

HASIL PADI (*Oryza sativa* L.) PADA LAHAN SUB-OPTIMAL AKIBAT PEMBERIAN PUPUK BERBASIS SENSOR

EFFECT OF SENSOR-BASE FERTILIZER ON RICE (*Oryza sativa* L.) YIELD ON SUB-OPTIMAL LAND

Sri Ismiani^{1*}, M. Azhar Mustafid², Wahyudi¹

¹ Program Studi Rekayasa Hayati, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Lombok, Dusun Lilir, Desa Lenek Daya, Kec. Lenek, Lombok Timur 83661, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

² Program studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Jalan Majapahit 83126, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*Korespondensi: sriismiani863@gmail.com

Diterima: 18 Mei 2025/ Direvisi: 30 Mei 2025 / Disetujui: 3 Juli 2025

ABSTRAK

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas utama dalam menjaga ketahanan pangan nasional, namun peningkatan produksinya masih terkendala keterbatasan lahan dan rendahnya efisiensi pemupukan, terutama pada lahan sub-optimal yang memiliki tingkat kesuburan rendah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas pemupukan berbasis sensor terhadap hasil panen dua varietas padi IPB 9G dan padi Gogo pada lahan sub-optimal. Penelitian dilaksanakan di Desa Kembang Kerang Daya, Lombok Timur, menggunakan rancangan acak kelompok petak terbagi dengan dua faktor: dosis pupuk (6 level, termasuk rekomendasi berbasis sensor) sebagai petak utama, dan varietas padi sebagai anak petak, dengan tiga ulangan. Komponen hasil yang diamati meliputi jumlah gabah per malai, persentase gabah isi, bobot 1000 butir, hasil ubinan, dugaan hasil gabah kering panen (GKP), dan gabah kering giling (GKG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan berbasis sensor dengan kombinasi pupuk anorganik, organik, dan hayati menghasilkan performa terbaik pada hampir seluruh peubah hasil, terutama pada varietas IPB 9G. Sistem ini mampu meningkatkan hasil GKG dibandingkan metode pemupukan konvensional. Peningkatan efisiensi agronomi dari pemupukan berbasis sensor 27% lebih tinggi dibandingkan pemupukan konvensional, selaras dengan prinsip pertanian presisi. Simpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan pemupukan berbasis sensor pada lahan sub-optimal berpotensi sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan produktivitas padi dan efisiensi input, khususnya pada wilayah dengan kesuburan tanah rendah.

Kata kunci: NPK, Padi, Pupuk Organik, Sensor, Sub-optimal.

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is a key commodity in maintaining national food security. However, its production increase is still constrained by limited land availability and low fertilization efficiency, particularly in sub-optimal lands with poor soil fertility. This study aimed to evaluate the effectiveness of sensor-based fertilization on the yield of two rice varieties, IPB 9G and Gogo

rice, under sub-optimal conditions. The research was conducted in Kembang Kerang Daya Village, East Lombok, using a split-plot randomized block design with two factors: fertilizer dose (6 levels, including sensor-based recommendations) as the main plot, and rice variety as the subplot, with three replications. Yield components observed included the number of grains per panicle, percentage of filled grains, 1000-grain weight, yield per plot, and estimated yields of harvested dry grain and milled dry grain. The results showed that sensor-based fertilization, combining inorganic, organic, and bio-fertilizers, produced the best performance in nearly all yield parameters, particularly in the IPB 9G variety. This system significantly increased GKG yield compared to conventional fertilization methods. The agronomic efficiency of sensor-based fertilization was 27% higher than conventional fertilization, aligning with the principles of precision agriculture. In conclusion, applying sensor-based fertilization on sub-optimal land presents a promising innovative solution to enhance rice productivity and input efficiency, especially in areas with low soil fertility.

Key words: NPK, Organic fertilizer, Rice, Sensor, Sub-optimal

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas pangan utama di Indonesia dan memegang peran penting dalam menjaga ketahanan pangan nasional. Namun, upaya peningkatan produksi padi masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain terbatasnya luas lahan, metode budidaya yang belum optimal, dan belum meratanya pemanfaatan teknologi pertanian modern (Persaud *et al.*, 2022). Salah satu alternatif pemecahan masalah tersebut ialah melalui perluasan areal panen dengan pemanfaatan lahan sub-optimal (Fuqara & Tanjung, 2023). Lahan ini memiliki potensi strategis untuk pengembangan pertanian pangan ke depan (Qurani & Fawzi, 2022). Namun, karakteristiknya yang khas seperti tingkat keasaman tanah yang tinggi dan rendahnya ketersediaan unsur hara, menjadi kendala utama dalam budidaya tanaman padi (Maftuah *et al.*, 2021). Ketersediaan unsur hara di dalam tanah sangat menentukan pertumbuhan dan hasil tanaman padi.

