

Analisis Dampak Rehabilitasi Jaringan Irigasi Tersier Terhadap Produktivitas Padi: Pendekatan *Generalized Propensity Score Matching*

Danan Perri Sandria^{1*} dan Riyanto²

¹Magister Perencanaan Ekonomi dan Kebijakan Pembangunan,
Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia

²Lembaga Penelitian Ekonomi dan Masyarakat,
Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia

*Alamat korespondensi: danansandria@gmail.com

INFO ARTIKEL

Diterima: 30-10-2025
Direvisi: 08-03-2026
Dipublikasi: 04-05-2026

ABSTRACT/ABSTRAK

Assessing the impact of tertiary irrigation rehabilitation on rice yields: a generalized propensity score matching approach

Keywords:
Agricultural policy;
Causal inference; Food
security; Irrigation
investment;
Productivity analysis

Improving irrigation efficiency was pivotal to Indonesia's strategy for achieving sustainable rice self-sufficiency and food security. However, the real-world impact of tertiary irrigation network (JIT) rehabilitation had remained largely unquantified. This study evaluated the program at the provincial level using a decade-long panel dataset (2013–2023) and a rigorous methodological framework that integrated the Fixed Effects Model (FEM) with Generalized Propensity Score Matching (GPSM) to address selection bias in continuous treatments. The results showed that the extent of tertiary irrigation network (JIT) rehabilitation had a significant positive effect on rice productivity. Nevertheless, its effectiveness was uneven across regions. Provinces with stronger complementary inputs, sufficient labor availability, better mechanization, reservoir development, and access to agricultural credit experienced greater productivity gains, while resource-constrained regions exhibited limited effects. These findings indicated that JIT rehabilitation was not a standalone policy instrument but a strategic catalyst that yielded the highest returns when integrated with broader agricultural development programs. The study provided evidence-based insights for prioritizing rehabilitation investments, aligning them with regional readiness, and formulating adaptive, context-specific interventions. Such an approach was expected to accelerate Indonesia's progress toward resilient rice production systems and support the national vision of becoming a global food granary by 2045.

Kata Kunci:
Analisis produktivitas,
Inferensi kausal;
Investasi irigasi;
Keamanan pangan;
Kebijakan pertanian

Peningkatan efisiensi irigasi merupakan bagian penting dari strategi Indonesia untuk mencapai swasembada beras yang berkelanjutan dan ketahanan pangan nasional. Namun, dampak nyata dari rehabilitasi jaringan irigasi tersier (JIT) belum banyak terkuantifikasi secara empiris. Penelitian ini mengevaluasi program tersebut pada tingkat provinsi dengan menggunakan data panel selama satu dekade (2013–2023) dan kerangka metodologi yang mengintegrasikan *Fixed Effects Model* (FEM) dengan *Generalized Propensity Score Matching* (GPSM) untuk mengatasi bias seleksi pada perlakuan kontinu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah rehabilitasi JIT berpengaruh positif secara signifikan terhadap produktivitas padi. Meskipun demikian, efektivitas program rehabilitasi JIT bervariasi antarwilayah. Provinsi dengan dukungan *input* pelengkap yang lebih kuat, ketersediaan tenaga kerja yang memadai,

tingkat mekanisasi yang lebih baik, pembangunan embung, serta akses terhadap kredit pertanian mengalami peningkatan produktivitas yang lebih besar, sedangkan wilayah dengan keterbatasan sumber daya menunjukkan dampak yang lebih terbatas. Temuan ini menunjukkan bahwa rehabilitasi JIT bukan merupakan instrumen kebijakan yang berdiri sendiri, melainkan upaya yang memberikan hasil tertinggi ketika diintegrasikan dengan program pembangunan pertanian yang lain. Penelitian ini memberikan bukti empiris untuk memandu prioritas investasi rehabilitasi, menyesuaikannya dengan kesiapan regional, serta merancang intervensi adaptif dan kontekstual yang dapat mempercepat kemajuan Indonesia menuju sistem produksi padi yang tangguh serta mendukung visi nasional sebagai Lumbung Pangan Dunia 2045.

PENDAHULUAN

Ketersediaan air merupakan faktor utama dalam produksi komoditas pertanian, khususnya pada komoditas padi yang membutuhkan pasokan air lebih banyak dibanding tanaman pangan lain. Infrastruktur irigasi yang dikelola dengan baik tidak hanya menjaga kelancaran distribusi air, tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi risiko gagal panen akibat kekeringan (Darko *et al.*, 2016). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa produktivitas padi pada lahan irigasi dapat mencapai 63 persen dari potensi hasil, sedangkan pada lahan tadah hujan hanya sekitar 52 persen meskipun telah menggunakan teknologi intensif (Agus *et al.*, 2019; Erythrina *et al.*, 2021). Hal ini menegaskan peran krusial infrastruktur irigasi dalam meningkatkan produktivitas padi.

Dalam konteks Indonesia, sektor pertanian berkontribusi sebesar 8,94 persen terhadap PDB (Produk Domestik Bruto) pada tahun 2023 (Kementerian Pertanian, 2024a) dan menyerap 35,91 juta tenaga kerja atau 26,54 persen dari total angkatan kerja nasional (Kementerian Pertanian, 2023a). Padi sebagai pangan pokok mayoritas penduduk menjadi komoditas strategis dalam menjaga ketahanan pangan nasional (Tirtalistyani *et al.*, 2022). Rata-rata produktivitas padi Indonesia selama periode 2013–2023 mencapai 5,18 ton/ha, lebih tinggi dari rata-rata dunia (4,02 ton/ha), tetapi masih tertinggal dari Vietnam (5,81 ton/ha) dan jauh di bawah Australia (10,01 ton/ha) (Food and Agriculture Organization, 2025; World Bank, 2025). Perbedaan produktivitas ini banyak dipengaruhi oleh efektivitas pengelolaan irigasi, penggunaan varietas unggul, dan penerapan teknologi budidaya.

Perbedaan produktivitas juga terlihat antarwilayah di Indonesia. Provinsi-provinsi di Pulau Jawa seperti Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa

Timur secara konsisten mencatat produktivitas tertinggi (Supriyatna *et al.*, 2020; Badan Pusat Statistik, 2024), sementara Papua, Maluku, Kalimantan, dan Nusa Tenggara cenderung memiliki produktivitas rendah akibat keterbatasan infrastruktur irigasi, kondisi lahan, serta hambatan kelembagaan (Rosalina & Sukmawati, 2022; Sinaga, 2023).

