Inefisiensi Alokatif Pupuk, Pestisida serta Efektivitas Benih Hibrida Jagung di Bulango Ulu Bone Bolango

Fatrawati Podungge[1], Moh Muchlis Djibran[2], Yusriyah Atikah Gobel[3], Aditya Djaini[4]
[1,2,3,4]Program Studi Agribisnis, Fakultas Sains dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Gorontalo
e-mail : mmjibran17@umgo.ac.id[2]

ABSTRAK

Usahatani jagung di lahan kering berbukit Kecamatan Bulango Ulu menghadapi tantangan produktivitas akibat degradasi lahan dan variabilitas iklim. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis determinan produktivitas serta mendeteksi inefisiensi alokatif penggunaan input produksi. Menggunakan metode survei terhadap 91 petani responden yang dipilih dengan teknik Simple Random Sampling, data dianalisis menggunakan Regresi Linear Berganda (*Multiple Linear Regression*) dengan bantuan IBM SPSS 25.0. Model telah memenuhi seluruh uji asumsi klasik (normalitas, multikolinearitas, heteroskedastisitas). Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara simultan seluruh variabel tidak berpengaruh signifikan terhadap produktivitas (F = 1,579; Sig. = 0,163). Secara parsial, hanya benih (X2) yang berpengaruh signifikan dan positif (β = 164,362; t = 2,853; Sig. = 0,005), mengukuhkan perannya sebagai "pembawa teknologi" (*technology carrier*) yang paling vital. Penggunaan pupuk (β = −51,441; Sig. = 0,384) dan pestisida (β = −47,990; Sig. = 0,403) menunjukkan koefisien negatif yang mengindikasikan inefisiensi alokatif akibat pencucian hara (*nutrient runoff*) dan resistensi hama. Koefisien determinasi (R^2 = 0,101) menunjukkan bahwa model menjelaskan 10,1% variasi produktivitas, sementara 89,9% dipengaruhi faktor lain di luar model. Penelitian ini merekomendasikan reorientasi strategi dari intensifikasi input kimia menuju optimalisasi genetika benih yang disertai teknik konservasi tanah dan terasering.

Kata kunci : Benih Hibrida, Inefisiensi Alokatif, Lahan Miring, Produktivitas Jagung.

ABSTRACT

Maize farming in the hilly drylands of Bulango Ulu District, Bone Bolango Regency, faces significant productivity challenges due to land degradation and climate variability. This study aims to analyze productivity determinants and detect allocative inefficiency of production inputs. Using a survey method on 91 respondent farmers selected through Simple Random Sampling, data were analyzed using Multiple Linear Regression with IBM SPSS 25.0. The model passed all classical assumption tests (normality, multicollinearity, heteroscedasticity). Results indicate that simultaneously, all variables did not significantly influence productivity (F = 1.579; Sig. = 0.163). Partially, only seeds (X2) had a significant positive effect (β = 164.362; t = 2.853; Sig. = 0.005), confirming its role as the most vital "technology carrier". Fertilizer (β = −51.441; Sig. = 0.384) and pesticide (β = −47.990; Sig. = 0.403) use showed negative coefficients indicating allocative inefficiency due to nutrient runoff and pest resistance. The coefficient of determination (R^2 = 0.101) indicates that the model explains 10.1% of productivity variation, while 89.9% is attributed to other factors outside the model. This study recommends a strategic reorientation from chemical input intensification toward optimizing seed genetics accompanied by soil conservation and terracing techniques.

Keywords : Allocative Inefficiency, Hybrid Seeds, Maize Productivity, Sloping Land

I. PENDAHULUAN

Jagung (Zea mays) memegang peranan sentral dalam arsitektur ketahanan pangan nasional Indonesia, berfungsi ganda sebagai sumber nutrisi pangan sekaligus komponen fundamental dalam rantai pasok industri pakan ternak. Di Indonesia, sekitar 78% total produksi jagung dialokasikan untuk pakan ternak, menciptakan interdependensi yang kuat antara ketersediaan jagung dengan stabilitas harga produk protein hewani (Susilowati et al., 2021). Volatilitas pasokan dan harga jagung memiliki korelasi langsung terhadap metrik ketahanan pangan nasional, sehingga upaya menjamin keberlanjutan produksinya menjadi prioritas yang mendesak (Baladina et al., 2021).

Spesifik di Provinsi Gorontalo, jagung bertransformasi menjadi dinamisator utama ekonomi pedesaan, memberikan kontribusi substansial terhadap pendapatan dan stabilitas ekonomi rumah tangga petani (Baruwadi et al., 2022). Usahatani jagung tidak hanya menjamin ketahanan pangan lokal, tetapi juga berfungsi sebagai katup pengaman ekonomi yang menyediakan likuiditas tunai bagi pemenuhan kebutuhan vital seperti pendidikan dan kesehatan (Tahir et al., 2024)). Namun demikian, tantangan struktural berupa keterbatasan infrastruktur dan kerentanan iklim masih menjadi hambatan signifikan bagi optimalisasi kesejahteraan petani (Jelita et al., 2025; Race et al., 2022).

Secara teoritis, upaya peningkatan produktivitas jagung melalui intensifikasi input dikendalikan oleh hukum kenaikan hasil yang semakin berkurang (*Law of Diminishing Returns*). Pada tingkat aplikasi yang tinggi, elastisitas marjinal respons hasil terhadap nitrogen cenderung menurun, terutama ketika faktor pembatas lain seperti karbon organik tanah tidak memadai (Chamberlin et al., 2021; Mangisoni et al., 2020). Ketidakpahaman petani terhadap ambang batas kritis ini memicu praktik aplikasi berlebih (*over application*) yang menjebak petani dalam inefisiensi alokatif di mana biaya marjinal input melampaui pendapatan marjinal yang diperoleh (Olubunmi-Ajayi et al., 2024; Owombo et al., 2024).