Rendahnya kandungan hara pada lahan sub-optimal menyebabkan efisiensi

pemupukan menurun yang pada akhirnya berdampak terhadap produktivitas yang tidak maksimal (Irwandhi *et al.*, 2024). Pemupukan konvensional seringkali tidak tepat sasaran sehingga tidak hanya menyebabkan inefisiensi input, tetapi berdampak negatif terhadap lingkungan (Hamid & Tanweer, 2021).

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan teknologi berbasis sensor semakin luas diterapkan dalam sektor pertanian, termasuk untuk deteksi penyakit tanaman, pemantauan kelembaban tanah dan kadar unsur hara tanah (Faqr *et al.*, 2024; Islam *et al.*, 2023; Meshram *et al.*, 2024). Pendekatan ini dikenal dengan pertanian presisi, yang memungkinkan efisiensi penggunaan input secara signifikan (Duguma & Bai, 2025; Sow & Ranjan, 2021).

Beberapa studi telah menunjukkan efektivitas teknologi sensor dalam optimasi pemupukan. Mittermayer *et al.*, (2024) melaporkan bahwa pemupukan berbasis sensor dapat menghasilkan hasil panen dengan efisiensi penggunaan nitrogen hingga 85%. Kimaro *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa penggunaan sensor

genggam NDVI mampu memprediksi hasil panen padi dan mengoptimalkan penggunaan pupuk serta pengelolaan air pada pertanian skala kecil. Selain itu, penelitian oleh Lu *et al.*, (2022) melaporkan bahwa sistem manajemen presisi padi berbasis sensor kanopi secara signifikan meningkatkan hasil gabah sebesar 9,4–13,5% dibandingkan dengan praktik petani konvensional, serta meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen.

Meskipun berbagai studi telah menunjukkan efektivitas pemupukan berbasis sensor dalam meningkatkan hasil panen, penelitian mengenai implementasi teknologi tersebut masih terbatas pada lahan sub-optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pemupukan berbasis sensor terhadap hasil panen padi di lahan sub-optimal. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pengujian pemupukan berbasis sensor yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik, organik, dan hayati secara langsung pada lahan sub-optimal yang masih jarang dieksplorasi dalam konteks pertanian presisi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada lahan sub-optimal Desa Kembang Kerang Daya, Kecamatan Aikmel, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat dengan koordinat 8°32'9.600" LS dan 116°31'48.000" BT. Kondisi geografis lahan percobaan berada pada ketinggian tanah 415 mdpl. Penelitian dilaksanakan dari bulan Juli 2024 sampai Februari 2025. Bahan yang digunakan adalah pupuk Urea dengan dosis 145 kg ha⁻¹ dan 200 kg ha⁻¹, SP-36 (73 kg ha⁻¹ dan 175 kg ha⁻¹), KCl (45,5 kg ha⁻¹ dan 100 kg ha⁻¹), pupuk kandang t ha⁻¹,

Pupuk hayati yang digunakan dalam penelitian ini berupa *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) sebanyak 6000 mL ha⁻¹, yang mengandung mikroorganisme dominan dari genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* dengan populasi minimal 10⁸ CFU mL⁻¹. Mikroorganisme ini berperan dalam meningkatkan ketersediaan hara, merangsang pertumbuhan akar, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik. Penelitian ini menggunakan dua varietas padi, yaitu (1) IPB 9G, varietas unggul hasil pemuliaan dari Institut Pertanian Bogor; (2) padi gogo (padi huma), jenis padi lokal yang ditanam secara tradisional di ladang atau huma oleh masyarakat Suku Baduy di Banten, Indonesia. Padi huma ini dikenal mampu tumbuh pada lahan kering dan sub-optimal serta telah beradaptasi dengan kondisi agroekosistem lokal secara turun-temurun. Alat Penelitian yang digunakan meliputi *RS485 Soil NPK sensor* untuk mengukur kadar nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah dilengkapi dengan *Raspberry Pi Zero 2W* sebagai unit kontrol, cangkul, sprayer, penggaris, kertas label, alat tulis, gelas ukur, timbangan digital, timbangan analitik, dan oven.

Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok petak terbagi (split plot design) dengan 2 faktor perlakuan. Faktor pertama sebagai petak utama adalah dosis pupuk: (a) tanpa pemupukan, (b) NPK, (c) pupuk campuran NPK dan pupuk hayati, (d) pupuk hayati dan pupuk kandang, (e) campuran pupuk NPK, pupuk hayati serta pupuk kandang, dan (f) pemupukan berbasis data sensor unsur hara (campuran pupuk NPK, pupuk hayati serta pupuk kandang). Faktor kedua sebagai anak petak varietas padi (IPB 9G dan Padi Gogo). Setiap

perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga terdapat 36 satuan percobaan.

Pelaksanaan penelitian diawali dengan persiapan lahan yaitu pengolahan tanah hingga gembur dan mencampurkan pupuk organik kotoran sapi dengan dosis rekomendasi yaitu 5 t ha^{-1} . Selanjutnya adalah pembuatan petakan dengan ukuran $2 \times 2 \text{ m}$, benih padi gogo ditanam dengan metode tugal pada kedalaman 2–3 cm, dengan jarak tanam $20 \times 20 \times 50 \text{ cm}$ dan jumlah benih 5–6 benih per lubang tanam. Aplikasi pupuk yang dilakukan 2 kali, pemupukan pertama dilakukan pada 2 minggu setelah tanam (MST) dan pemupukan kedua dilakukan pada 6 MST. Pemeliharaan yang dilakukan berupa penyiraman, penyulaman, penyiangan, dan pengendalian hama dan penyakit.

Pengamatan dilakukan dengan mengambil 5 rumpun sampel per petak, yang diambil secara acak dari populasi tanaman pada setiap petaknya. Komponen hasil yang diamati adalah jumlah gabah per malai, persentase gabah isi, persentase gabah hampa, hasil gabah per rumpun, bobot 1000 butir gabah, hasil ubinan, dan dugaan hasil gabah kering panen (GKP). Pengamatan dihitung saat panen. Jumlah gabah per malai dihitung baik jumlah gabah isi maupun hampa. Persentase gabah isi dihitung menggunakan perbandingan jumlah gabah isi dengan gabah hampa. Bobot 1000 butir diukur dengan cara menimbang 1000 biji padi menggunakan timbangan (Wicaksono *et al.*, 2023). Hasil gabah ubinan (kg) dan dugaan hasil per hektar (t) seluruh petak percobaan. Dugaan hasil per hektar (DHPH) dihitung dengan:

$$\text{DHPH} = \frac{\text{hasil ubinan} \times \text{luas per hektar}}{\text{luas ubinan}}$$

Ditulis dalam bentuk GKP sehingga perlu dikonversi ke bentuk gabah kering giling (GKG) menggunakan rumus $0,8602 \times \text{GKP}$ (Ardiansyah & Tofri, 2019).

Analisis data dilakukan dengan menggunakan software Microsoft Excel dan IBM SPSS 27. Pengaruh perlakuan terhadap variabel yang diamati dilakukan dengan menggunakan metode analisis ragam (ANOVA), jika ditemukan perlakuan yang menunjukkan pengaruh yang nyata dilakukan uji lanjut dengan BNJ pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil observasi awal, analisis sifat kimia tanah menunjukkan bahwa pH H_2O berada pada kisaran masam (Tabel 1). Kandungan karbon organik dan nitrogen total termasuk dalam kategori rendah, sejalan dengan rendahnya kandungan hara makro lain seperti P_2O_5 dan kalsium. Sebaliknya, kapasitas tukar kation (KTK) tergolong tinggi, yang menunjukkan bahwa tanah memiliki kemampuan yang baik dalam menahan dan menyediakan unsur hara dalam jumlah yang tinggi sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Trigunasih & Wiguna, 2022).

Secara keseluruhan, media tanam yang digunakan dapat dikategorikan sebagai kurang subur. Temuan ini mendukung laporan Nurmegawati *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa tanah di lahan kering umumnya memiliki pH antara 5,0 hingga 5,5 dan kandungan unsur hara makro yang rendah.

Data analisis unsur hara tanah sebelum tanam (Tabel 1) menjadi dasar dalam penerapan pemupukan presisi berbasis sensor. Informasi awal mengenai pH dan

kapasitas tukar kation (KTK) digunakan untuk menilai status kesuburan tanah, terutama pada lahan sub-optimal yang diteliti. Berdasarkan hasil tersebut, pendekatan pemupukan disusun dengan

mempertimbangkan kebutuhan aktual tanaman melalui penggunaan sensor hara (NPK) dan disesuaikan dengan kondisi tanah setempat.

