

Sekolah Lapang Bioferdom Meningkatkan Adopsi SOP dan Produktivitas Jagung di Banggai

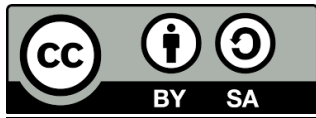
Ade Barkah*, Rizaldy, Fuad Rafif Prasetyo, Muh Syair, Dedy Wahyu Rizaldy

PT Pertamina EP Donggi Field, Indonesia

Email: ade.barkah@pertamina.com*, rizaldy@pertamina.com,
mk.fuad.prasetyo@pertamina.com, muhammadsyair082@gmail.com,
dedywahyu.r@gmail.com

Keywords:

Bioferdom; Farmer Field School;
Maize Productivity; SOP
Adoption; Sustainable Agriculture



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Author. Published by
Riviera Publishing

Kata Kunci:

Adopsi SOP; Bioferdom;
Produktivitas Jagung; Sekolah
Lapang; Pertanian Berkelanjutan

Abstract

This study measures changes in farmers' knowledge and maize-cultivation SOP adoption after a needs-based farmer field school, tests plant-growth responses to combinations of NPK and Bioferdom biosulfur in a research plot, and assesses changes in participant productivity and farm feasibility. A participatory mixed-method approach was used. Program evaluation applied a one-group pre-post design to 24 members of the Mosa'angu Farmers Group, analyzed using the Wilcoxon signed-rank test and normalized gain. Fertilizer effects were examined separately in a 5×5 factorial randomized block design with three replications, supported by two-way ANOVA, MANOVA, and polynomial regression. The mean knowledge score increased from 40.0 to 77.8 (N-gain 0.63; $p < 0.001$), while SOP implementation increased from 19.9% to 85.1% ($p < 0.001$). In the research plot, biosulfur significantly affected plant height at 6 and 8 weeks after planting but not stem diameter. A combination of 75% NPK with 75–100% biosulfur produced vegetative responses supporting a potential 9–19% NPK reduction based on dose modeling; this does not establish equivalent grain yield. Among program participants, productivity increased from 0.99 to 1.87 t/ha and the R/C ratio from 1.26 to 2.10. Improvements in knowledge, SOP adoption, productivity, and farm feasibility were associated with the field-school and mentoring package, while the separate plot experiment supports Bioferdom as a complementary fertilizer. Without a control group, the pre-post changes cannot be causally attributed to Bioferdom alone.

Abstrak

Penelitian ini mengukur perubahan pengetahuan dan penerapan SOP budidaya jagung setelah sekolah lapang berbasis kebutuhan petani, menguji respons pertumbuhan terhadap kombinasi NPK dan biosulfur Bioferdom pada lahan riset, serta menilai perubahan produktivitas dan kelayakan usaha tani peserta. Penelitian menggunakan pendekatan campuran partisipatif. Evaluasi program memakai desain satu kelompok sebelum-sesudah pada 24 anggota Kelompok Tani Mosa'angu, dianalisis dengan uji Wilcoxon dan N-gain. Uji pupuk dilakukan terpisah menggunakan Rancangan Acak Kelompok faktorial 5×5 dengan tiga ulangan, disertai ANOVA dua arah, MANOVA, dan regresi polinomial. Skor pengetahuan meningkat dari 40,0 menjadi 77,8 (N-gain 0,63; $p < 0,001$), sedangkan penerapan SOP meningkat dari 19,9% menjadi 85,1% ($p < 0,001$). Pada lahan riset, biosulfur menunjukkan perbedaan nyata pada tinggi tanaman umur 6 dan 8 MST, tetapi tidak pada diameter batang. Kombinasi 75% NPK dengan 75–100% biosulfur menghasilkan respons pertumbuhan vegetatif yang mendukung potensi pengurangan NPK 9–19% berdasarkan pemodelan dosis; temuan ini bukan bukti kesetaraan hasil

panen. Pada peserta program, produktivitas meningkat dari 0,99 menjadi 1,87 ton/ha dan R/C ratio dari 1,26 menjadi 2,10. Perbaikan pengetahuan, penerapan SOP, produktivitas, dan kelayakan usaha tani berasosiasi dengan paket sekolah lapang dan pendampingan, sedangkan uji terpisah mendukung Bioferdom sebagai pupuk pendamping NPK. Tanpa kelompok kontrol, perubahan sebelum-sesudah tidak dapat diatribusikan secara kausal hanya kepada Bioferdom.

PENDAHULUAN

Sektor pertanian jagung di Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah, mengemban fungsi vital sebagai penyokong utama penghidupan (*livelihood*) dan ketahanan ekonomi rumah tangga petani pedesaan. Namun, performa produktivitas di tingkat petani gurem masih mengalami kerentanan struktural, berada jauh di bawah ambang potensi genetik varietas maupun rerata nasional sebesar 5,9 ton/ha pada tahun 2024 (BPS, 2025). Secara makro, efisiensi teknis usaha tani jagung nasional baru mencapai 68,3% (Haryanto et al., 2023). Dinamika ini tecermin di Desa Kayowa, di mana sebelum intervensi program, rerata hasil panen petani berada pada titik kritis 1 ton/ha, bahkan menyebabkan 10 dari 24 petani terjebak dalam disinsentif ekonomi (kerugian finansial) tiap musim tanam.