Sekitar 95 persen produksi beras nasional berasal dari lahan beririgasi, tetapi hanya 15 persen dari total lahan pertanian di Indonesia yang memiliki akses irigasi memadai (Gray, 2022). Lebih dari 46 persen sistem irigasi dalam kondisi rusak karena kurangnya pemeliharaan, sehingga pasokan air tidak stabil dan produktivitas menurun (Gray, 2022). Pemerintah merespons kondisi ini melalui berbagai kebijakan, salah satunya adalah program rehabilitasi jaringan irigasi tersier (JIT) yang dilaksanakan Kementerian Pertanian. Jaringan Irigasi Tersier (JIT) merupakan jaringan paling dekat dengan lahan petani dan menentukan aliran air ke sawah (Tirtalistyani *et al.*, 2022). Kerusakan JIT seringkali menghambat produktivitas karena saluran tergerus, tertutup, atau tidak berfungsi optimal.

Rehabilitasi JIT ditujukan untuk memperbaiki kualitas jaringan, meningkatkan luas tanam, serta menaikkan indeks pertanaman (Kementerian Pertanian, 2023b). Program ini telah dilaksanakan di 32 provinsi pada periode 2013–2023 dengan jumlah yang bervariasi, tetapi distribusinya tidak selalu selaras dengan sentra produksi padi. Misalnya, Papua Barat dan Maluku Utara memperoleh alokasi besar meski produktivitasnya rendah, sedangkan Jawa sebagai sentra produksi padi utama justru menerima jumlah rehabilitasi relatif kecil (Kementerian Pertanian, 2018, 2020, 2024b).

Fenomena ini memunculkan pertanyaan mengenai efektivitas rehabilitasi JIT terhadap peningkatan produktivitas padi. Data historis juga

menunjukkan bahwa tren rehabilitasi tidak selalu berbanding lurus dengan produktivitas. Pada 2015, ketika jumlah rehabilitasi mencapai jumlah tertinggi, produktivitas juga meningkat hingga 5,36 ton/ha (Kementerian Pertanian, 2018; Badan Pusat Statistik, 2024). Namun, pada periode lain, seperti 2021–2023, penurunan jumlah rehabilitasi justru diikuti oleh kenaikan produktivitas padi (Badan Pusat Statistik, 2024; Kementerian Pertanian, 2024b). Ketidakesesuaian pola ini menunjukkan perlunya kajian empiris yang lebih mendalam untuk menilai sejauh mana program rehabilitasi JIT benar-benar berdampak terhadap hasil produksi.

Penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang beragam. Beberapa studi mendapati bahwa investasi irigasi berpengaruh positif signifikan terhadap produktivitas (Dhehibi *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2022), sementara penelitian lain menemukan bahwa dampaknya tidak signifikan (Hadi & Chalil, 2018; Rahman & Connor, 2024). Namun, sebagian besar penelitian tersebut menganalisis infrastruktur irigasi pada tingkat agregat dan belum secara spesifik menyoroti jaringan irigasi tersier yang langsung memengaruhi lahan petani. Penelitian ini berkontribusi dengan mengkaji dampak rehabilitasi JIT pada produktivitas padi di Indonesia dengan unit analisis provinsi.

Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan *Generalized Propensity Score Matching* (GPSM) untuk mengatasi bias seleksi akibat perbedaan karakteristik antarwilayah dan mengukur dampak perlakuan yang bersifat kontinu (Hirano & Imbens, 2004). Pendekatan ini memberikan keunggulan dibanding pendekatan menggunakan analisis regresi konvensional karena memungkinkan pengujian keseimbangan (*balancing test*) karakteristik observasi sehingga hasil estimasi lebih akurat dalam menggambarkan dampak kausal dari rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi.

Berdasarkan uraian latar belakang, terlihat adanya kesenjangan antara jumlah program rehabilitasi JIT dengan capaian produktivitas padi di berbagai wilayah Indonesia. Di satu sisi, rehabilitasi JIT dipandang sebagai instrumen kebijakan penting untuk meningkatkan kinerja irigasi dan produktivitas pertanian. Namun, di sisi lain, tren historis menunjukkan bahwa peningkatan jumlah rehabilitasi JIT tidak selalu diikuti dengan peningkatan produktivitas padi. Hal ini menimbulkan pertanyaan mengenai efektivitas program rehabilitasi JIT sebagai strategi peningkatan produksi pangan nasional.

Kajian empiris mengenai dampak rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi di Indonesia masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada peran irigasi secara umum terhadap produktivitas pertanian, tetapi belum secara spesifik menguji efektivitas rehabilitasi JIT dengan pendekatan kuantitatif yang mampu mengatasi bias seleksi pada data observasional. Penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan literatur tersebut, sekaligus memperkaya kajian empiris di bidang ekonomi pembangunan dan kebijakan pertanian.

Dari sisi kebijakan, urgensi penelitian ini menjadi semakin tinggi mengingat pemerintah Indonesia menargetkan swasembada beras berkelanjutan dan memiliki visi menjadikan Indonesia sebagai Lumbung Pangan Dunia 2045. Rehabilitasi JIT merupakan salah satu program strategis yang didorong secara masif dalam kebijakan tersebut, sehingga evaluasi berbasis bukti terkait dampak program terhadap produktivitas padi akan sangat relevan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Berdasarkan fenomena tersebut, penelitian ini memfokuskan diri pada pertanyaan utama, yaitu: bagaimana dampak program rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi di Indonesia. Sejalan dengan rumusan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak program rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi di Indonesia dan mengidentifikasi variasi dampak rehabilitasi JIT antar wilayah baik di Pulau Jawa maupun luar Jawa.