Tabel 1. Data analisis unsur hara, Ph dan KTK tanah sebelum tanam

Parameter	Satuan	Nilai	Kriteria
pH (H ₂ O)	-	5,55	Asam
N-total	%	0,11	Rendah
P-total	ppm	5,52	Rendah
K-total	%	1,41	Sangat rendah
C-Organik	%	1,08	Rendah
KTK	cmol/kg	25,27	tinggi

Keterangan : Kriteria kesuburan tanah berdasarkan balittanah (2023)

Pemanfaatan sensor hara memungkinkan penentuan dosis pupuk yang lebih tepat dan efisien, sementara aplikasi pupuk hayati mendukung peningkatan ketersediaan hara melalui aktivitas mikroorganisme tanah. Pupuk hayati berperan penting dalam

meningkatkan ketersediaan hara melalui aktivitas mikroorganisme tanah, seperti pelarut fosfat dan penambat nitrogen, yang secara sinergis mendukung perbaikan kesuburan tanah (Fitriatin *et al.*, 2019).

Tabel 2. Jumlah gabah per malai, bobot 1000 butir gabah, dua varietas padi, diberi pupuk berbagai jenis dan dosis.

Perlakuan	Jumlah gabah per malai	Bobot 1000 butir gabah (g)
Tanpa pupuk	205,63 d	22,91 e
NPK	241,83 bc	26,63 d
NPK + pupuk hayati	242,33 bc	28,32 c
pupuk hayati+pupuk kandang	236,50 c	28,72 c
NPK + pupuk hayati + pupuk kandang	247,50 b	30,15 b
Pupuk berbasis sensor	267,33 a	33,55 a
Varietas		
IPB 9G	223,71 b	25,44 b
Gogo Huma	256,72 a	31,31 a
Interaksi	tn	*

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama dan faktor perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata; *: berbeda signifikan pada taraf 5%; tn: Berbeda tidak nyata.

Penerapan teknologi pemupukan presisi menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap hasil panen padi. Tabel 2 menunjukkan bahwa kombinasi pemupukan berbasis sensor berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap jumlah gabah per malai dan bobot

1.000 butir gabah. Peningkatan kedua komponen hasil ini menunjukkan pola yang konsisten, pemupukan berbasis sensor menghasilkan capaian tertinggi dibandingkan kombinasi pemupukan lainnya. Pemupukan berbasis sensor dapat

meningkatkan jumlah gabah per malai sebesar 30% dan bobot 1000 butir gabah sebesar 47% dibandingkan tanpa pupuk. Pemupukan NPK secara tunggal memberikan peningkatan yang moderat, yaitu sekitar 18% dan 16% untuk masing-masing komponen hasil. Sementara itu, kombinasi NPK, pupuk hayati, dan pupuk kandang memberikan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan pemupukan tunggal, yang mengindikasikan adanya efek sinergis dalam pembentukan komponen hasil. Hasil penelitian ini menegaskan peran penting pemupukan dalam pembentukan komponen hasil padi dan fakta ini sejalan dengan temuan Marti-Jerez *et al.* (2025), yang mengembangkan algoritma pemupukan variabel berbasis sensor dengan integrasi pupuk organik dan mineral untuk meningkatkan efisiensi nitrogen tanpa menurunkan produktivitas.

Varietas padi gogo huma menunjukkan performa agronomis yang lebih tinggi dibandingkan varietas IPB 9G, dengan

jumlah gabah per malai mencapai 256,72 butir dan bobot 1.000 butir sebesar 31,31 g, sedangkan varietas IPB 9G memiliki jumlah gabah per malai 223,71 butir dan bobot 1.000 butir 25,44 g. Keunggulan ini mengindikasikan potensi hasil yang lebih tinggi serta respons yang lebih positif terhadap kombinasi pemupukan. Varietas gogo huma menunjukkan peningkatan bobot yang lebih tinggi dibandingkan varietas IPB 9G pada berbagai kombinasi pemupukan, sementara jumlah gabah per malai relatif seragam di antara kedua varietas tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas pemupukan sangat bergantung pada varietas yang digunakan, sehingga strategi pemupukan sebaiknya disesuaikan dengan karakteristik varietas untuk mendapatkan hasil yang optimal. Hasil penelitian ini mendukung temuan Riyani & Purnamawati (2019), yang melaporkan pengaruh signifikan pemupukan kalium terhadap komponen hasil pada varietas IPB 9G.