Penyebab utamanya bukan hanya keterbatasan input, tetapi juga praktik budidaya yang belum sesuai anjuran. Praktik tradisional seperti pengaturan jarak tanam yang acak, presisi pemupukan susulan yang rendah, serta penanganan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) yang terfragmentasi memperlihatkan belum optimalnya internalisasi pengetahuan teknis. Pemupukan yang hanya bertumpu pada NPK juga membuat unsur hara lain, seperti sulfur (S), sering terabaikan, padahal sulfur berperan dalam pembentukan protein dan klorofil (Zenda et al., 2021). Kecukupan sulfur juga membantu tanaman jagung menyerap nitrogen dengan lebih efisien (Barlóg et al., 2022; Agyin-Birikorang et al., 2024).

Penyuluhan satu arah dan menyeragamkan realitas lokal menunjukkan usaha yang kurang berhasil mengubah praktik petani karena materinya bersifat umum (Bachtiar et al., 2025; Martina et al., 2024). Sekolah lapang menawarkan cara belajar partisipatif langsung di lahan, sehingga petani dapat melihat dan mencoba sendiri sebagai agen aktif pembentuk pengetahuan (Nuzuliyah & Irawan, 2022; Jabbar et al., 2022). Meski begitu, banyak sekolah lapang masih memakai kurikulum seragam. Pada program ini, materi disusun dari hasil pendampingan sebelumnya, sehingga isinya menjawab praktik yang paling sering keliru di lahan petani.

Di sisi lain, aktivitas pengolahan gas alam di wilayah ini menghasilkan biosulfur sebagai hasil samping dari pemisahan asam gas H_2S . Bahan ini diolah menjadi pupuk Bioferdom sebagai sumber sulfur dan bahan organik. Pemanfaatan ini mengubah produk samping industri menjadi input pertanian, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular (Cordeiro & Sindhøj, 2024). Belerang sisa pemurnian gas juga telah diuji sebagai pupuk jagung di Eropa (Škarpa et al., 2021; Fontaine et al., 2021). Inovasi pupuk seperti ini cenderung gagal diadopsi jika petani tidak memahami cara dan alasan penggunaannya, sehingga perlu dipadukan dengan pendampingan (Cordeiro & Sindhøj, 2024; Kurniawati et al., 2023).

Studi Farmer Field School menunjukkan bahwa pembelajaran partisipatif dapat mendorong perubahan praktik, tetapi besarnya perubahan bergantung pada proses ko-desain dan konteks implementasi (Bakker et al., 2021, 2022; Cai et al., 2022). Di sisi nutrisi, efisiensi

jagung dipengaruhi oleh keseimbangan nitrogen dan sulfur, bukan oleh satu unsur secara terpisah (Carciochi et al., 2020a, 2020b; Davies et al., 2020; Wang et al., 2023). Kesenjangan penelitian ini adalah belum terhubungnya evaluasi pembelajaran berbasis kebutuhan, kepatuhan SOP, dan pengujian biosulfur dalam satu kerangka yang secara eksplisit memisahkan perubahan program pada petani dari efek perlakuan pupuk di lahan riset. Kebaruan studi terletak pada integrasi dua sumber bukti tersebut tanpa menyamakan desain sebelum-sesudah dengan eksperimen faktorial.

Penelitian ini bertujuan: (1) mengukur perubahan pengetahuan petani setelah sekolah lapang; (2) mengukur perubahan penerapan SOP budidaya jagung; (3) menguji respons pertumbuhan jagung terhadap kombinasi pupuk biosulfur dan NPK pada lahan riset; dan (4) menganalisis perubahan produktivitas serta kelayakan usaha tani peserta. Implikasi praktisnya adalah penyusunan pendampingan yang lebih sesuai kebutuhan petani dan penempatan Bioferdom sebagai pupuk pendamping yang diuji secara terpisah dari perubahan perilaku dan hasil usaha tani peserta.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran partisipatif yang menggabungkan evaluasi program satu kelompok sebelum-sesudah dan eksperimen lahan terpisah. Evaluasi sekolah lapang dilakukan pada 24 petani aktif anggota Kelompok Tani Mosa'angu di Desa Kayowa, Kecamatan Batui, Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah. Data kualitatif diperoleh melalui FGD, wawancara, dan observasi, sedangkan data kuantitatif berasal dari pre-test–post-test pengetahuan, penilaian penerapan SOP, data produktivitas dan usaha tani, serta percobaan pupuk. Pemisahan dua desain ini penting agar perubahan peserta program tidak ditafsirkan sebagai efek kausal Bioferdom semata.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui *Focus Group Discussion* (FGD) yang melibatkan kelompok tani, pemerintah desa, perusahaan, dan pemerintah kabupaten untuk mengidentifikasi permasalahan budidaya dan memetakan kebutuhan materi sekolah lapang. Pelaksanaan sekolah lapang mencakup lima materi utama, yaitu: pemanfaatan sumber daya alam sebagai pupuk alternatif, analisis usaha tani, pengendalian hama dan penyakit terpadu, penerapan SOP jagung, serta nutrisi tanaman dan teknik pemupukan. Selain itu, dilakukan penelitian eksperimen lahan riset dan pemantauan demoplot untuk menguji serta memperlihatkan secara langsung pengaruh aplikasi pupuk biosulfur (Bioferdom) terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman jagung.