Manfaat penelitian ini dapat dilihat dari sisi akademis maupun praktis. Dari sisi akademis, penelitian ini memperkaya literatur mengenai hubungan antara infrastruktur irigasi, khususnya jaringan irigasi tersier, dan produktivitas pertanian di Indonesia, serta menawarkan pendekatan metodologis yang lebih kuat melalui GPSM untuk mengatasi bias seleksi dalam penelitian observasional dengan perlakuan bersifat kontinu. Sementara itu, dari sisi praktis, penelitian ini memberikan dasar empiris bagi pemerintah dalam merancang kebijakan rehabilitasi JIT yang lebih efektif, efisien, dan tepat sasaran, sekaligus mendukung pencapaian visi Lumbung Pangan Dunia 2045 melalui penguatan infrastruktur irigasi dan peningkatan produktivitas padi nasional.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada 32 provinsi di Indonesia selama periode 2013–2023, dengan pengecualian DKI Jakarta dan Kepulauan Riau karena

kedua provinsi tersebut tidak memiliki program rehabilitasi JIT pada periode penelitian. Tujuan penelitian adalah untuk mengestimasi dampak program rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi nasional, sekaligus mengeksplorasi faktor-faktor pendukung yang memengaruhi efektivitas program tersebut pada tingkat provinsi.

Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif dengan data panel (*longitudinal*) untuk menangkap variasi antarprovinsi dan antarwaktu. Data yang digunakan bersifat sekunder dan kuantitatif, diperoleh dari Kementerian Pertanian dan Badan Pusat Statistik (BPS). Variabel dependen utama adalah produktivitas padi (ton/hektar). Variabel independen utama adalah jumlah rehabilitasi JIT (unit/hektar), sementara variabel kontrol mencakup jumlah tenaga kerja subsektor pangan (orang/hektar), penyaluran Kredit Usaha Rakyat (KUR) pertanian (miliar Rp/hektar), penyaluran pupuk bersubsidi (Urea dan NPK, dengan satuan ton/hektar), bantuan alat dan mesin pertanian (traktor roda 2, traktor roda 4, dan pompa air, dengan satuan unit/hektar), pembangunan embung pertanian (unit/hektar), serta variabel *dummy* pandemi COVID-19 (2020–2021 = 1, lainnya = 0).

Penelitian ini mengikutsertakan sejumlah variabel kontrol untuk memastikan hubungan antara rehabilitasi JIT dan produktivitas padi dapat diidentifikasi secara akurat. Variabel kontrol tersebut mencakup tenaga kerja sektor pangan (orang) sebagai indikator ketersediaan input tenaga kerja yang juga berperan dalam pelaksanaan rehabilitasi JIT, serta penyaluran Kredit Usaha Rakyat (KUR) sektor pertanian (miliar rupiah) yang mendukung kebutuhan permodalan petani dan mendorong peningkatan kapasitas produksi serta adopsi teknologi

modern (Nwosa, 2021). Selain itu, penyaluran pupuk bersubsidi (ton) yang terdiri dari pupuk Urea dan NPK dimasukkan sebagai variabel mengingat perannya dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas, sementara bantuan alat dan mesin pertanian (alsintan) seperti traktor roda dua, traktor roda empat, dan pompa air digunakan untuk merepresentasikan kontribusi mekanisasi terhadap efisiensi produksi dan distribusi air (Dhehibi et al., 2016; Gao et al., 2022).

Selain itu, pembangunan embung pertanian digunakan sebagai variabel kontrol yang merefleksikan ketersediaan air di tingkat mikro yang lebih relevan dengan sistem irigasi tersier dibandingkan bendungan berskala besar yang beroperasi pada level makro (Redjeningrum et al., 2022). Penelitian ini juga mengakomodasi faktor eksternal dengan memasukkan variabel *dummy* COVID-19, yang bernilai 1 untuk periode pandemi (2020–2021) dan 0 untuk tahun lainnya. Pandemi COVID-19 diketahui memengaruhi berbagai aspek produksi pertanian, mulai dari distribusi sarana produksi, akses pasar, hingga kualitas air irigasi, yang berpotensi mengganggu efektivitas irigasi dan produktivitas padi (Jaacks et al., 2022; Kumar et al., 2023; Mizane et al., 2025).

Analisis dilakukan dalam dua model. Pertama, digunakan model regresi panel *Fixed Effects Model* (FEM) untuk mengestimasi pengaruh rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi dengan mengendalikan heterogenitas tak teramati antarprovinsi (Baltagi, 2010). Estimasi menggunakan *cluster-robust standard errors* pada level provinsi untuk mengatasi heteroskedastisitas dan autokorelasi (Hoechle, 2007). Model dasar ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$\ln_produktivitas_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln_rehabjit_{it} + \beta_2 \ln_naker_{it} + \beta_3 \ln_embung_{it} + \beta_4 \ln_kur_{it} + \beta_5 \ln_traktor2_{it} + \beta_6 \ln_traktor4_{it} + \beta_7 \ln_pompa_{it} + \beta_8 \ln_urea_{it} + \beta_9 \ln_urea_sq_{it} + \beta_{10} \ln_npk_{it} + \beta_{11} \ln_npk_sq_{it} + \beta_{12} covid_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Dalam model ini, $\ln_produktivitas_{it}$ merepresentasikan logaritma natural dari produktivitas padi pada provinsi ke-*i* dan tahun ke-*t*. Variabel $\ln_rehabjit_{it}$ adalah variabel independen utama yang menjadi fokus penelitian, yaitu pelaksanaan rehabilitasi jaringan irigasi tersier. Sementara itu, variabel lainnya berfungsi sebagai variabel kontrol yang mencakup berbagai faktor produksi pertanian seperti jumlah tenaga kerja sektor pangan (\ln_naker_{it}), pembangunan embung pertanian (\ln_embung_{it}), penyaluran KUR pertanian

(\ln_kur_{it}), bantuan alat dan mesin pertanian berupa traktor roda dua dan roda empat ($\ln_traktor2_{it}$ dan $\ln_traktor4_{it}$), serta pompa air (\ln_pompa_{it}).