Tabel 3. Interaksi antara dosis pupuk dan varietas terhadap persentase gabah hampa dan persentase gabah berisi.

Perlakuan	Persentase gabah hampa (%)		Persentase gabah isi (%)	
	IPB 9G	Gogo huma	IPB 9G	Gogo huma
Tanpa pupuk	35,12 a	35,12 a	64,87 c	78,01 bc
NPK	26,18 b	22,58 b	73,77 bc	80,75 b
NPK + pupuk hayati	25,21 b	21,23 bc	74,71 bc	80,22 b
pupuk hayati+pupuk kandang	22,65 bc	20,68 c	78 ab	77,31 bc
NPK + pupuk hayati + pupuk kandang	22,9 c	21,25 bc	77,15 bc	80,74 b
Pupuk berbasis sensor	19,47 d	18,47 c	80,63 a	82,86 a
	BNJ 5% = 2,61		BNJ 5% = 3,30	

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama dan faktor perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi jenis pupuk berpengaruh signifikan terhadap persentase gabah hampa

dan gabah isi pada kedua varietas padi yang diuji. Varietas IPB 9G dan gogo huma memiliki persentase gabah hampa tertinggi

pada kondisi tanpa pemupukan, masing-masing sebesar 35,12% dan 21,99%, dengan persentase gabah isi hanya mencapai 64,87% (IPB 9G) dan 78,01% (gogo huma). Kondisi ini mencerminkan adanya gangguan dalam proses pengisian biji akibat keterbatasan unsur hara, yang berdampak pada peningkatan jumlah gabah hampa (Sembiring et al., 2021).

Penerapan pupuk berbasis sensor menghasilkan performa terbaik, dengan menurunkan persentase gabah hampa menjadi 19,47% pada IPB 9G dan 18,47% pada gogo huma, serta meningkatkan gabah isi menjadi 80,63% dan 82,86% (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa pemupukan presisi mampu memenuhi kebutuhan hara pada fase pertumbuhan kritis secara optimal, sehingga mendukung proses pengisian gabah. Penambahan pupuk organik juga memberikan kontribusi terhadap perbaikan sifat fisik dan biologis tanah serta meningkatkan ketersediaan unsur mikro yang penting untuk pertumbuhan akar dan efisiensi penyerapan nutrisi (Roussos et al., 2017; Satriawan et al., 2022).

Anisuzzaman et al., (2021) menyatakan bahwa kombinasi pupuk organik dan kimia mampu meningkatkan pertumbuhan, hasil, serta kandungan hara (N, P, K) pada berbagai genotipe padi. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga memperbaiki kesehatan tanah dan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik. Tabel 3 menunjukkan bahwa varietas Gogo Huma memiliki persentase gabah berisi yang lebih tinggi (78,98%) dibandingkan dengan IPB 9G, yang menunjukkan respons yang lebih baik terhadap teknologi pemupukan presisi. Temuan ini konsisten dengan laporan Ali et al. (2025) & Hu et al. (2023) yang

mengemukakan bahwa varietas dengan efisiensi penggunaan nitrogen tinggi lebih adaptif terhadap pendekatan pemupukan berbasis teknologi.

Pemberian kombinasi pupuk berbasis sensor menunjukkan hasil paling optimal di antara seluruh petak percobaan. Aplikasi sensor unsur hara NPK ini mencatat bobot gabah kering per rumpun sebesar 64,83 g, hasil ubinan mencapai 3,10 kg per 4 m², dengan estimasi hasil gabah kering panen (GKP) sebesar 7,76 t ha⁻¹ dan gabah kering giling (GKG) 6,67 t ha⁻¹. Sebaliknya, perlakuan tanpa pupuk memberikan hasil terendah secara signifikan, yaitu 35,91 g/rumpun, 1,75 kg/4 m², GKP 4,38 t ha⁻¹, dan GKG 3,76 t ha⁻¹ (Tabel 4).

Efektivitas pemupukan presisi dalam menyesuaikan kebutuhan nutrisi tanaman secara real-time memperkuat hasil penelitian Kumar et al. (2017) yang menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk sekaligus hasil panen. Di samping itu, pemupukan yang tepat sasaran juga berkontribusi terhadap mitigasi dampak lingkungan akibat pemupukan berlebih (Ali et al., 2025).