[DATA PENULIS DIPERLUKAN: jelaskan teknik pemilihan 24 petani, validitas/reliabilitas instrumen pengetahuan, definisi dan skoring 14 indikator kepatuhan SOP, rincian lima taraf dosis NPK $\times$ lima taraf biosulfur, serta prosedur pengukuran produktivitas sebelum dan sesudah program.]

Teknik analisis data mengintegrasikan analisis deskriptif kualitatif dengan triangulasi sumber data serta analisis statistik kuantitatif. Perubahan tingkat pengetahuan dianalisis menggunakan uji Wilcoxon bertanda dan *Normalized Gain* (N-gain). Tingkat penerapan 14 tahapan SOP dianalisis berdasarkan persentase kepatuhan petani. Pengaruh pupuk biosulfur pada lahan riset diuji menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial 5×5 (dosis NPK dan dosis biosulfur) dengan 3 ulangan (75 unit percobaan), dianalisis menggunakan

ANOVA dua arah, MANOVA, dan regresi polinomial. Kelayakan usaha tani diukur melalui perhitungan produktivitas (ton/ha) dan *Revenue-Cost Ratio* (R/C ratio).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Budidaya jagung dilaksanakan secara bertahap mulai dari persiapan lahan hingga panen. Persiapan lahan dilakukan melalui pembajakan dan sanitasi gulma, diikuti aplikasi pupuk dasar Bioferdoman sebesar 1-2 ton/ ha. Penanaman menggunakan benih jagung hibrida dengan kebutuhan 15 – 18 kg/ ha dan jarak tanam disesuaikan dengan pola tanam yang digunakan. Pemeliharaan tanaman meliputi penyulaman, pemupukan melalui tanah dan daun, pengendalian gulma, serta pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) secara berkala. Pemupukan tanah menggunakan NPK Phonska dan Urea dilakukan pada beberapa fase pertumbuhan, sementara aplikasi pupuk daun diberikan secara berkala untuk mendukung perkembangan tanaman. Pengendalian OPT dilakukan berdasarkan fase pertumbuhan dan kondisi serangan, termasuk pengendalian ulat pucuk serta penyakit busuk batang dan busuk tongkol. Pada fase pengisian biji dilakukan pemantauan kondisi air tanah dan serangan hama. Tanaman dipanen sekitar umur 112 hari setelah tanam (HST) berdasarkan karakteristik fisik yang menunjukkan kesiapan panen. Berikut merupakan panduan SOP bagi para petani:

Tabel 1. SOP Budidaya Jagung Menggunakan Pupuk Bioferdom

Usia Tanam (HST)	Tahapan	Ringkasan Kegiatan
-10 HST	Pengolahan/ Sanitasi Lahan	Pembajakan tanah dan pengendalian gulma menggunakan herbisida sistemik pada kondisi lahan yang memungkinkan.
-7 HST	Pemupukan Dasar	Aplikasi Bioferdoman sebanyak 1–2 ton/ha dengan cara ditaburkan, dicampur dengan tanah, kemudian didiamkan selama ± 1 minggu.
0 HST	Penanaman	Menggunakan benih jagung hibrida dengan dosis 15–18 kg/ha dan beberapa alternatif jarak tanam sesuai kondisi budidaya.
7 HST	Penyulaman	Mengganti tanaman yang tidak tumbuh atau tidak berkembang dengan baik, maksimal 7 hari setelah tanam
8 HST	Pemupukan daun	Aplikasi pupuk daun melalui penyemprotan.
14 HST	Pemupukan I	Aplikasi NPK Phonska dan Urea untuk mendukung pertumbuhan awal tanaman.
16 HST	Pengendalian OPT I	Pengendalian ulat pucuk untuk mencegah kerusakan tanaman.
20 HST	Pengendalian gulma & Bioferdoman	Penyemprotan herbisida selektif dan aplikasi Bioferdoman secara larikan apabila belum dilakukan sebagai pupuk dasar.
25 HST	Pemupukan II	Aplikasi NPK Phonska dan Urea untuk mendukung pertumbuhan menuju fase generatif.
32 HST	Pemupukan daun	Aplikasi pupuk daun melalui penyemprotan.
35 HST	Pengendalian OPT II	Pengendalian ulat pucuk sesuai kebutuhan.
49 HST	Pemupukan III	Aplikasi NPK Phonska dan Urea untuk menunjang pertumbuhan tanaman menuju fase generatif.