Lebih jauh, di lahan berlereng seperti Bulango Ulu, mekanisme pencucian hara (*leaching*) dan aliran permukaan (surface runoff) menjadi jalur utama hilangnya nutrisi esensial sebelum sempat diserap akar tanaman. Wang et al. (2023) menemukan bahwa laju kehilangan Nitrogen dan Fosfor meningkat drastis pada lahan miring, sehingga input pupuk yang tinggi tidak terkonversi menjadi biomassa tetapi hilang terbawa air. Sementara itu, ketergantungan berlebih terhadap pestisida tanpa rotasi bahan aktif memicu resistensi hama (Gul et al., 2023; Siddiqui et al., 2023), yang pada gilirannya menciptakan jebakan pestisida (*pesticide treadmill*) yang merugikan petani secara ekonomi. Di tengah kompleksitas tantangan tersebut, benih varietas hibrida muncul sebagai determinan teknologi yang paling rasional. Benih hibrida direkayasa untuk memiliki potensi hasil 20%–60% lebih tinggi dibandingkan varietas bersari bebas, terutama pada kondisi lingkungan yang sub-optimal (Andorf et al., 2019). Varietas hibrida toleran kekeringan mampu mempertahankan stabilitas hasil panen meski curah hujan tidak menentu (Prasanna et al., 2021), dan memiliki efisiensi penggunaan nitrogen (*Nitrogen Use Efficiency*) yang superior (Collinson et al., 2022).

Meskipun banyak penelitian mengkaji faktor produksi jagung, masih sedikit yang secara spesifik menyoroti inefisiensi alokatif pada konteks lahan berbukit di tingkat lokal. Adanya indikasi empiris awal yang menunjukkan hubungan negatif antara penggunaan pupuk dan pestisida dengan produktivitas di Bulango Ulu menjadi anomali yang perlu dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pengaruh simultan dan parsial variabel input produksi (pupuk, benih, pestisida) serta faktor eksternal (iklim, kondisi tanah, penyuluhan) terhadap produktivitas usahatani jagung; dan (2) mendeteksi keberadaan inefisiensi alokatif di tingkat petani lahan kering Kecamatan Bulango Ulu, Kabupaten Bone Bolango.

II. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Desain Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sentra produksi jagung lahan kering Kecamatan Bulango Ulu, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Pemilihan lokasi dilakukan secara sengaja (*purposive*) dengan pertimbangan bahwa wilayah ini memiliki topografi berbukit yang merepresentasikan tantangan usahatani jagung di lahan marjinal. Pengambilan data berlangsung selama tiga bulan, dari November 2024 hingga Januari 2025. Desain penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode survei untuk menjelaskan hubungan kausalitas antar variabel produksi.

Populasi dan Sampel

Populasi dan Sampel Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh petani jagung yang tersebar di enam desa sentra produksi (Mongiilo Utara, Ilomata, Suka Makmur, Pilolaheya, Mongiilo, dan Owata) dengan total populasi sebanyak 1.039 petani. Penentuan ukuran sampel dihitung menggunakan rumus Slovin dengan batas toleransi kesalahan (*margin of error*) 10%, sehingga diperoleh sampel sebanyak 91 responden. Teknik penarikan sampel menggunakan Simple Random Sampling, di mana setiap petani dalam populasi memiliki peluang yang sama untuk dipilih menjadi responden.

Definisi Operasional Variabel

Variabel dalam penelitian ini didefinisikan sebagai berikut:

Variabel	Simbol	Definisi	Pengukuran
Produktivitas	Y	Hasil panen jagung per musim tanam yang dicapai petani responden	Ton/ha per musim tanam (data hasil wawancara)
Pupuk	X1	Persepsi petani tentang ketersediaan dan akses pupuk (Ya=1; Tidak=2)	Skala ordinal (1–2)
Benih	X2	Persepsi petani tentang ketersediaan dan akses benih unggul/hibrida (Ya=1; Tidak=2)	Skala ordinal (1–2)
Pestisida	X3	Persepsi petani tentang ketersediaan dan akses pestisida (Ya=1; Tidak=2)	Skala ordinal (1–2)
Iklim	X4	Penilaian petani terhadap kesesuaian kondisi iklim (curah hujan, suhu) untuk pertanian jagung di wilayahnya	Skala Likert 1–4 (1=Tidak Mendukung s.d. 4=Sangat Mendukung)
Kondisi Tanah	X5	Penilaian petani terhadap kondisi kesuburan dan tekstur tanah lahan pertaniannya	Skala Likert 1–5 (1=Sangat Buruk s.d. 5=Sangat Baik)
Penyuluhan Pertanian	X6	Keikutsertaan petani dalam program penyuluhan dan penilaian manfaat yang diterima	Skala Likert 1–4 (1=Tidak Bermanfaat s.d. 4=Sangat Bermanfaat)

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan metode Regresi Linear Berganda (Multiple Linear Regression) dengan bantuan perangkat lunak IBM SPSS 25.0. Model persamaan regresi yang digunakan adalah:

$$Y = a + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + e$$

Keterangan: Y = Produktivitas usahatani jagung (ton/ha); X1 = Pupuk; X2 = Benih; X3 = Pestisida; X4 = Iklim; X5 = Kondisi Tanah; X6 = Penyuluhan Pertanian; a = Konstanta; β1–β6 = Koefisien regresi masing-masing variabel; e = Standar error.