Selain itu, model juga memasukkan variabel penyaluran pupuk bersubsidi jenis Urea dan NPK (\ln_urea_{it} dan \ln_npk_{it}). Model ini juga memasukkan komponen kuadrat dari pupuk bersubsidi ($\ln_urea_sq_{it}$ dan $\ln_npk_sq_{it}$) untuk menangkap hubungan non-linear, khususnya fenomena *diminishing returns*. Apabila $\beta_8 > 0$ dan $\beta_9 < 0$, maka peningkatan penyaluran pupuk urea

bersubsidi pada dosis rendah masih mampu meningkatkan produktivitas padi. Namun, efek penyaluran urea bersubsidi semakin berkurang seiring peningkatan dosis, bahkan dapat menjadi negatif setelah melewati titik optimal. Hal ini dapat terjadi karena kelebihan nitrogen dari urea dapat menurunkan efisiensi penyerapan unsur hara lain, memicu pertumbuhan vegetatif berlebihan, dan meningkatkan kerentanan terhadap hama atau penyakit (Sharma, 2020). Pola yang sama juga berlaku untuk penyaluran pupuk NPK bersubsidi. Kemudian,

$$\ln_rehabjit_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln_naker_{it} + \beta_2 \ln_embung_{it} + \beta_3 \ln_kur_{it} + \beta_4 \ln_traktor2_{it} + \beta_5 \ln_traktor4_{it} + \beta_6 \ln_pompa_{it} + \beta_7 \ln_urea_{it} + \beta_8 \ln_npk_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Setelah regresi dilakukan, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *pscore* untuk mengukur probabilitas suatu observasi menerima tingkat rehabilitasi JIT pada level tertentu. Dalam penelitian ini, level yang digunakan adalah rata-rata

$$\hat{R}_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\hat{\sigma}^2}(z - \mu)^2\right) \quad (3)$$

Setelah *pscore* dihitung, observasi dikelompokkan berdasarkan nilai *pscore* sehingga terbentuk kelompok-kelompok dengan nilai *pscore* yang serupa.

Kemudian, tahap berikutnya adalah melakukan *balancing test* untuk memastikan bahwa *pscore* dapat menyeimbangkan distribusi kovariat antar kelompok perlakuan. Sebelum melakukan *balancing test*, observasi terlebih dahulu dibagi ke dalam beberapa kelompok perlakuan (K) berdasarkan level rehabilitasi JIT ($\ln_rehabjit$) yang diterima. Kemudian, *balancing test* dilakukan dengan menghitung perbedaan rata-rata kovariat antara

terdapat variabel kontrol berupa *dummy* pandemi COVID-19 (*covid_{it}*) yang bernilai 1 untuk tahun 2020 – 2021 dan 0 untuk tahun lainnya. Sementara itu, ε_{it} merupakan *error term* yang mewakili faktor-faktor acak atau tidak teramati yang memengaruhi produktivitas padi.

Selanjutnya, penelitian ini juga melakukan analisis menggunakan pendekatan GPSM. Metode GPSM diawali dengan estimasi *pscore* melalui regresi dengan model sebagai berikut:

$\ln_rehabjit_{it}$. Perhitungan nilai *pscore* dilakukan menggunakan fungsi densitas probabilitas dari distribusi normal sesuai pendekatan yang dikembangkan oleh Bia dan Mattei (2008) sebagai berikut:

observasi yang berada di kelompok *pscore* (k) yang sama, tetapi dalam kelompok perlakuan (K) yang berbeda.

Setelah melakukan *balancing test*, tahap selanjutnya adalah estimasi hubungan variabel hasil (produktivitas padi), perlakuan (rehabilitasi JIT), kovariat, dan *pscore*. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan fungsi ekspektasi hasil yang bergantung pada tingkat perlakuan dengan dikontrol oleh kovariat dan *pscore*. Model regresi ini mengadaptasi pendekatan Bia dan Mattei (2008) sebagai berikut:

$$\ln_produktivitas_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln_rehabjit_{it} + \beta_2 \ln_rehabjit_{it} * pscore_{it} + \beta_3 pscore_{it} + \beta_4 covid_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Persamaan (4) digunakan untuk menguji pengaruh rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi dengan mempertimbangkan *pscore* sebagai ukuran kecenderungan unit observasi untuk menerima rehabilitasi JIT di level tertentu. Model ini mengadopsi pendekatan Bia dan Mattei (2008) untuk mengestimasi efek perlakuan dan mengatasi potensi bias seleksi dengan memasukkan *pscore* sebagai variabel kontrol.

Dalam persamaan (4), $\ln_produktivitas_{it}$ adalah logaritma natural produktivitas padi di provinsi *i* pada tahun *t*, sedangkan

$\ln_rehabjit_{it}$ merupakan logaritma natural dari jumlah rehabilitasi JIT sebagai variabel independen utama. Nilai *pscore_{it}* adalah *propensity score* yang menggambarkan probabilitas suatu provinsi menerima tingkat perlakuan tertentu berdasarkan karakteristik observabel. Komponen *pscore_{it}* ditambahkan untuk mengontrol langsung pengaruh *pscore* terhadap produktivitas padi.

Interaksi antara $\ln_rehabjit_{it}$ dan *pscore_{it}*, yang direpresentasikan oleh β_2 , digunakan untuk mengakomodasi efek non-linear atau heterogenitas dampak perlakuan, yaitu untuk melihat apakah

pengaruh rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi berbeda tergantung pada nilai *pscore*.

Variabel *covid_{it}* adalah *dummy* yang bernilai 1 pada tahun 2020 dan 2021 (periode pandemi COVID-19) dan 0 untuk tahun lainnya. Variabel ini mengontrol gangguan eksternal yang memengaruhi produktivitas pertanian selama pandemi. Sementara itu, ϵ_{it} adalah komponen kesalahan yang mencerminkan variasi acak lainnya.

Setiap koefisien regresi diinterpretasikan sebagai persentase perubahan produktivitas padi akibat perubahan 1 persen pada variabel terkait. Pendekatan ini memperkenalkan kombinasi FEM dengan GPSM pada konteks irigasi tersier di Indonesia, yang belum banyak dieksplorasi pada penelitian terdahulu. Selain itu, analisis ini mempertimbangkan non-linearitas input pupuk (kuadrat Urea dan NPK) dan dampak eksternal COVID-19 secara simultan, memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap dinamika produktivitas padi di Indonesia. Seluruh tahapan pengolahan dan analisis data dilakukan dengan perangkat lunak STATA versi 18. Transformasi data ke dalam bentuk log natural (ln) menggunakan aplikasi tersebut untuk mencapai keadaan distribusi normal pada data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah rehabilitasi JIT memiliki pengaruh positif terhadap

produktivitas padi di Indonesia, baik berdasarkan estimasi FEM maupun GPSM. Metode GPSM dilakukan untuk memperkuat analisis kausalitas dengan mengurangi potensi bias seleksi yang disebabkan oleh perbedaan karakteristik dari masing-masing provinsi. Metode GPSM memungkinkan perbandingan yang lebih seimbang antar observasi, sehingga hasil estimasi menjadi lebih akurat secara kausal (Zhao & Yang, 2022). Hasil dari regresi untuk kedua model ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**

Analisis Hasil Regresi FEM

Berdasarkan hasil regresi menggunakan FEM, variabel independen utama, yaitu rehabilitasi JIT (*ln_rehabjit*), menunjukkan koefisien positif dan signifikan dengan nilai elastisitas sebesar 0,0308 persen. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan rehabilitasi JIT sebesar 10 persen dapat meningkatkan produktivitas padi sebesar 0,31 persen. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Gao *et al.* (2022) serta Rahman dan Connor (2024) yang menyebutkan bahwa intervensi untuk peningkatan optimalisasi irigasi berdampak pada peningkatan produktivitas padi di Tiongkok dan Bangladesh. Hasil analisis ini juga sesuai dengan teori Cobb-Douglas yang menjelaskan bahwa optimalisasi faktor produksi, dalam konteks ini adalah optimalisasi JIT melalui program rehabilitasi, merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan produksi padi (Blanchard, 2017).