Usia Tanam (HST)	Tahapan	Ringkasan Kegiatan
55 HST	Pemupukan daun	Aplikasi MKP, magnesium sulfat, atau pupuk organik cair yang mengandung K.
65 HST	Pengendalian OPT III	Pengendalian ulat serta penyakit seperti busuk batang dan busuk tongkol sesuai kondisi serangan.
70 HST	Booster	Aplikasi booster untuk mendukung peningkatan bobot biji, bersifat kondisional.
70-80 HST	Monitoring	Pemantauan kondisi air tanah dan serangan hama selama periode pengisian biji.
112 HST	Panen	Panen dilakukan ketika tanaman/jagung telah menunjukkan karakteristik fisik yang sesuai untuk dipanen.

Sumber: Data penelitian dan dokumen program, diolah penulis (2026).

$p < 0,001N - gainN - gain$ Selain itu, pelaksanaan Sekolah Lapang (SL) berbasis analisis kebutuhan lokasi spesifik terbukti secara nyata mampu merekonstruksi lanskap pengetahuan kognitif petani di Desa Kayowa. Sebelum intervensi program dilakukan, pemahaman teknis petani terhadap kaidah budidaya terbilang rendah, yang tecermin dari rerata skor pre-test sebesar 40,0. Namun, pasca-pembelajaran partisipatif melalui wahana Sekolah Lapang, terjadi akselerasi kognitif yang signifikan di mana rerata skor post-test melonjak menjadi 77,8 (Uji Wilcoxon bertanda,). Efektivitas pembelajaran ini diperkuat oleh nilai Normalized Gain (N-gain) sebesar 0,63, yang tergolong dalam kategori peningkatan sedang. Peningkatan kognitif ini merata di seluruh subjek penelitian; tidak ditemukan satu pun petani yang berada pada kategori rendah, dengan distribusi 18 petani mencapai peningkatan kategori sedang dan 6 petani mencapai kategori tinggi.

Dinamika peningkatan kognitif ini menunjukkan variasi yang menarik ketika dibedah berdasarkan masing-masing modul materi pelatihan. Struktur perubahan pengetahuan kognitif petani untuk kelima modul secara terperinci disajikan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Skor pengetahuan petani sebelum dan sesudah sekolah lapang

Materi	Pre-test (rata-rata ± SD)	Post-test (rata-rata ± SD)	Kenaikan (poin)	N-gain
Nutrisi tanaman dan pemupukan	36,2 ± 14,4	79,6 ± 11,2	43,3	0,69
Analisis usaha tani	41,7 ± 5,6	82,1 ± 10,2	40,4	0,70
Pengendalian hama dan penyakit terpadu	38,8 ± 11,9	78,3 ± 12,7	39,6	0,66
Pemanfaatan SDA sebagai pupuk alternatif	31,7 ± 8,2	65,4 ± 12,5	33,8	0,50
Penerapan SOP jagung	51,7 ± 11,7	83,3 ± 7,0	31,7	0,65
Rata-rata lima materi	40,0 ± 6,5	77,8 ± 7,9	37,8	0,63

Sumber: Data penelitian dan dokumen program, diolah penulis (2026).

$N - gain = 0,69$ $N - gain = 0,7065$, $4N - gain 0,5051,7$ Berdasarkan data pada Tabel 2, perolehan akselerasi kognitif tertinggi teridentifikasi pada modul Nutrisi Tanaman dan Pemupukan ($N - gain 0,69$) serta modul Analisis Usaha Tani ($N - gain 0,70$). Tingginya lonjakan pada kedua modul ini mengindikasikan bahwa keterikatan materi terhadap persoalan praktis dan kelangsungan ekonomi harian menjadi pendorong utama motivasi belajar (learning motivation) petani. Sebaliknya, modul Pemanfaatan SDA dan Inovasi Biosulfur memperoleh skor post-test terendah () dengan sebesar . Hal ini merefleksikan adanya hambatan abstraksi kognitif, di mana konsep konversi limbah industri gas menjadi input pertanian masih tergolong sangat baru bagi skema pemikiran petani lokal. Di sisi lain, modul Adopsi SOP memiliki skor awal paling tinggi (51,7), yang menandakan bahwa pengetahuan acuan budidaya sebenarnya telah dikenal secara pasif oleh petani, tetapi membutuhkan dorongan eksternal untuk ditransformasikan menjadi tindakan konkrit.