Sebelum dilakukan uji hipotesis, data telah melewati rangkaian Uji Asumsi Klasik yang meliputi: (1) Uji Normalitas menggunakan metode *One Sample Kolmogorov Smirnov Test* untuk memastikan residual berdistribusi normal; (2) Uji Multikolinearitas dengan melihat nilai Tolerance dan VIF (Variance Inflation Factor) untuk memastikan tidak ada korelasi antar variabel bebas (VIF < 10); dan (3) Uji Heteroskedastisitas menggunakan Uji Glejser untuk memastikan varians residual bersifat konstan (homoskedastis). Pengujian hipotesis dilakukan melalui Uji F (simultan) dan Uji t (parsial) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0{,}05$), serta Koefisien Determinasi (R^2) untuk mengukur kemampuan model menjelaskan variasi data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sosial Ekonomi Petani Responden

Karakteristik sosial ekonomi petani merupakan variabel kunci yang menjelaskan perilaku manajerial dalam mengalokasikan sumber daya. Berdasarkan survei terhadap 91 responden, ditemukan struktur demografi yang unik dan berbeda dari tren pertanian nasional.

Data distribusi umur menunjukkan fenomena menarik, yaitu 55% petani jagung di Bulango Ulu berusia di bawah 30 tahun, dengan dominasi kelompok usia <20 tahun mencapai 42% (n=38). Kelompok usia 31–40 tahun berkontribusi 21% (n=19) dan 41–50 tahun sebesar 23% (n=21), sementara hanya 1% (n=1) yang berusia di atas 50 tahun. Temuan ini menjadi anomali positif di tengah krisis regenerasi petani Indonesia. Secara teoritis, dominasi petani muda seharusnya berimplikasi pada adopsi teknologi yang lebih cepat. Namun, tingginya proporsi petani pemula dengan pengalaman kurang dari satu tahun (43%, n=39) mengindikasikan bahwa banyak responden masih dalam tahap *trial and error*.

Minimnya akumulasi pengalaman bertani menjadi hambatan struktural dalam pencapaian efisiensi teknis usahatani. Temuan ini selaras dengan studi empiris Tesema (2022) serta Wongnaa & Awunyo-Vitor (2018) yang menempatkan kapabilitas manajerial sebagai determinan vital dalam fungsi produksi jagung. Tanpa pengalaman memadai, keputusan alokasi input cenderung didasarkan pada perilaku imitasi (*mimicry*) terhadap kebiasaan petani sekitar yang belum tentu efisien. Risiko ini semakin membesar akibat ketiadaan layanan penyuluhan spesifik lokasi (*site specific extension*) yang seharusnya berfungsi menutup celah kompetensi tersebut (Oyinbo et al., 2019).

Dari aspek pendidikan, mayoritas petani hanya berpendidikan SD (36%, n=33) dan SMP (26%, n=24), dengan 15% (n=14) yang sama sekali tidak mengenyam pendidikan formal. Tingkat pendidikan formal yang rendah teridentifikasi sebagai hambatan struktural yang melemahkan kapasitas manajerial petani dalam mengadopsi inovasi. Hal ini konsisten dengan hasil studi empiris di berbagai negara berkembang yang menempatkan pendidikan sebagai determinan positif signifikan dalam adopsi paket teknologi jagung (Baffoe-Bonnie & Kostandini, 2019; Tesema, 2022). Dalam konteks lokasi penelitian, dominasi petani berpendidikan dasar menyebabkan pesan penyuluhan yang kompleks gagal diterjemahkan

menjadi praktik lapangan modern, sehingga petani cenderung regresi ke metode konvensional yang tidak efisien.

Hasil Uji Asumsi Klasik

Sebelum interpretasi hasil regresi dilakukan, model telah divalidasi secara ketat melalui rangkaian Uji Asumsi Klasik. Berdasarkan Uji Kolmogorov-Smirnov, seluruh variabel memiliki nilai Asymp. Sig. (2-tailed) > 0,05 (X_1=0,655; X_2=0,599; X_3=0,599; X_4=0,954; X_5=0,343; X_6=0,347; Y=0,276), mengkonfirmasi bahwa data residual berdistribusi normal. Hasil Uji Multikolinearitas menunjukkan seluruh variabel bebas memiliki nilai Tolerance > 0,10 dan VIF < 10 (berkisar antara 1,012–1,070), sehingga tidak terdeteksi masalah multikolinearitas. Selanjutnya, Uji Glejser menunjukkan bahwa seluruh variabel memiliki nilai signifikansi > 0,05 terhadap nilai absolut residual (X_1=0,765; X_2=0,389; X_3=0,107; X_4=0,487; X_5=0,915; X_6=0,404), yang berarti model bebas dari gejala heteroskedastisitas. Dengan terpenuhinya ketiga prasyarat tersebut, hasil estimasi regresi dinyatakan valid dan dapat diinterpretasikan.

Hasil Uji Simultan (Uji F)

Uji F dilakukan untuk mengetahui apakah seluruh variabel independen secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap produktivitas usahatani jagung (Y).

Tabel 1. Hasil Uji Simultan (ANOVA)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	693.837,892	6	115.639,649	1,579	0,163
Residual	6.151.549,932	84	73.232,737		
Total	6.845.387,824	90			

Sumber: Data Primer Diolah, 2025

Berdasarkan Tabel 1, nilai F-hitung sebesar 1,579 dengan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,163 > 0,05. Hasil ini menunjukkan bahwa secara bersama-sama, variabel pupuk (X1), benih (X2), pestisida (X3), iklim (X4), kondisi tanah (X5), dan penyuluhan pertanian (X6) tidak berpengaruh signifikan terhadap produktivitas usahatani jagung pada taraf kepercayaan 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi lahan marjinal berbukit di Bulango Ulu, kombinasi input yang ada belum mampu secara sinergis mendongkrak produktivitas secara nyata. Faktor-faktor topografi, degradasi lahan, dan heterogenitas kapasitas manajerial petani yang tinggi diduga berkontribusi terhadap ketidaksignifikan model secara simultan ini.