Tabel 1 Hasil Analisis FEM dan GPSM untuk Variabel Dependen: *ln_produkktivitas*

Variabel Independen	FEM		GPSM	
	Koef. Regresi/ Elastisitas	<i>P value</i>	Koef. Regresi/ Elastisitas	<i>P value</i>
<i>ln_rehabjit</i>	0,031	0,004	0,080	0,017
<i>ln_naker</i>	0,125	0,000		
<i>ln_embung</i>	0,008	0,622		
<i>ln_kur</i>	0,023	0,024		
<i>ln_traktor2</i>	0,031	0,031		
<i>ln_traktor4</i>	-0,088	0,008		
<i>ln_pompa</i>	0,015	0,290		
<i>ln_urea</i>	0,071	0,596		
<i>ln_urea_sq</i>	-0,009	0,476		
<i>ln_npk</i>	0,314	0,254		
<i>ln_npk_sq</i>	-0,032	0,211		
<i>covid</i>	-0,030	0,000	-0,007	0,569
<i>pscore</i>			0,009	0,789
<i>ln_rehabjit*pscore</i>			-0,092	0,043
constant	6,576	0,000	8,391	0,000
Observations	350		350	
<i>R</i> ²	0,311		0,057	

Variabel kontrol yang diuji dalam model FEM mendukung relevansi faktor input lain dalam memengaruhi produktivitas padi. Tenaga kerja sektor pangan menunjukkan hubungan positif dan signifikan yang menunjukkan bahwa produksi padi di Indonesia masih mengandalkan jumlah tenaga kerja (Morioka *et al.*, 2024). Selain itu, penyaluran KUR pertanian dan bantuan traktor roda dua juga berdampak positif dan signifikan sejalan dengan temuan Ozdemir (2024) bahwa pembiayaan mikro memperluas akses petani terhadap input produksi, serta Priyanto *et al.* (2023) yang menunjukkan bahwa mekanisasi ringan meningkatkan efisiensi budidaya pada lahan sempit.

Sebaliknya, bantuan traktor roda empat memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap produktivitas padi. Fenomena ini mengindikasikan adanya *mismatch* antara karakteristik lahan sawah Indonesia yang umumnya sempit dengan penggunaan traktor besar (Desrial *et al.*, 2024). Faktor lain yang berkontribusi dalam fenomena ini adalah keterbatasan pelatihan operator serta tingginya biaya operasional traktor besar (Herdiansyah *et al.*, 2023;

Winarno, 2025), yang mengurangi efektivitas teknologi tersebut.

Kemudian, variabel covid juga memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap produktivitas padi yang menunjukkan bahwa gangguan selama masa pandemi dapat menurunkan produktivitas padi. Penelitian Aisyah *et al.* (2023) menunjukkan bahwa produktivitas padi mengalami tekanan akibat pandemi yang memengaruhi ketahanan pangan dan distribusi beras secara nasional.

Analisis Hasil Regresi GPSM

Analisis dimulai dengan melakukan estimasi *pscore* melalui regresi variabel kovariat terhadap variabel perlakuan (ln_rehabjit). Hasil regresi tersebut ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** Nilai rata-rata variabel ln_rehabjit dipilih untuk menjadi titik representasi penghitungan *pscore*. Setelah mengetahui nilai *pscore*, tahap selanjutnya adalah melakukan *balancing test* untuk memastikan bahwa observasi, dengan *pscore* yang mirip, memang memiliki karakteristik yang tidak terlalu berbeda.

Tabel 2 Hasil Analisis Regresi *Pscore* untuk Variabel Dependen: ln_rehabjit

Variabel Independen	Koefisien Regresi/Elastisitas	<i>P value</i>
ln_naker	0,276	0,004
ln_embung	0,018	0,912
ln_kur	-0,288	0,000
ln_traktor2	-0,037	0,654
ln_traktor4	-0,343	0,173
ln_pompa	0,197	0,006
ln_urea	-0,244	0,139
ln_npk	0,345	0,014
constant	-1,536	0,014
Observations	350	
<i>R</i> ²	0,283	

Sebelum melakukan *balancing test*, observasi terlebih dahulu dibagi menjadi 3 kelompok perlakuan (K) yaitu kelompok yang menerima level rehabilitasi JIT rendah (nilai ln_rehabjit sampai dengan 0,27), menengah (nilai ln_rehabjit lebih besar dari 0,27 sampai dengan 0,62), dan tinggi (nilai ln_rehabjit lebih besar dari 0,62) sesuai dengan model penelitian Bia dan Mattei (2008). Kemudian, observasi dibagi lagi ke dalam 7 kelompok kecil (k) berdasarkan nilai *pscore* untuk mengelompokkan observasi yang memiliki kemiripan *pscore*. Pembagian ini dilakukan dengan menggunakan metode kuantil (stratifikasi), di mana sampel dibagi menjadi tujuh bagian yang sama

besar berdasarkan distribusi nilai *pscore*-nya. Penentuan tujuh kelompok ini dipilih karena mampu menghasilkan keseimbangan kovariat (*balancing property*) yang lebih baik dibandingkan jumlah kelompok yang lebih sedikit, sesuai dengan kriteria yang disarankan oleh Bia dan Mattei (2008).