Transformasi kognitif yang tercapai melalui kurikulum berbasis kebutuhan ini membuktikan bahwa pendekatan Sekolah Lapang mampu mengikis pola penyuluhan konvensional yang kaku. Ketika materi disusun dari hasil diagnosis kelemahan riil di lapangan, petani merasa dihargai dan lebih mudah menyerap materi karena relevansinya yang tinggi. Temuan ini memperkuat kajian Nuzuliyah & Irawan (2022) serta Jabbar dkk. (2022) yang menegaskan bahwa *experiential learning* di lahan secara signifikan mempercepat proses asimilasi pengetahuan baru.

$p < 0,001$ Terjadinya peningkatan kapasitas kognitif tersebut secara linier berimplikasi pada pelemagaan perilaku teknis petani di lapangan. Adopsi agregat terhadap 14 tahapan baku SOP budidaya jagung mengalami lonjakan drastis dari 19,9% sebelum program menjadi 85,1% pasca-program (uji Wilcoxon bertanda, $p < 0,001$). Perubahan perilaku ini menunjukkan bahwa petani tidak hanya berhenti pada tahap memahami (knowing), tetapi telah melangkah ke tahap menerapkan (doing) dan menginternalisasi kaidah budidaya presisi.

$70 \times 20cm$ Perubahan paling transformatif terjadi pada tahapan-tahapan yang pada masa pra-intervensi hampir diabaikan sepenuhnya oleh petani. Praktik penanaman presisi [DATA PENULIS DIPERLUKAN: jarak tanam yang digunakan], pengendalian hama berbasis prinsip 6 tepat, pemupukan susulan tahap kedua, dan aplikasi pupuk daun melonjak dari tingkat penerapan di bawah 15% menjadi 100% adopsi penuh. Pemupukan pertama sebenarnya telah dilakukan oleh seluruh petani 100% sejak awal, namun ketepatan dosis dan tata caranya baru memenuhi kriteria baku SOP setelah mengikuti pelatihan.

Meski demikian, proses penyerapan inovasi ini tidak terjadi secara seragam pada seluruh komponen SOP. Terdapat tiga tahapan teknis yang masih menjadi catatan evaluasi: kegiatan penyulaman hanya diterapkan oleh 21% petani karena pertimbangan efisiensi alokasi tenaga kerja; pemupukan susulan ketiga belum dianjurkan dan belum diterapkan sama sekali 0%; serta tata cara panen presisi yang belum sepenuhnya memenuhi standar mutu. Sebagian besar perubahan yang tercatat juga masih berada pada level "menerapkan" dan belum mencapai kriteria "sesuai SOP" secara sempurna.

Dinamika ini menegaskan bahwa petani pada hakikatnya merupakan pengambil keputusan yang rasional (*rational decision-makers*). Mereka cenderung mengadopsi inovasi secara selektif dengan memperhitungkan keterbatasan modal, ketersediaan tenaga kerja, dan kalkulasi risiko finansial. Oleh karena itu, fase adopsi ini membutuhkan pengingat

institusional berkelanjutan agar kebiasaan baru ini dapat terpatrit menjadi budaya bertani yang permanen.

Di samping proses pembelajaran sosial melalui Sekolah Lapang, keberhasilan intervensi budidaya juga ditopang oleh pembuktian teknis-agronomis inovasi pupuk biosulfur (Bioferdom) di lahan eksperimental. Berdasarkan pengujian di lapangan riset, ketersediaan pupuk NPK anorganik tetap bertindak sebagai faktor determinan utama yang mengendalikan dinamika pertumbuhan vegetatif tanaman jagung pada seluruh umur pengamatan. Ringkasan pengaruh biosulfur terhadap variabel pertumbuhan vegetatif disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3. Ringkasan hasil ANOVA faktor biosulfur di lahan riset

Variabel	2 MST	4 MST	6 MST	8 MST
Tinggi tanaman	tidak nyata	tidak nyata	nyata ($p = 0,0002$)	nyata ($p = 0,0015$)
Diameter batang	tidak nyata	tidak nyata	tidak nyata	tidak nyata

Sumber: Data penelitian dan dokumen program, diolah penulis (2026).

NPK × Biosulfur Berdasarkan Tabel 3, faktor biosulfur memberikan respons berbeda nyata terhadap tinggi tanaman pada 6 MST ($p = 0,0002$; partial η^2 35,9%) dan 8 MST ($p = 0,0015$; partial η^2 30,1%), sedangkan diameter batang tidak menunjukkan perbedaan nyata pada seluruh periode pengamatan. Analisis juga dilaporkan tidak mendeteksi interaksi nyata NPK × biosulfur [DATA PENULIS DIPERLUKAN: nilai p interaksi]. Ketiadaan interaksi statistik tidak membuktikan sinergi; hasil lebih tepat dibaca sebagai bukti bahwa respons tinggi tanaman terhadap biosulfur teramati tanpa interaksi yang terdeteksi pada model yang dilaporkan.