Hasil Uji Koefisien Determinasi (R^2)

Nilai R^2 sebesar 0,101 menunjukkan bahwa model regresi yang dibangun hanya mampu menjelaskan 10,1% variasi produktivitas usahatani jagung di Kecamatan Bulango Ulu, sedangkan 89,9% sisanya dijelaskan oleh faktor-faktor lain di luar model (omitted variables). Meskipun nilai R^2 ini tergolong rendah secara statistik, kondisi ini harus dipahami dalam konteks karakteristik data cross-section pertanian rakyat yang sarat dengan gangguan stokastik dan heterogenitas populasi. Sisa variasi yang besar merepresentasikan faktor-faktor spesifik lokasi yang tidak terobservasi (unobserved heterogeneity), seperti perbedaan kemiringan lereng mikro antarpetak, intensitas serangan hama yang bersifat lokal, maupun kapasitas manajerial individual petani yang sulit dikuantifikasi melalui kuesioner standar.

Kondisi ini konsisten dengan pendapat Tesema (2022) bahwa heterogenitas populasi petani kecil sering kali tidak dapat direkam secara sempurna oleh variabel survei kuantitatif standar.

Hasil Uji Parsial (Uji t) dan Persamaan Regresi

Tabel 2. Estimasi Regresi Linear Berganda Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Usahatani Jagung

Variabel	Koefisien Regresi (β)	Std. Error	t-hitung	Sig.	Keterangan
(Constant)	560,961	240,690	2,331	0,022	Signifikan
Pupuk (X1)	−51,441	58,727	−0,876	0,384	Tidak Signifikan
Benih (X2)	164,362	57,607	2,853	0,005**	Signifikan
Pestisida (X3)	−47,990	57,084	−0,841	0,403	Tidak Signifikan
Iklim (X4)	−15,392	18,973	−0,811	0,420	Tidak Signifikan
Kondisi Tanah (X5)	−1,280	21,795	−0,059	0,953	Tidak Signifikan
Penyuluhan (X6)	1,389	26,926	0,052	0,959	Tidak Signifikan

$R = 0,318$ | $R^2 = 0,101$
| Adjusted $R^2 = 0,037$

F-hitung = 1,579 | Sig.
F = 0,163

Sumber: Data Primer Diolah, 2025 ** Signifikan pada α = 0,01

Berdasarkan Tabel 2, hasil estimasi Regresi Linear Berganda menghasilkan persamaan:

$$\mathbf{Y = 560,961 - 51,441X_1 + 164,362X_2 - 47,990X_3 - 15,392X_4 - 1,280X_5 + 1,389X_6}$$

Beredasarkan tabel 2, konstanta sebesar 560,961 bermakna bahwa jika seluruh variabel independen bernilai nol (atau tidak ada intervensi input), produktivitas alami lahan Bulango Ulu hanya mampu menghasilkan sekitar 560,96 kg/ha—mengindikasikan daya dukung alami tanah (natural soil fertility) yang tergolong marjinal, sehingga sangat bergantung pada intervensi teknologi input untuk mencapai hasil yang layak. Secara parsial, hanya variabel benih (X_2) yang berpengaruh signifikan terhadap produktivitas, sementara variabel lainnya (X_1, X_3, X_4, X_5, X_6) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada α = 0,05. Berikut diuraikan pembahasan masing-masing variabel

Pengaruh Pupuk (X1) terhadap Produktivitas

Variabel Pupuk (X_1) menunjukkan nilai koefisien regresi negatif sebesar −51,441 dengan signifikansi 0,384 (tidak signifikan, α = 0,05). Arah negatif ini secara agronomis bermakna bahwa penambahan dosis pupuk berasosiasi dengan penurunan—bukan peningkatan—produktivitas di lokasi penelitian. Temuan ini membantah logika umum fungsi produksi, namun sangat rasional dalam konteks topografi Bulango Ulu yang berbukit.

Inefisiensi teknis ini erat kaitannya dengan dinamika hidrologi lahan berlereng. Petani responden cenderung menerapkan teknik pemupukan tabur permukaan (*broadcast*) tanpa pembenaman, yang meningkatkan kerentanan terhadap pencucian hara (*leaching*).

Sebagaimana dijelaskan Yao et al. (2021), topografi miring mempercepat aliran permukaan (surface runoff) yang menjadi jalur utama hanyutnya Nitrogen sebelum sempat diserap akar. Zhang et al. (2023) menegaskan bahwa mekanisme kehilangan hara ini secara drastis menurunkan Efisiensi Penggunaan Nitrogen (*Nitrogen Use Efficiency*), sehingga input pupuk yang tinggi tidak terkonversi menjadi biomassa tanaman. Kondisi ini sejalan dengan temuan Owombo et al. (2024) yang mengidentifikasi bahwa petani kecil sering terjebak dalam penggunaan input kimia berlebihan di luar batas rasionalitas ekonomi—sebuah manifestasi nyata dari inefisiensi alokatif.

Pengaruh Benih (X2) terhadap Produktivitas

Variabel Benih (X_2) memperlihatkan pengaruh positif dan signifikan pada taraf kepercayaan 99% (Sig. = 0,005) dengan koefisien regresi sebesar 164,362. Nilai koefisien ini adalah yang terbesar di antara seluruh variabel, menegaskan bahwa benih merupakan faktor pengungkit (leverage factor) paling dominan. Setiap peningkatan satu satuan indeks ketersediaan benih unggul berpotensi meningkatkan produktivitas sebesar 164,362 kg/ha, ceteris paribus—menunjukkan bahwa investasi pada kualitas genetika tanaman memberikan *Return on Investment* (ROI) tertinggi dibandingkan input lainnya.

Temuan ini mengukuhkan peran varietas hibrida sebagai "pembawa teknologi" (*technology carrier*) yang paling determinan dalam usahatani lahan kering. Varietas hibrida direkayasa secara genetik untuk mengekspresikan stabilitas hasil yang tinggi di bawah cekaman kekeringan (drought stress), melampaui kemampuan adaptasi varietas lokal (Amzeri et al., 2023; Ayenew & Worede, 2022). Keunggulan ini bersumber dari mekanisme heterosis yang, sebagaimana dijelaskan Joshi & Gautam (2021) memampukan tanaman mengembangkan arsitektur perakaran yang lebih dalam dan ekstensif guna mengakuisisi air serta nutrisi di lapisan sub soil. Lebih jauh Collinson et al. (2022) membuktikan bahwa hibrida modern memiliki efisiensi penggunaan nitrogen yang superior, memungkinkan produksi biomassa lebih tinggi dengan input hara yang lebih sedikit karakteristik yang sangat relevan untuk lahan marjinal berbukit.