Balancing test dilakukan dengan menghitung perbedaan rata-rata kovariat antara observasi yang berada dalam kelompok *pscore* (k) yang sama tetapi berada di kelompok perlakuan (K) yang berbeda. Jika *balancing test* terpenuhi, maka rata-rata kovariat tidak berbeda secara signifikan antar observasi dengan *pscore* yang sama meskipun level perlakuan

yang diterima berbeda. Penelitian ini menggunakan uji ANOVA untuk melakukan *balancing test* dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3. Setiap *p-value* dalam tabel tersebut menunjukkan apakah terdapat perbedaan nilai rata-rata kovariat yang signifikan secara statistik di antara kelompok perlakuan (K) dalam satu kelompok *pscore* (k).

Tabel 3 menyajikan hasil *balancing test* menggunakan uji ANOVA terhadap variabel kovariat

pada tujuh kelompok *pscore*. Tujuan dari uji ini adalah untuk memastikan bahwa distribusi kovariat relatif seimbang antar kelompok perlakuan. Dalam konteks penelitian ini, keseimbangan data merupakan hal penting agar estimasi pengaruh rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi tidak bias akibat perbedaan karakteristik awal antar observasi.

Tabel 3 Nilai *p-value* ANOVA Hasil *Balancing Test*

Variabel	Kel. <i>Pscore</i> 1	Kel. <i>Pscore</i> 2	Kel. <i>Pscore</i> 3	Kel. <i>Pscore</i> 4	Kel. <i>Pscore</i> 5	Kel. <i>Pscore</i> 6	Kel. <i>Pscore</i> 7
ln_naker	0.0454	0.0731	0.1919	0.7241	0.2879	0.4531	0.4852
ln_embung	0.1423	0.0094	0.1040	0.0677	0.2172	0.0692	0.0744
ln_kur	0.0193	0.0922	0.7476	0.0067	0.3659	0.0559	0.7767
ln_traktor2	0.2434	0.0053	0.7357	0.0277	0.9257	0.3820	0.0595
ln_traktor4	0.8061	0.0530	0.8897	0.6639	0.9102	0.7939	0.1308
ln_pompa	0.2628	0.0083	0.7128	0.2234	0.7764	0.9574	0.1622
ln_urea	0.0701	0.0268	0.1197	0.3724	0.9716	0.8190	0.3144
ln_npk	0.4929	0.6028	0.0008	0.5258	0.7591	0.6165	0.3984

Keterangan: Nilai-nilai yang cetak tebal menandakan terdapat perbedaan signifikan pada nilai rata-rata variabel antar kelompok perlakuan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa 84 persen variabel memiliki nilai *p-value* di atas 0,05, yang berarti tidak terdapat perbedaan signifikan antar kelompok perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses penyesuaian menggunakan *pscore* berhasil meningkatkan keseimbangan distribusi kovariat. Namun, enam variabel masih menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok, ditandai dengan nilai *p-value* < 0,05. Variabel yang termasuk dalam kategori ini antara lain ln_naker pada kelompok *pscore* 1, ln_embung pada *pscore* 2, ln_kur pada *pscore* 1 dan *pscore* 4, ln_traktor2 pada *pscore* 2 dan *pscore* 4, ln_pompa pada *pscore* 2, serta ln_npk pada *pscore* 3.

Selanjutnya, pengaruh rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi diestimasi melalui regresi panel antara variabel perlakuan (rehabilitasi JIT), kontrol, *pscore*, dan variabel hasil (produktivitas padi). Hasil dari regresi pada tahap ini ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** Berdasarkan hasil regresi menggunakan GPSM, variabel rehabilitasi JIT (ln_rehabjit), menunjukkan koefisien positif dan signifikan dengan nilai elastisitas sebesar 0,0800 persen. Interpretasi dari hasil ini adalah peningkatan jumlah rehabilitasi JIT sebesar 10 persen dapat meningkatkan produktivitas padi sebesar 0,80 persen.

Variabel *dummy* pandemi COVID-19 (covid) dan *pscore* tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap produktivitas padi secara statistik. Namun, *propensity score (pscore)* dapat digunakan sebagai pengendali bias seleksi dalam analisis dampak program. Kemudian, variabel interaksi rehabilitasi JIT dan *pscore* (ln_rehabjit**pscore*) digunakan untuk mengidentifikasi apakah pengaruh jumlah rehabilitasi JIT (ln_rehabjit) terhadap produktivitas padi berbeda tergantung pada nilai *pscore*.

Koefisien regresi interaksi antara rehabilitasi JIT dan *pscore* bernilai negatif signifikan (-0,0915), yang menunjukkan bahwa efektivitas rehabilitasi JIT lebih besar di wilayah dengan *pscore* rendah. Wilayah ini umumnya memiliki ketersediaan input pertanian yang lebih memadai, termasuk tenaga kerja, embung, alsintan, dan akses pembiayaan, sehingga dampak rehabilitasi JIT lebih cepat termanfaatkan. Sebaliknya, di wilayah dengan *pscore* tinggi yang cenderung memiliki keterbatasan input, dampak rehabilitasi JIT menjadi lebih kecil.

Kondisi tersebut dapat dianalisis lebih lanjut dengan melihat nilai rata-rata variabel kovariat di setiap kelompok *pscore* Tabel 4. Berdasarkan distribusi nilai rata-rata variabel kovariat per kelompok *pscore*, terlihat bahwa wilayah dengan nilai *pscore* tinggi (lebih dari 0,7) memiliki ketersediaan input pertanian yang lebih rendah.

Kelompok *pscore* 7, yang merepresentasikan observasi dengan nilai *pscore* tinggi (1,006 s.d. 1,017), memiliki rata-rata jumlah tenaga kerja, bantuan pembangunan embung, bantuan alsintan, dan penyaluran KUR pertanian yang lebih rendah dibandingkan kelompok *pscore* 1. Hal ini