151,7 – 156,9 cm 130,0 cm 25,5 – 25,9 mm 25,4 mm 1 ton/ha 45 – 95 kg/ha Pada pengamatan 8 MST, kombinasi NPK 75% dengan biosulfur 75–100% dilaporkan menghasilkan pertumbuhan vegetatif yang setara atau lebih tinggi daripada kontrol NPK 100% tanpa biosulfur. [DATA PENULIS DIPERLUKAN: cantumkan nilai tinggi tanaman dan diameter batang setiap perlakuan yang menjadi dasar perbandingan.] Regresi polinomial menempatkan dosis optimum NPK pada kisaran 81–91% ketika biosulfur digunakan, sehingga potensi pengurangan NPK diperkirakan 9–19%. Estimasi ini berasal dari respons vegetatif/model dosis dan tidak boleh ditafsirkan sebagai bukti bahwa hasil panen tetap setara pada pengurangan NPK tersebut.

$1,25 \times 10^3$ cfu/g Biosulfur tidak dapat diposisikan sebagai pengganti penuh NPK karena pada dosis NPK rendah pertumbuhan tetap terhambat meskipun dosis biosulfur tinggi. Uji mikrobiologis disebutkan dalam dokumen sumber, tetapi nilai kelimpahan *Penicillium* sp. belum tersedia dalam naskah [DATA PENULIS DIPERLUKAN: nilai, satuan, metode uji, dan kriteria interpretasi]. Oleh sebab itu, pembahasan difokuskan pada fungsi Bioferdom sebagai sumber sulfur dan bahan organik yang berpotensi melengkapi pemupukan NPK, bukan sebagai pupuk hayati aktif yang telah terverifikasi.

0,99 ton/ha 1,87 ton/ha $p < 0,001$ Total produksi jagung 24 petani peserta meningkat dari 43,4 ton menjadi 82,2 ton pada luas agregat 44 ha. Rerata produktivitas meningkat dari 0,99 menjadi 1,87 ton/ha (+89,4%). [DATA PENULIS DIPERLUKAN: nilai statistik/ p untuk perubahan produktivitas jika memang diuji.] Karena desain evaluasi program tidak memiliki

kelompok kontrol, perubahan ini merupakan perubahan sebelum-sesudah yang berasosiasi dengan paket sekolah lapang, pendampingan, dan perubahan input; bukan estimasi efek kausal Bioferdom secara terpisah.

Eskalasi produktivitas tersebut memberikan dampak ekonomi yang sangat positif terhadap struktur biaya, penerimaan, dan keuntungan bersih usaha tani jagung. Gambaran perubahan indikator finansial secara menyeluruh dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan produktivitas dan usaha tani

Indikator	Sebelum	Sesudah	Perubahan
Produktivitas (ton/ha)	0,99	1,87	+89,4%
Biaya produksi total (Rp juta)	174,8	198,6	+13,6%
Penerimaan total (Rp juta)	220,6	417,6	+89,3%
Keuntungan total (Rp juta)	45,8	219,0	+378,6%
R/C ratio	1,26	2,10	+0,84
Petani yang merugi ($R/C < 1$)	10 orang	1 orang	-9 orang

Sumber: Data penelitian dan dokumen program, diolah penulis (2026).

Data pada Tabel 4 memperlihatkan bahwa total biaya produksi hanya mengalami kenaikan marjinal sebesar 13,6% (terutama dialokasikan untuk pemupukan susulan dan pupuk daun), namun mampu memicu lonjakan penerimaan kotor hingga 89,3% pada tingkat harga jual yang relatif stabil. Keadaan ini mendorong kenaikan keuntungan bersih agregat sebesar +378,6%, yang dibuktikan oleh peningkatan indeks efisiensi finansial ($R/Cratio$) dari 1,26 menjadi 2,10. Indikator paling krusial dari penguatan resiliensi ini adalah penurunan drastis jumlah petani yang mengalami kerugian finansial ($R/C < 1,0$), yaitu dari 10 orang sebelum intervensi menjadi hanya 1 orang pasca-intervensi.

Secara keseluruhan, capaian keberhasilan ini merupakan manifestasi dari pendekatan terpadu (*holistic package*) yang memadukan transformasi sosial-kognitif melalui Sekolah Lapang dan efikasi inovasi pupuk biosulfur. Perubahan pengetahuan mendorong kedisiplinan adopsi SOP di lapangan, yang kemudian direspons secara optimal oleh tanaman jagung melalui dukungan nutrisi biosulfur. Rangkaian proses ini pada akhirnya mentransformasi usaha tani jagung subsisten di Desa Kayowa menjadi kegiatan ekonomi yang lebih menguntungkan, efisien, dan berdaya saing.