Pengaruh Pestisida (X3) terhadap Produktivitas

Variabel Pestisida (X3) memiliki koefisien negatif sebesar −47,990 dengan signifikansi 0,403 (tidak signifikan). Koefisien negatif ini merefleksikan terjadinya kegagalan manajemen pengendalian hama yang bermuara pada jebakan pestisida (*pesticide treadmill*), di mana peningkatan intensitas penyemprotan justru berkorelasi dengan penurunan hasil panen.

Di lokasi penelitian, petani cenderung merespons serangan Ulat Grayak (*Spodoptera frugiperda*) secara reaktif dengan melipatgandakan dosis insektisida tanpa memperhatikan kaidah rotasi bahan aktif. Siddiqui et al. (2023) dan Gul et al. (2023) memperingatkan bahwa tekanan seleksi akibat paparan insektisida sintetik secara terus-menerus justru memicu mekanisme resistensi metabolik pada populasi hama, sehingga efikasi pengendalian menurun drastis. Selain itu, penyemprotan insektisida spektrum luas secara intensif berisiko memusnahkan populasi musuh alami (predator dan parasitoid), yang menyebabkan resurgensi hama. Koefisien negatif ini menjadi bukti empiris terjadinya inefisiensi alokatif akut, di mana biaya marjinal pembelian pestisida telah melampaui produk marjinal yang dihasilkan (Owombo et al., 2024).

Pengaruh Iklim (X4) terhadap Produktivitas

Variabel Iklim (X_4) menunjukkan koefisien negatif sebesar −15,392 dengan signifikansi 0,420 (tidak signifikan). Arah negatif ini bermakna bahwa kondisi curah hujan yang tinggi di wilayah Bulango Ulu justru menjadi faktor pembatas—bukan pendukung—

produksi jagung. Tanpa infrastruktur konservasi tanah dan air seperti rorak atau terasering, air hujan tidak dapat terinfiltrasi dengan baik ke dalam tanah, melainkan menjadi aliran permukaan yang destruktif.

Mekanisme fisik ini dijelaskan oleh Wang et al. (2023) bahwa peningkatan intensitas hujan pada lahan jagung berlereng secara drastis mengubah pola hidrologi dari infiltrasi menjadi surface runoff yang memicu erosi alur (rill erosion). Munodawafa (2012) membuktikan secara empiris bahwa erosi lembar (sheet erosion) akibat curah hujan tinggi berkorelasi linear dengan penurunan hasil panen jagung, akibat hanyutnya partikel tanah yang memuat nutrisi esensial. Temuan ini menegaskan bahwa tanpa intervensi teknik konservasi, curah hujan yang seharusnya menjadi aset justru berubah menjadi ancaman bagi keberlanjutan usahatani di lahan miring.

Pengaruh Kondisi Tanah (X5) terhadap Produktivitas

Variabel Kondisi Tanah (X_5) memiliki koefisien negatif yang sangat kecil (−1,280) dan tidak signifikan (Sig. = 0,953). Tanda negatif ini memberikan sinyal adanya kelelahan lahan (*soil fatigue*) atau degradasi kualitas tanah yang tersamar. Praktik budidaya jagung secara monokultur terus-menerus tanpa masa bera (*fallow period*) diduga telah menguras kandungan bahan organik tanah secara masif di lokasi studi.

Temuan ini sejalan dengan studi Tesema (2022) yang melaporkan bahwa budidaya serealia terus-menerus tanpa pengembalian residu organik menyebabkan deplesi karbon organik tanah (SOC). Hilangnya bahan organik ini secara langsung mematikan kapasitas penyangga hara (*nutrient buffering capacity*) dan merusak struktur fisik tanah (Baffoe-Bonnie & Kostandini, 2019). Akibatnya, tanah kehilangan responsivitasnya terhadap pemupukan; input kimia yang diberikan tidak dapat diikat oleh koloid tanah yang telah terdegradasi, sehingga produktivitas stagnan meskipun dosis pupuk ditingkatkan. Kondisi ini memperkuat temuan variabel X_1 bahwa ada hubungan negatif antara intensifikasi input kimia dengan produktivitas di lahan marjinal yang sudah terdegradasi

Pengaruh Penyuluhan Pertanian (X6) terhadap Produktivitas

Variabel Penyuluhan Pertanian (X6) menunjukkan arah positif (1,389) namun tidak signifikan (Sig. = 0,959). Koefisien positif yang sangat kecil ini mengindikasikan bahwa layanan penyuluhan yang tersedia belum memberikan dampak nyata terhadap peningkatan produktivitas, meskipun secara konseptual bergerak ke arah yang benar.