Dari sisi varietas, Gogo Huma menunjukkan performa superior dibandingkan IPB 9G. Varietas gogo huma memiliki bobot gabah per rumpun sebesar 66,16 g, hasil ubinan 3,23 kg/4 m², dengan dugaan hasil GKP mencapai 8,08 t ha⁻¹ dan GKG 6,95 t ha⁻¹. Sebaliknya, IPB 9G hanya menghasilkan 35,54 g/rumpun, 1,71 kg/4 m², GKP 4,28 t ha⁻¹, dan GKG 3,68 t ha⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa gogo huma memiliki respons fisiologis yang lebih baik terhadap kombinasi pemupukan serta adaptasi yang lebih kuat terhadap kondisi lingkungan pada lokasi penelitian.

Tabel 4. Pengaruh dosis pupuk dan varietas terhadap hasil gabah kering, hasil ubinan basah, hasil ubinan kering, hasil GKP dan GKG

Perlakuan	Hasil gabah kering (g/rumpun)	Hasil ubinan (kg/4 m ²)	dugaan hasil GKP (t ha ⁻¹)	Dugaan hasil GKG (t ha ⁻¹)
Tanpa pupuk	35,91 c	1,75 c	4,38 c	3,76 c
NPK	50,05 b	2,44 b	6,12 b	5,26 b
NPK + pupuk hayati	53,55 b	2,61 b	6,58 b	5,62 b
Pupuk hayati + pupuk kandang	50,58 b	2,47 b	6,18 b	5,31 b
NPK + pupuk hayati + pupuk kandang	50,22 b	2,45 b	6,14 b	5,27 b
Pupuk berbasis sensor	64,83 a	3,1 a	7,76 a	6,67 a
Varietas				
IPB 9G	35,54 b	1,71 b	4,28 b	3,68 b
Gogo Huma	66,16 a	3,23 b	8,08 a	6,95 a
Interaksi	*	*	*	*

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama dan faktor perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata; *: berbeda signifikan pada taraf 5%; tn: tidak nyata.

Perbedaan respons varietas terhadap pemupukan sejalan dengan laporan Yang *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa perbedaan genetik antar varietas mempengaruhi respons fisiologis tanaman terhadap manajemen nutrisi.

Interaksi signifikan antara perlakuan dan varietas mengindikasikan bahwa gogo huma lebih responsif terhadap pemupukan berbasis sensor dibandingkan IPB 9G. Peningkatan hasil ubinan pada pemupukan berbasis sensor juga menunjukkan peran teknologi presisi dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang kurang optimal serta mendukung peningkatan produktivitas secara menyeluruh (Duguma & Bai, 2025). Temuan ini diperkuat oleh studi Lin *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa pemupukan presisi tidak hanya meningkatkan kuantitas, tetapi juga kualitas hasil panen,

sebagaimana tercermin dari tingginya dugaan hasil GKG pada perlakuan terbaik.

SIMPULAN

1. Pemupukan berbasis sensor yang memanfaatkan *RS485 Soil NPK Sensor* dan *Raspberry Pi Zero 2 W* terbukti efektif dalam meningkatkan hasil tanaman padi di lahan sub-optimal melalui pemberian dosis pupuk yang presisi sesuai kebutuhan tanaman.
2. Kombinasi pemupukan berbasis sensor dengan pupuk hayati dan organik menghasilkan nilai tertinggi pada parameter agronomis, termasuk jumlah gabah per malai, bobot 1.000 butir gabah, hasil gabah kering panen (GKP), dan gabah kering giling (GKG).
3. Varietas IPB 9G menunjukkan hasil panen tertinggi secara keseluruhan,

sedangkan varietas Gogo Huma menunjukkan respons agronomis yang stabil dan efisien dalam penyerapan unsur hara pada lahan marginal.