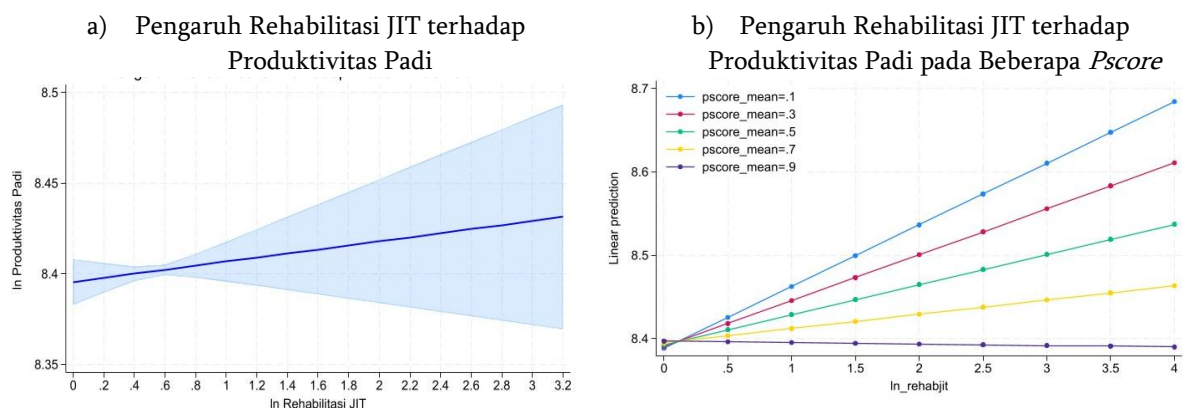
mengindikasikan wilayah dengan keterbatasan input produksi memerlukan intervensi tambahan selain dari bantuan rehabilitasi JIT untuk meningkatkan produktivitas padi, seperti bantuan alsintan, penyaluran KUR pertanian, dan bantuan pembangunan embung pertanian yang lebih tinggi.

Tabel 4 Nilai Rata-rata Kovariat Berdasarkan Kelompok *Pscore*

Kel. <i>pscore</i>	ln_naker	ln_embung	ln_kur	ln_traktor2	ln_traktor4	ln_pompa	ln_urea	ln_npk
1	7,80	0,25	2,10	1,23	0,30	1,19	5,24	5,53
2	7,15	0,17	1,60	0,93	0,23	0,90	5,16	5,23
3	7,05	0,10	1,68	1,05	0,28	0,94	5,35	5,23
4	7,09	0,15	1,60	0,81	0,16	0,70	5,46	5,40
5	7,03	0,17	1,27	0,81	0,16	0,71	5,48	5,29
6	7,00	0,13	1,18	0,83	0,16	0,69	5,52	5,22
7	6,94	0,13	1,10	0,88	0,18	0,66	5,50	5,26

Kemudian, hasil analisis yang menunjukkan bahwa pelaksanaan rehabilitasi JIT berpengaruh positif terhadap produktivitas padi juga didukung oleh visualisasi dalam Grafik 1. Grafik 1a menunjukkan bahwa rehabilitasi JIT memiliki pengaruh positif terhadap produktivitas padi dalam tingkat kepercayaan 95 persen. Rentang bayangan

biru yang semakin melebar ke arah kanan menggambarkan ketidakpastian (variasi estimasi) pada nilai *ln_rehabjit* yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh jumlah observasi dengan tingkat rehabilitasi tinggi cenderung lebih sedikit sehingga prediksi menjadi kurang presisi pada rentang tersebut.



Grafik 1 Visualisasi Grafis Model GPSM

Grafik 1b memperlihatkan efek heterogen rehabilitasi JIT terhadap produktivitas padi berdasarkan jumlah rehabilitasi (*ln_rehabjit*) dan *propensity score* (*pscore*). Hasil prediksi menunjukkan bahwa pengaruh rehabilitasi tidak merata di seluruh wilayah. Pada wilayah dengan nilai *propensity score* rendah hingga menengah (0,1–0,5), peningkatan jumlah rehabilitasi berkorelasi positif dengan produktivitas padi, di mana nilai prediksi meningkat dari sekitar 8,4 menjadi 8,7. Temuan ini mengindikasikan bahwa wilayah dengan ketersediaan infrastruktur pertanian dan input

pendukung yang relatif memadai dapat memperoleh manfaat marginal yang lebih besar dari program rehabilitasi.

Sebaliknya, pada wilayah dengan *propensity score* tinggi ($\geq 0,7$), kemiringan garis prediksi mendekati nol. Pada wilayah ini, tambahan rehabilitasi tidak memberikan peningkatan produktivitas yang berarti karena kendala utama produktivitas berasal dari faktor lain seperti ketersediaan input yang memadai.

Implikasi kebijakan dari temuan ini adalah perlunya pendekatan alokasi sumber daya yang lebih

terarah. Rehabilitasi JIT sebaiknya diprioritaskan di wilayah dengan *propensity score* rendah hingga menengah untuk memaksimalkan dampak produktivitas. Sementara itu, di wilayah dengan *propensity score* tinggi, kebijakan publik dapat lebih difokuskan pada intervensi komplementer, seperti peningkatan efisiensi distribusi air, penerapan teknologi pertanian presisi, atau pemberian insentif untuk inovasi praktik agronomi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa jumlah rehabilitasi jaringan irigasi tersier (JIT) berkontribusi positif terhadap peningkatan produktivitas padi di Indonesia, dengan efektivitas yang berbeda antarwilayah. Temuan baru dari penelitian ini menunjukkan bahwa keberhasilan program tidak hanya ditentukan oleh intervensi fisik, tetapi juga bergantung pada kesiapan faktor input pertanian lain. Program terbukti lebih efektif di wilayah yang memiliki ketersediaan tenaga kerja, alsintan, embung, dan akses pembiayaan yang memadai, sementara di wilayah dengan keterbatasan input, dampak rehabilitasi JIT kurang optimal.