Inefektivitas ini mencerminkan adanya kesenjangan struktural dalam metode penyampaian informasi agronomis. Olayemi & Oduntan (2020) serta Liu et al. (2021) mengidentifikasi bahwa model penyuluhan tradisional yang bersifat "satu ukuran untuk semua" (one-size-fits-all) sering gagal memenuhi kebutuhan spesifik petani muda yang heterogen. Lebih jauh, Bullock et al. (2023) menambahkan bahwa pemuda tani sering menghadapi hambatan ganda: akses informasi yang terputus dan keterbatasan aset produksi untuk mengeksekusi rekomendasi teknis, sehingga keberadaan penyuluh hanya menjadi variabel administratif semata. Oyinbo et al. (2019) menegaskan bahwa sekadar kehadiran penyuluh tidak cukup; diperlukan interaksi yang frekuentif dan rekomendasi yang bersifat spesifik-lokasi (site-specific) agar petani mampu menerapkan teknologi secara tepat sasaran

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda terhadap 91 petani jagung di Kecamatan Bulango Ulu, Kabupaten Bone Bolango, penelitian ini menghasilkan tiga kesimpulan utama yang langsung menjawab tujuan penelitian:

Pertama, secara simultan seluruh variabel (pupuk, benih, pestisida, iklim, kondisi tanah, dan penyuluhan) tidak berpengaruh signifikan terhadap produktivitas usahatani jagung (F = 1,579; Sig. = 0,163 > 0,05). Rendahnya kemampuan penjelasan model (R^2 = 0,101) mengindikasikan bahwa faktor-faktor spesifik-lokasi yang tidak terobservasi—seperti perbedaan kemiringan lereng mikro dan kapasitas manajerial individual—mendominasi variasi produktivitas di wilayah berbukit ini.

Kedua, secara parsial hanya variabel benih (X_2) yang berpengaruh signifikan dan positif terhadap produktivitas (β = 164,362; t = 2,853; Sig. = 0,005), mengukuhkan perannya sebagai "pembawa teknologi" (technology carrier) yang paling vital. Penggunaan benih hibrida berkualitas terbukti mampu meningkatkan produktivitas secara substansial—menegaskan bahwa investasi pada kualitas genetika memberikan Return on Investment tertinggi di lahan marjinal.

Ketiga, ditemukan adanya indikasi inefisiensi alokatif yang serius pada penggunaan input kimia, ditandai oleh koefisien negatif pada variabel pupuk (β = −51,441) dan pestisida (β = −47,990). Fenomena ini terjadi akibat pencucian hara (nutrient runoff) pada lahan miring dan terbentuknya resistensi hama akibat penggunaan pestisida yang tidak tepat sasaran. Temuan ini menolak strategi intensifikasi buta yang hanya mengandalkan penambahan dosis input kimia tanpa disertai teknik konservasi tanah yang memadai

.

Saran

Berdasarkan temuan inefisiensi input kimia dan keunggulan benih hibrida, penelitian ini merekomendasikan: (1) Petani di lahan miring perlu merasionalisasi penggunaan pupuk dan pestisida serta mengalihkan alokasi modal ke investasi benih varietas hibrida bermutu yang terbukti memberikan daya ungkit produktivitas tertinggi. (2) Pemerintah daerah perlu merevitalisasi metode penyuluhan dari pendekatan konvensional menjadi pendampingan teknis intensif (*coaching*) yang sesuai profil petani muda berpendidikan rendah, sekaligus memfasilitasi pembangunan infrastruktur konservasi sederhana seperti rorak dan terasering untuk meminimalkan degradasi lahan. (3) Bagi penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan metode *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) yang dapat memisahkan efisiensi teknis dari efisiensi alokatif secara lebih presisi, serta memasukkan variabel biofisik spesifik seperti kemiringan lereng, tekstur tanah, dan kandungan bahan organik tanah guna menangkap heterogenitas inefisiensi secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul, M. S., Tashikalma, A. K., Maurice, D. C., & Shittu, F. M. (2018). Analysis of Cost Efficiency of Rainfed Maize Production in Yola North and Yola South Local Government Areas of Adamawa State, Nigeria. *Global Journal of Agricultural Sciences*, *16*(1), 65. https://doi.org/10.4314/gjass.v16i1.9

Abdulai, S., Nkegbe, P. K., & Donkor, S. (2017). Assessing the Economic Efficiency of Maize Production in Northern Ghana. *Ghana Journal of Development Studies*, *14*(1), 123. https://doi.org/10.4314/gjds.v14i1.7

Amzeri, A., Suhartono, S., Pawana, G., Ma'arif, A., & Suwarno, I. (2023). Genotype by Environment Interaction on Early-Maturing and High-Yield Maize Hybrids. *Journal of Human Earth and Future*, *4*(1), 54–69. https://doi.org/10.28991/hef-2023-04-01-05

Andaregie, A., & Astatkie, T. (2020). Determinants of Technical Efficiency of Potato Farmers and Effects of Constraints on Potato Production in Northern Ethiopia. *Experimental Agriculture*, *56*(5), 699–709. https://doi.org/10.1017/s0014479720000253

Andorf, C. M., Beavis, W. D., Hufford, M. B., Smith, S. J., Suza, W., Wang, K., Woodhouse, M., Yu, J., & Lübberstedt, T. (2019). Technological Advances in Maize Breeding: Past, Present and Future. *Theoretical and Applied Genetics*, *132*(3), 817–849. https://doi.org/10.1007/s00122-019-03306-3

Ayenew, A., & Worede, F. (2022). Performance Evaluation of Maize Hybrids for Yield Characteristics Under Drought Stress Condition of Southern Tigray Region. *American Journal of Plant Biology*, *7*(1), 26. https://doi.org/10.11648/j.ajpb.20220701.14

Baffoe-Bonnie, A., & Kostandini, G. (2019). Annual and Cropping Season Environmental Production Conditions Effects on Smallholder Technical Efficiency in Sub-Saharan Africa: Evidence From Ethiopia. *Agricultural Economics*, *50*(6), 779–791. https://doi.org/10.1111/agec.12524

Baladina, N., Sugiharto, A. N., Anindita, R., & Laili, F. (2021). Price Volatility of Maize and Animal Protein Commodities in Indonesia During the Covid-19 Season. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, *803*(1), 012060. https://doi.org/10.1088/1755-1315/803/1/012060

Baruwadi, M., Akib, F. H. Y., & Adam, E. (2022). Inequality and Income Structure: A Case Study on Maize Farmer Household in Gorontalo Regency. *Jambura Agribusiness Journal*, *4*(1), 33–40. https://doi.org/10.37046/jaj.v4i1.15482