4. Pemupukan berbasis sensor meningkatkan efisiensi agronomi sebesar 27% dibandingkan metode pemupukan konvensional, menunjukkan keunggulannya dalam optimasi penggunaan nutrisi.
5. Teknologi pemupukan presisi ini berpotensi besar untuk diadopsi dalam praktik pertanian berkelanjutan, khususnya pada wilayah dengan tingkat kesuburan tanah rendah, guna mendukung peningkatan produktivitas dan efisiensi input pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan pendanaan yang telah diberikan melalui skema hibah penelitian dosen pemula.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Jabeen, N., Farruhbek, R., Chachar, Z., Laghari, A. A., Chachar, S., Ahmed, N., Ahmed, S., & Yang, Z. (2025). Enhancing nitrogen use efficiency in agriculture by integrating agronomic practices and genetic advances. *Frontiers in Plant Science*, 16(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1543714>
- Anisuzzaman, M., Rafii, M. Y., Jaafar, N. M., Izan Ramlee, S., Ikbal, M. F., & Haque, M. A. (2021). *Effect of Organic and Inorganic Fertilizer on the Growth and Yield Components of Traditional and Improved Rice*. 1–22.
- Ardiansyah, M., & Tofri, Y. (2019). Perbandingan Data Produktivitas Padi Antara Hasil Wawancara Pascapanen dengan Data Survei Ubinan di Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman* https://www.researchgate.net/profile/Muhlis-Ardiansyah-2/publication/333392669_Perbandingan_Produktivitas_Padi_Antara_Hasil_Wawancara_Pascapanen_dengan_Survei_Ubinan_di_Kalimantan_Tengah/links/5ceb3fc9458515712ec5f33f/Perbandingan-Produktivitas-Padi-Antar
- Awwal Fuqara, F., & Windi Tanjung, Y. (2023). Strategi Peningkatan Produksi Padi Lahan Suboptimal. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 19(2), 129–138. <https://doi.org/10.20956/jsep.v19i2.26721>
- Duguma, A. L., & Bai, X. (2025). How the internet of things technology improves agricultural efficiency. *Artificial Intelligence Review*, 58(2), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11046-0>
- Faqir, Y., Qayoom, A., Erasmus, E., Schutte-Smith, M., & Visser, H. G. (2024). A review on the application of advanced soil and plant sensors in the agriculture sector. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226(August), 109385. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109385>
- Hamid, A., & Tanweer, A. (2021). a Comparative Study on Proximate and Micronutrient Composition of Various Varieties of Rice Produced in Punjab, Pakistan. *Nurture*, 15(1), 36–42. <https://doi.org/10.55951/nurture.v15i1.5>
- Hu, B., Wang, W., Chen, J., Liu, Y., & Chu, C.

- (2023). Genetic improvement toward nitrogen-use efficiency in rice: Lessons and perspectives. *Molecular Plant*, 16(1), 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.11.007>
- I Irwandhi, FH Khumairah, ET Sofyan, NN Kamaluddin, A Nurbaity, D Herdiyantoro, T. S. (2024). *Current status and the significance of local wisdom biofertilizer in enhancing soil health and crop productivity for sustainable agriculture : A systematic literature review*. 23(December), 287–298.
- Islam, M. R., Oliullah, K., Kabir, M. M., Alom, M., & Mridha, M. F. (2023). Machine learning enabled IoT system for soil nutrients monitoring and crop recommendation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14(June), 100880. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100880>
- Kimaro, O. D., Gebre, S. L., Hieronimo, P., Kihupi, N., Feger, K. H., & Kimaro, D. N. (2023). Handheld NDVI sensor-based rice productivity assessment under combinations of fertilizer soil amendment and irrigation water management in lower Moshi irrigation scheme, North Tanzania. *Environmental Earth Sciences*, 82(3), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10730-0>
- Kumar, S., Karaliya, S. K., & Chaudhary, S. (2017). Precision Farming Technologies towards Enhancing Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Cropping System. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(3), 142–151. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.016>
- Lin, J., Lou, K., Qiang, X., Qing, H., Li, D., Jiao, J., & Fang, R. (2021). Science of the Total Environment Balanced fertilization over four decades has sustained soil microbial communities and improved soil fertility and rice productivity in red paddy soil. *Science of the Total Environment*, 793, 148664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148664>
- Lu, J., Wang, H., Miao, Y., Zhao, L., Zhao, G., Cao, Q., & Kusnierek, K. (2022). Developing an Active Canopy Sensor-Based Integrated Precision Rice Management System for Improving Grain Yield and Quality, Nitrogen Use Efficiency, and Lodging Resistance. *Remote Sensing*, 14(10), 1–24. <https://doi.org/10.3390/rs14102440>
- MacCarthy, D. S., Darko, E., Nartey, E. K., Adiku, S. G. K., & Tettey, A. (2020). Integrating biochar and inorganic fertilizer improves productivity and profitability of irrigated rice in Ghana, West Africa. *Agronomy*, 10(6), 1–23. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060904>
- Maftuah, E., Hairani, A., Susilawati, A., Sosiawan, H., Nursyamsi, D., & Osaki, M. (2021). Biochar for the Improvement of Peatland and Suboptimal Land. In *Springer, Singapore* (pp. 337–361). Springer, Singapore. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-33-4654-3_11
- Marti-Jerez, K., Català-Forner, M., Tomàs, N., Murillo, G., Ortiz, C., & Lopes, M. S. (2025). Mid-season variable-rate algorithm for organic and mineral rice fertilization. *Agronomy for Sustainable Development*, 45(2), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-01003-0>
- Meshram, A. J., Khalge, M. I., Shinde, G. U., & Waikar, A. U. (2024). *Sensor Based*

