transformasi (Kementerian Pertanian, 2025)	Teknologi efektif ketika dilembagakan dalam keputusan kolektif
Risiko iklim	Sawah tadah hujan lebih rentan terhadap pergeseran musim	Perubahan iklim meningkatkan risiko produksi pangan (IPCC, 2023)	Adopsi teknologi perlu dikombinasikan dengan adaptasi agroekologis
Efisiensi input	Rekomendasi pupuk bergantung pada ketepatan waktu aplikasi	Efisiensi input menjadi agenda utama transformasi pertanian (FAO, 2023)	Efisiensi bukan hanya dosis, tetapi sinkronisasi input-air-waktu

(2024).

1.5 Model Konseptual

Model yang diajukan artikel ini adalah:

Kapasitas Kelembagaan → Penggunaan Teknologi Presisi → Koordinasi Budidaya → Efisiensi Input → Stabilitas Produktivitas Padi

Model ini menegaskan bahwa teknologi presisi tidak secara otomatis meningkatkan produktivitas. Teknologi menghasilkan outcome ketika dipadukan dengan kelembagaan lokal, infrastruktur air, dan penyuluhan adaptif.

CONCLUSION

Artikel ini menunjukkan bahwa adopsi teknologi pertanian presisi pada sistem padi Indonesia perlu dipahami melalui interaksi antara teknologi, agroekologi, dan kelembagaan. Perbandingan antara sawah irigasi intensif dan sawah tadah hujan memperlihatkan bahwa ketersediaan teknologi digital tidak cukup untuk menjamin stabilitas produktivitas. Pada sistem irigasi, informasi digital lebih mudah diterjemahkan menjadi keputusan budidaya karena petani memiliki kontrol lebih kuat terhadap air, waktu tanam, dan aplikasi input. Pada sistem tadah hujan, teknologi digital menghadapi batas struktural berupa ketidakpastian curah hujan dan lemahnya kapasitas koordinasi.

Secara teoritis, artikel ini berkontribusi dengan memperluas teori adopsi inovasi ke arah model institusional-agroekologis. Secara praktis, temuan menunjukkan bahwa program digitalisasi pertanian perlu dibedakan menurut tipe agroekosistem. Kebijakan pertanian presisi tidak cukup berfokus pada aplikasi, sensor, atau data, tetapi harus memperkuat penyuluhan, kelembagaan petani, tata kelola air, dan literasi data. Pemerintah perlu mengintegrasikan investasi digital dengan rehabilitasi irigasi, penguatan kelompok tani, dan layanan iklim lokal. Dengan demikian, transformasi digital pertanian dapat menjadi instrumen peningkatan produktivitas sekaligus pengurangan risiko iklim.

REFERENCES

- Aker, J. C. (2011). Dial “A” for agriculture: A review of information and communication technologies for agricultural extension in developing countries. *Agricultural Economics*, 42(6), 631–647.
- Barrett, C. B., Benton, T. G., Cooper, K. A., et al. (2022). Bundling innovations to transform agri-food systems. *Nature Sustainability*, 5, 1–13.
- BPS. (2025). Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2024. Badan Pusat Statistik.
- FAO. (2023). The State of Food and Agriculture 2023. Food and Agriculture Organization.
- Fabregas, R., Kremer, M., & Schilbach, F. (2019). Realizing the potential of digital development. *Science*,

366(6471), eaay3038.

- Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2), 255–298.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kementerian Pertanian. (2025). *Statistik Makro Sektor Pertanian 2025*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315.
- Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. (2019). Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111(4), 1552–1569.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations*. Free Press.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
- World Bank. (2024). *Indonesia Agriculture and Climate Resilience Report*. World Bank.