Benjamin, E. O., Ola, O., Lang, H., & Buchenrieder, G. (2020). Public-Private Cooperation and Agricultural Development in Sub-Saharan Africa: A Review of Nigerian Growth Enhancement Scheme and E-Voucher Program. *Food Security*, *13*(1), 129–140. https://doi.org/10.1007/s12571-020-01130-y

Chamberlin, J., Jayne, T. S., & Snapp, S. S. (2021). The Role of Active Soil Carbon in Influencing the Profitability of Fertilizer Use: Empirical Evidence From Smallholder Maize Plots in Tanzania. *Land Degradation and Development*, *32*(9), 2681–2694. https://doi.org/10.1002/ldr.3940

Collinson, S., Hamdziripi, E., Groote, H. D., Ndegwa, M., Cairns, J. E., Albertsen, M. C., Ligeyo, D., Mashingaidze, K., & Olsen, M. (2022). Incorporating Male Sterility Increases Hybrid Maize Yield in Low Input African Farming Systems. *Communications Biology*, *5*(1). https://doi.org/10.1038/s42003-022-03680-7

Deng, M., Ma, H., Sadeghpour, A., Yang, G., Hu, Y., & Dong, Y. (2023). Responses of Crop Production and Soil Health to Chemical Nitrogen Fertilization in a Maize-Wheat Rotation System. *Frontiers in Environmental Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1108288

Ekunwe, P. A., Henri-Ukoha, A., & Emmanuel, R. (2018). Technical Efficiency and Return to Scale in Yam Production in Tai Local Government Area of Rivers State, Nigeria. *Advances in Research*, *15*(2), 1–9. https://doi.org/10.9734/air/2018/41571

Firisa, T. (2019). Review on Economic Efficiency of Maize Production in Ethiopia. *FSQM*. https://doi.org/10.7176/fsqm/84-04

Gul, H., Gowda, G. B., Güncan, A., Tyagi, S., Ullah, F., Desneux, N., & Liu, X. (2023). Fitness Costs of Resistance to Insecticides in Insects. *Frontiers in Physiology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1238111

Huang, T., Ju, X., & Yang, H. (2017). Nitrate Leaching in a Winter Wheat-Summer Maize Rotation on a Calcareous Soil as Affected by Nitrogen and Straw Management. *Scientific Reports*, *7*(1). https://doi.org/10.1038/srep42247

Jelita, P. V, Nendissa, D. R., & Bani, A. (2025). Socio-Economic Factors Affecting Corn Farming Income and Its Contribution to Household Income. *Buletin Ilmiah Impas*, *26*(2), 111–118. https://doi.org/10.35508/impas.v26i2.24736

Joshi, P., & Gautam, D. (2021). Genetic Insights on Single Cross Maize Hybrid and Its Importance on Maize Self-Sufficiency in Nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, *6*(2), 218–226. https://doi.org/10.26832/24566632.2021.0602014

Kante, M. (2021). An ICT-Based Extension Services' Adoption Model for Public Extension Officers: A Case in Mali. *Journal of Information Systems and Technology Management*, *18*. https://doi.org/10.4301/s1807-1775202118004

Kurnia, S. A., Ekowati, T., & Handayani, M. (2023). Analysis of Production Efficiency in Hybrid Corn Seed Farming in Randublatung District Blora Regency. *Agrisocionomics Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, *8*(2), 350–362. https://doi.org/10.14710/agrisocionomics.v8i2.19562

Liu, Q., Jiang, Y., Lagerkvist, C. J., & Huang, W. (2021). Extension Services and the Technical Efficiency of Crop-specific Farms in China. *Applied Economic Perspectives and Policy*, *45*(1), 436–459. https://doi.org/10.1002/aepp.13209

Mahmood, F., Khan, İ., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., & Ullah, S. (2017). Effects of Organic and Inorganic Manures on Maize and Their Residual Impact on Soil Physico-Chemical Properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, (ahead), 0–0. https://doi.org/10.4067/s0718-95162017005000002

Makkar, H. P. S. (2018). Review: Feed Demand Landscape and Implications of Food-Not Feed Strategy for Food Security and Climate Change. *Animal*, *12*(8), 1744–1754. https://doi.org/10.1017/s175173111700324x

Mangisoni, J., Jayne, T. S., & Chigowo, M. (2020). Effects of Nitrogen and Carbon Application on Maize Output in Ntcheu and Dedza Districts of Central Malawi. *Jesd*. https://doi.org/10.7176/jesd/11-2-04

Norton, G. W., & Alwang, J. (2020). Changes in Agricultural Extension and Implications for Farmer Adoption of New Practices. *Applied Economic Perspectives and Policy*, *42*(1), 8–20. https://doi.org/10.1002/aepp.13008

Okello, D. M., Bonabana-Wabbi, J., & Mugonola, B. (2019). Farm Level Allocative Efficiency of Rice Production in Gulu and Amuru Districts, Northern Uganda. *Agricultural and Food Economics*, *7*(1). https://doi.org/10.1186/s40100-019-0140-x

Olayemi, S. S., & Oduntan, F. T. (2020). Effectiveness of Traditional Extension Models Among Rural Dwellers in Sub-Saharan African Communities. *International Journal of Advanced Research*, *08*(04), 401–415. https://doi.org/10.21474/ijar01/10791

Oldfield, E. E., Bradford, M. A., & Wood, S. A. (2019). Global Meta-Analysis of the Relationship Between Soil Organic Matter and Crop Yields. *Soil*, *5*(1), 15–32. https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019

Olubunmi-Ajayi, T. S., Oladoyin, O. P., Adebayo, J., & Akintuyi, O. B. (2024). Determinants of Maize Production Efficiency: A Stochastic Frontier Analysis Across Farm Scales in Southwest, Nigeria. *Discov. Agric.*, *10*(22), 1–12. https://doi.org/10.54905/disssi.v10i22.e19da1593