- Agriculture and Horticulture Crop Production (Application of Sensors)*. <https://doi.org/10.20944/preprints202401.0544.v1>
- Mittermayer, M., Donauer, J., Kimmelman, S., Maidl, F. X., & Hülsbergen, K. J. (2024). Effects of different nitrogen fertilization systems on crop yield and nitrogen use efficiency – Results of a field experiment in southern Germany. *Heliyon*, 10(7), e28065. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28065>
- Nurmegawati, Yartiwi, Siagian, I. C., Yesmawati, Yuliasari, S., & Sastro, Y. (2021). The land suitability evaluation of upland rice in the low dryland of Bengkulu Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/3/032091>
- Persaud, M., Persaud, R., Gobind, N., Khan, A., Subramanian, G., & Corredor, E. (2022). Genotype by environment interactions of grain yield performance and lodging incidence in advance breeding lines of rice across environments in Guyana. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 10(3). <https://doi.org/10.15739/ijapr.22.009>
- Pupuk, B. T. (2023). Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, Dan Pupuk. In *Petunjuk Teknis Edisi*. <https://tanahpupuk.bsip.pertanian.go.id>
- Qurani, I. Z., & Fawzi, N. I. (2022). Mainstreaming sustainable use of suboptimal lands to support food security in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1039(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1039/1/012029>
- Riyani, R., & Purnamawati, H. (2019). Pengaruh Metode Pemupukan Kalium terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Padi Gogo (*Oryza sativa* L.) Varietas IPB 9G The Effect of Potassium Fertilizer methods on Growth and Production of Upland Rice (*Oryza sativa* L.) Variety IPB 9G. *Bul. Agrohorti*, 7(3), 363–374.
- Roussos, P. A., Gasparatos, D., Kechrologou, K., Katsenos, P., & Bouchagier, P. (2017). Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under Mediterranean conditions. *Scientia Horticulturae*, 220, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.019>
- Satriawan, H., Nazirah, L., Fitri, R., & Ernawita. (2022). Evaluation of growth and yield of upland rice varieties under various shading levels and organic fertilizer concentrations. *Biodiversitas*, 23(5), 2655–2662. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230549>
- Sembiring, H., Patriyawaty, N. R., Nugraha, D., Ramadhan, R. P., Purwanto, O. D., Erythrina, Subekti, N. A., & Susilowati. (2021). Evaluating the implementation of fertilizer-based decision support systems to increase yield productivity and efficiency of irrigated rice farming in West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 911(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/911/1/012039>
- Sow, S., & Ranjan, S. (2021). *Precision Nutrient Management: As a tool to enhance Nutrient Use Efficiency* ISSN-2582-8258 *Precision Nutrient Management: As a tool to enhance Nutrient Use Efficiency*. April, 2–9.
- Trigunasih, N. M., & Wiguna, P. P. K. (2022).

- Identification of Soil Fertility Status of Subak Rice Fields Based on Soil Chemical Properties in Denpasar City, Bali, Indonesia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 22(10), 21807–21824. <https://doi.org/10.18697/ajfand.115.20880>
- Wicaksono, F. Y., Suherman, P. U., & Kadapi, M. (2023). Perbandingan karakter fisiologi, pertumbuhan dan hasil varietas padi hitam lokal asal malang pada dua agroekosistem. *Jurnal AGRO*, 10(2), 309–319. <https://doi.org/10.15575/30045>
- Yang, G., Nabi, F., Sajid, S., Kaleri, A. R., Jakhar, A. M., Cheng, L., Raspor, M., Muhammad, N., Ma, J., & Hu, Y. (2021). Response of root development and nutrient uptake of two chinese cultivars of hybrid rice to nitrogen and phosphorus fertilization in Sichuan Province, China. *Molecular Biology Reports*, 48(12), 8009–8021. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06835-7>