KESIMPULAN

Sekolah lapang berbasis kebutuhan petani di Desa Kayowa diikuti peningkatan skor pengetahuan dari 40,0 menjadi 77,8 (N-gain 0,63) dan penerapan SOP dari 19,9% menjadi 85,1%. Pada evaluasi program, produktivitas meningkat dari 0,99 menjadi 1,87 ton/ha dan R/C ratio dari 1,26 menjadi 2,10. Pada eksperimen lahan yang terpisah, biosulfur memengaruhi tinggi tanaman pada 6 dan 8 MST dan kombinasi 75% NPK dengan 75–100% biosulfur mendukung potensi efisiensi NPK berdasarkan respons vegetatif. Hasil ini menempatkan Bioferdom sebagai pupuk pendamping, bukan substitut penuh NPK.

Implikasi penelitian adalah bahwa inovasi pupuk lebih relevan ketika dipadukan dengan pembelajaran partisipatif dan SOP budidaya yang operasional. Namun, desain

sebelum-sesudah tanpa kelompok kontrol membatasi atribusi kausal atas perubahan produktivitas dan keuntungan, sedangkan beberapa rincian instrumen, dosis, serta statistik interaksi masih perlu dikonfirmasi. Penelitian lanjutan perlu menggunakan kelompok pembanding atau desain kuasi-eksperimental yang lebih kuat, melaporkan hasil panen pada setiap kombinasi pupuk, serta memvalidasi efisiensi NPK dan dampak tanah pada lebih dari satu musim tanam.

Pelaksanaan Sekolah Lapang (SL) berbasis kebutuhan petani terbukti secara efektif memfasilitasi proses pembelajaran transformatif dan peningkatan kapasitas kognitif petani di Desa Kayowa, Kabupaten Banggai. Hal ini tecermin dari kenaikan signifikan rerata skor pengetahuan petani dari 40,0 menjadi 77,8 (*N-gain* 0,63) dengan lonjakan tertinggi pada materi nutrisi dan pemupukan. Peningkatan kapasitas kognitif ini berbanding lurus dengan penguatan agensi dan kedisiplinan petani dalam mengadopsi *Standard Operating Procedure* (SOP) budidaya jagung, yang meningkat drastis dari 19,9% menjadi 85,1%. Perubahan perilaku teknis paling substansial terjadi pada pengaturan jarak tanam presisi, pemupukan susulan, penggunaan pupuk daun, serta penerapan prinsip pengendalian hama terpadu.

Pada dimensi teknis-agronomis, pemanfaatan inovasi pupuk biosulfur (Bioferdom) terbukti efektif sebagai pupuk pendamping NPK yang mendukung efisiensi pemupukan berimbang. Hasil uji eksperimental menunjukkan bahwa kombinasi NPK 75% dengan biosulfur 75–100% mampu menghasilkan tingkat pertumbuhan vegetatif yang setara dengan pemupukan NPK 100% tanpa biosulfur, sehingga membuka peluang penghematan penggunaan pupuk anorganik NPK sebesar 9–19%. Meskipun demikian, biosulfur tidak berfungsi sebagai substitut penuh NPK melainkan sebagai suplemen hara sulfur dan pembenah organik tanah yang mengoptimalkan serapan nutrisi tanaman.

Secara keseluruhan, integrasi Sekolah Lapang dan pemanfaatan pupuk Bioferdom memberikan dampak multidimensional yang nyata terhadap resiliensi sosial-ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Paket program ini berhasil meningkatkan produktivitas jagung dari 0,99 menjadi 1,87 ton/ha (+89,4%) serta mengeskalasi efisiensi finansial (*R/C ratio*) dari 1,26 menjadi 2,10, sekaligus menekan kerentanan ekonomi dengan menurunkan jumlah petani yang mengalami kerugian dari 10 orang menjadi 1 orang. Lebih dari sekadar peningkatan hasil panen, model ini merepresentasikan sintesis antara pemberdayaan masyarakat berbasis *andragogi* dan prinsip ekonomi sirkular melalui konversi limbah industri menjadi input pertanian berkelanjutan.

PENDANAAN

Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pemerintah, swasta, maupun organisasi lainnya.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam pelaksanaan penelitian, penulisan, maupun publikasi artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Seluruh penulis berkontribusi dalam penyusunan artikel ini. Ade Barkah, Rizaldy, Fuad Rafif Prasetyo, Muh Syair dan Dedy Wahyu Rizaldy, berperan dalam konseptualisasi penelitian,

berperan dalam pengumpulan dan analisis data, berperan dalam interpretasi hasil dan penyusunan naskah, sedangkan penulis lainnya berkontribusi dalam peninjauan, penyuntingan, dan persetujuan akhir naskah.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF

Penulis menyatakan bahwa tidak menggunakan kecerdasan artifisial generatif dalam penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- Agyin-Birikorang, S., Boubakry, C., Kadyampakeni, D. M., Adu-Gyamfi, R., Chambers, R. A., Tindjina, I., & Fuseni, A. A. (2024). Synergism of sulfur availability and agronomic nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 116(2), 753–764.
- Bachtiar, E. E., Tapi, T., Saputra, H., Budicahyono, M. E., & Konyep, E. (2025). Penyuluhan pertanian: Pendekatan, metode dan dampaknya terhadap pembangunan pertanian dalam mendukung swasembada pangan. *Journal of Sustainable Agriculture Extension*, 3(1), 42–52.
- Badan Pusat Statistik. (2025). Pada 2024, luas panen jagung pipilan mencapai 2,55 juta hektare, produksi jagung pipilan kering dengan kadar air 14 persen pada 2024 sebanyak 15,14 juta ton [Berita Resmi Statistik].
- Bakker, T., Dugué, P., & de Tourdonnet, S. (2021). Assessing the effects of Farmer Field Schools on farmers' trajectories of change in practices. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 18. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00667-2>
- Bakker, T., Dugué, P., & de Tourdonnet, S. (2022). How do farmers change their practices at the farm level after co-design processes in Farmer Field Schools? *Agricultural Systems*, 201, 103457. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103457>
- Barłóg, P., Łukowiak, R., & Hlisnikovský, L. (2022). Band phosphorus and sulfur fertilization as drivers of efficient management of nitrogen of maize (*Zea mays* L.). *Plants*, 11(13), 1660.
- Cai, J., Chen, Y., Hu, R., Wu, M., & Shen, Z. (2022). Discovering the impact of farmer field schools on the adoption of environmental-friendly technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121782. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121782>
- Carciochi, W. D., Sadras, V. O., Pagani, A., & Ciampitti, I. A. (2020). Co-limitation and stoichiometry capture the interacting effects of nitrogen and sulfur on maize yield and nutrient use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 113, 125973. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125973>
- Carciochi, W. D., Salvagiotti, F., Pagani, A., Reussi Calvo, N. I., Eyherabide, M., Sainz Rozas, H. R., & Ciampitti, I. A. (2020). Nitrogen and sulfur interaction on nutrient use efficiencies and diagnostic tools in maize. *European Journal of Agronomy*, 116, 126045. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126045>
- Cordeiro, C. M., & Sindhøj, E. (2024). Situating the discourse of recycled nutrient fertilizers in circular economy principles for sustainable agriculture. *Frontiers in Sustainability*, 5, 1465752.
- Davies, B., Coulter, J. A., & Pagliari, P. H. (2020). Timing and rate of nitrogen fertilization influence maize yield and nitrogen use efficiency. *PLOS ONE*, 15(5), e0233674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233674>
- Fontaine, D., Eriksen, J., & Sørensen, P. (2021). Sulfur from biogas desulfurization: Fate of S during storage in manure and after application to plants. *Science of the Total Environment*, 754, 142180.

- Haryanto, T., Wardana, W. W., & Basconcillo, J. A. Q. (2023). Does sending farmers back to school increase technical efficiency of maize production? Impact assessment of a farmer field school programme in Indonesia. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3), 2218469.
- Jabbar, A., Liu, W., Wang, Y., Zhang, J., Wu, Q., & Peng, J. (2022). Exploring the impact of farmer field schools on the adoption of sustainable agricultural practices and farm production: A case of Pakistani citrus growers. *Agronomy*, 12(9), 2054.
- Khairunnisa, N. F., Saidah, Z., Hapsari, H., & Wulandari, E. (2021). Pengaruh peran penyuluh pertanian terhadap tingkat produksi usahatani jagung. *Jurnal Penyuluhan*, 17(2), 113–125.
- Kurniawati, A., Toth, G., Ylivainio, K., & Toth, Z. (2023). Opportunities and challenges of bio-based fertilizers utilization for improving soil health. *Organic Agriculture*, 13, 335–350.
- Martina, T., Zuriani, Z., Riani, R., Zahara, H., & Barmawi, B. (2024). Identifikasi model penyuluhan partisipatif pada petani padi di Kabupaten Aceh Utara. *Agrifo: Jurnal Agribisnis Universitas Malikussaleh*, 9(1), 108.
- Nuzuliyah, L., & Irawan, D. (2022). Evaluasi penyuluhan model sekolah lapang terhadap perubahan perilaku petani padi di Kecamatan Jawai Kabupaten Sambas. *Partner*, 27(2), 1836.
- Škarpa, P., Antošovský, J., Ryant, P., Hammerschmiedt, T., Kintl, A., & Brtnický, M. (2021). Using waste sulfur from biogas production in combination with nitrogen fertilization of maize (*Zea mays* L.) by foliar application. *Plants*, 10(10), 2188.
- Wang, H., Cui, S., Fu, J., Gong, H., & Liu, S. (2023). Sulfur application improves the nutritional quality of maize by regulating the amino acid balance of grains. *Agronomy*, 13(12), 2912. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122912>
- Zenda, T., Liu, S., Dong, A., & Duan, H. (2021). Revisiting sulphur—The once neglected nutrient: Its roles in plant growth, metabolism, stress tolerance and crop production. *Agriculture*, 11(7), 626.