Sebagai rekomendasi, kebijakan rehabilitasi JIT perlu dipadukan dengan intervensi tambahan seperti penyediaan sarana produksi yang sesuai dan peningkatan kapasitas petani agar manfaat program lebih berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung secara pendanaan oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui program beasiswa jenjang magister.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F, JF Andrade, JI Rattalino Edreira, N Deng, DKG Purwantomo, N Agustiani, VE Aristya, SF Batubara, Herniwati, EY Hosang, LY Krisnadi, A Makka, Samijan, N Cenacchi, K Wiebe, & P Grassini, 2019. Yield gaps in intensive rice-maize cropping sequences in the humid tropics of Indonesia. *Field Crops Research*, 237: 12–22
- Aisyah, M, M Syazali, A Machmud, & RN Rachmawati, 2023. Mixed linear model for investigating food security during the covid-19 pandemic: Panel data for rice consumption in Indonesia. *International Journal of Applied Mathematics, Sciences, and Technology for National Defense*, 1: 29–36
- Badan Pusat Statistik, 2024. Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi
- Baltagi, BH, 2010. Fixed Effects and Random Effects BT - *Microeconometrics*. Pages 59–64 in SN Durlauf & LE Blume (eds.). Palgrave Macmillan UK, London
- Bia, M, & A Mattei, 2008. A Stata package for the estimation of the dose-response function through adjustment for the generalized propensity score. *Stata Journal*, 8: 354–373
- Blanchard, O, 2017. *Macroeconomics*, 7th edition. Pearson, Boston
- Darko, RO, S Yuan, L Hong, J Liu, & H Yan, 2016. Irrigation, a productive tool for food security – a review. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 66: 191–206. Taylor & Francis
- Desrial, D, H Muraoka, K Doi, & I Edris, 2024. Cage Wheel Tractive Performance of 4WD Tractor in Paddy Field. *INMATEH Agricultural Engineering*: 401–408
- Dhehibi, B, AA Ibrahim, A El-Shahat, & A-A Hassan, 2016. Impacts of irrigation on agricultural productivity in Egypt. *Annals of Arid Zone*, 55: 67–78
- Erythrina, E, A Anshori, CY Bora, DO Dewi, MS Lestari, MA Mustaha, KE Ramija, AW Rauf, W Mikasari, Y Surdianto, A Suriadi, R Purnamayani, V Darwis, & H Syahbuddin, 2021. Assessing Opportunities to Increase Yield and Profit in Rainfed Lowland Rice Systems in Indonesia
- Food and Agriculture Organization, 2025. Crops and livestock products
- Gao, X, L Ji, AA Chandio, A Gul, MA Twumasi, & F Ahmad, 2022. Towards Sustainable Agriculture in China: Assessing the Robust Role of Green Public Investment. *Sustainability (Switzerland)*, 14: 1–18
- Gray, M, 2022. Indonesia Pioneers Irrigation Service Delivery Innovation
- Hadi, H, & D Chalil, 2018. Effect of Irrigation on the Changes in Wetland Rice Productivity (*Oryza Sativa* L.) due to a Climate Change in North Sumatra Province. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 1: 51–57
- Herdiansyah, H, E Antriyandarti, A Rosyada, NI Arista, TE Soesilo, & N Ernawati, 2023. Evaluation of Conventional and Mechanization Methods towards Precision

Agriculture in Indonesia

- Hirano, K, & GW Imbens, 2004. The propensity score with continuous treatments. Pages 73–84 *Applied Bayesian Modeling And Causal Inference From Incomplete-Data Perspectives*
- Hoechle, D, 2007. Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. *Stata Journal*, 7: 281–312
- Jaacks, LM, N Gupta, J Plage, A Awasthi, D Veluguri, S Rastogi, E Dall’Agnese, G V Ramanjaneyulu, & A Jain, 2022. Impact of the COVID-19 pandemic on agriculture in India: Cross-sectional results from a nationally representative survey. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1: e0000026. Public Library of Science
- Kementerian Pertanian, 2018. *Statistik Prasarana dan Sarana Pertanian Tahun 2013-2017*
- Kementerian Pertanian, 2020. *Statistik Prasarana dan Sarana Pertanian 2015-2019*
- Kementerian Pertanian, 2023a. *Statistik Ketenagakerjaan Sektor Pertanian Tahun 2023: Agustus 2023*
- Kementerian Pertanian, 2023b. *Petunjuk Teknis Rehabilitasi Jaringan Irigasi Tahun Anggaran 2024*.
- Kementerian Pertanian, 2024a. *Statistik Makro Sektor Pertanian 2024*
- Kementerian Pertanian, 2024b. *Statistik Prasarana dan Sarana Pertanian 2019-2023*
- Kumar, SS, P Schreinemachers, AA Pal, R Manickam, RM Nair, R Srinivasan, & J Harris, 2023. The continued effects of COVID-19 on the lives and livelihoods of vegetable farmers in India. *PLOS ONE*, 18: e0279026. Public Library of Science
- Mizane, NEH, B Houha, A Khelifi, N Bettache, & S Ahmed, 2025. Unveiling the impact of the COVID-19 pandemic on water quality: a case study on Ain-Silan and Ain-Karma sources. *Water Supply*, 25: 315–326
- Morioka, M, M Rondhi, & Y Mori, 2024. Effects of Farm Income Diversification and Labor Out-Migration on Rice Household Productivity in Indonesia. *Asian Journal of Agriculture and Development*, 21: 69–84
- Nwosa, PI, 2021. Complement or substitute: Private investment, public expenditure and agricultural productivity in Nigeria. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 16: 181–192
- Ozdemir, D, 2024. Reconsidering agricultural credits and agricultural production nexus from a global perspective. *Food and Energy Security*, 13: 1–13
- Priyanto, MW, AP Pratama, & IY Prasada, 2023. the Effect of Fertilizer and Agricultural Machinery Subsidies on Paddy Productivity: a Feasible Generalized Least Squares Approach. *SEPA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 20: 56
- Rahman, MM, & JD Connor, 2024. Does supplemental irrigation enhance smallholder monsoon season rice yield? Evidence from Bangladesh. *Irrigation and Drainage*, 73: 601–612
- Redjekiningrum, P, B Kartiwa, & Misnawati, 2022. Optimization of Water Utilization through Identification of Distribution and Types of Water Harvest Infrastructure to Increase Agricultural Production, Study Case in Lampung Province. *Agromet*, 36: 60–69
- Rosalina, F, & S Sukmawati, 2022. Soil Fertility Analysis with Soil Microorganism Indicators. *Bioscience*, 6: 121
- Sharma, S, 2020. Impacts of nitrogen on plant disease severity and plant defense mechanism. *Fundamental and Applied Agriculture*, 5: 1
- Sinaga, IL, 2023. Analysis of the Agricultural Potential of Papua Province. *Journal of International Conference Proceedings*, 6: 105–114
- Supriyatna, A, I Carolina, W Widiati, & C Nuraeni, 2020. Rice Productivity Analysis by Province Using K-Means Cluster Algorithm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 771: 12025. IOP Publishing
- Tirtalistyani, R, M Murtiningrum, & RS Kanwar, 2022. Indonesia Rice Irrigation System: Time for Innovation. *Sustainability (Switzerland)*, 14
- Winarno, K, 2025. Unlocking agricultural mechanisation potential in Indonesia: Barriers, drivers, and pathways for sustainable agri-food systems. *Agricultural Systems*, 226: 104305
- World Bank, 2025. Four Countries where Rice is Grown Differently
- Zhao, H, & S Yang, 2022. Outcome-adjusted balance measure for generalized propensity score model selection. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 221: 188–200. Elsevier B.V.