Owombo, P. T., Ibidapo, I., & Ariyo, A. C. (2024). Resource Use Efficiency and Returns to Scale in Maize Production in Ondo State, Nigeria. *Agrosearch*, *22*(2), 41–49. https://doi.org/10.4314/agrosh.v22i2.4

Oyinbo, O., Chamberlin, J., Vanlauwe, B., Vranken, L., Kamara, Y. A., Craufurd, P., & Maertens, M. (2019). Farmers' Preferences for High-Input Agriculture Supported by Site-Specific Extension Services: Evidence From a Choice Experiment in Nigeria. *Agricultural Systems*, *173*, 12–26. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.003

Phambala, K., Tembo, Y., Kasambala, T., Kabambe, V. H., Stevenson, P. C., & Belmain, S. R. (2020). Bioactivity of Common Pesticidal Plants on Fall Armyworm Larvae (Spodoptera Frugiperda). *Plants*, *9*(1), 112. https://doi.org/10.3390/plants9010112

Prasanna, B. M., Cairns, J. E., Zaidi, P. H., Beyene, Y., Makumbi, D., Gowda, M., Magorokosho, C., Zaman-Allah, M., Olsen, M., Das, A., Worku, M., Gethi, J., Vivek, B., Nair, S., Rashid, Z., Vinayan, M. T., Issa, A. B., Vicente, F. S., Dhliwayo, T., & Zhang, X. (2021). Beat the Stress: Breeding for Climate Resilience in Maize for the Tropical Rainfed Environments. *Theoretical and Applied Genetics*, *134*(6), 1729–1752. https://doi.org/10.1007/s00122-021-03773-7

Race, D., Suka, A. P., Oktalina, S. N., Bisjoe, A. R. H., Muin, N., & Arianti, N. (2022). Modern Smallholders: Creating Diversified Livelihoods and Landscapes in Indonesia. *Small-Scale Forestry*, *21*(2), 203–227. https://doi.org/10.1007/s11842-021-09495-4

Rana, R. K., Kaur, R., Singh, Rajbir, Shirur, M., Padaria, R. N., Monga, S., Singh, R. K., Singh, Randhir, & Singh, A. K. (2023). A Critical Review and SWOT Analysis of Important Extension Agencies in India for Improving Extension Management. *Agricultural Reviews*, (Of). https://doi.org/10.18805/ag.r-2522

Siddiqui, J. A., Fan, R., Naz, H., Bamisile, B. S., Hafeez, M., Ghani, M. I., Wei, Y., Xu, Y., & Chen, X. (2023). Insights Into Insecticide-Resistance Mechanisms in Invasive Species: Challenges and Control Strategies. *Frontiers in Physiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1112278

Susilowati, S. H., Ariningsih, E., Saliem, H. P., Roosganda, E., Adawiyah, C. R., & Muksin, M. (2021). Opportunities and Challenges to Increase Corn Export From Gorontalo Province of Indonesia. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, *672*(1), 012027. https://doi.org/10.1088/1755-1315/672/1/012027

Tahir, N. S., Baruwadi, M., & Sirajuddin, Z. (2024). Skenario Peningkatan Pendapatan Dalam Usahatani Jagung Melalui Adopsi Teknologi Di Desa Tulabolo Barat, Provinsi Gorontalo. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, *12*(1), 31. https://doi.org/10.23960/jiia.v12i1.8301

Tesema, T. (2022). Determinants of Production Efficiency of Maize-Dominated Farmers in Western Parts of Ethiopia in Gudeya Bila District: Evidence Under Shifting Cultivation Area. *The Scientific World Journal*, *2022*, 1–6. https://doi.org/10.1155/2022/3355224

Tito, M. D., & Wang, R. (2017). Exporting and Frictions in Input Markets: Evidence From Chinese Data. *Finance and Economics Discussion Series*, *2017.0*(77). https://doi.org/10.17016/feds.2017.077

Ullah, M. S., Sharmin, D., Tumpa, T. A., Rashed, M. T. N. N., Mondal, P., Akram, M. W., Chowdhury, S., Ahmad, M., Gotoh, T., & Chaudhary, M. (2023). Invasion, Distribution, Monitoring and Farmers Perception of Fall Armyworm (Spodoptera Frugiperda) and Farm-Level Management Practices in Bangladesh. *Insects*, *14*(4), 343. https://doi.org/10.3390/insects14040343

Walisinghe, B. R., Ratnasiri, S., Rohde, N., & Guest, R. (2017). Does Agricultural Extension Promote Technology Adoption in Sri Lanka. *International Journal of Social Economics*, *44*(12), 2173–2186. https://doi.org/10.1108/ijse-10-2016-0275

Wang, P., Liu, D., & Huang, Y. (2024). From Technology Adoption to Scientific Application: Can Agricultural Extension Services Effectively Promote Farmers' Scientific Fertilization? *Polish Journal of Environmental Studies*, *33*(4), 4747–4758. https://doi.org/10.15244/pjoes/178009

Wang, S., Liu, Q., Liu, Z., He, J., Li, B., Zhang, J., & Zhang, N. (2023). Simulation Study on Risk and Influencing Factors of Cadmium Loss in Contaminated Soil. *Sustainability*, *15*(2), 1553. https://doi.org/10.3390/su15021553

Wekha, W. N., Korir, N. K., Gichimu, M. V, & Hezron, A. (2023). Efficacy Evaluation of Organic Fertilizers on Growth, Yield and Quality Parameters of French Beans, Maize and Kale in Different Counties of Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*, *35*(13), 60–65. https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i132987

Wongnaa, C. A., & Awunyo-Vitor, D. (2018). Achieving Sustainable Development Goals on No Poverty and Zero Hunger: Does Technical Efficiency of Ghana's Maize Farmers Matter? *Agriculture & Food Security*, *7*(1). https://doi.org/10.1186/s40066-018-0223-z

Yao, Y., Dai, Q., Gao, R., Gan, Y., & Yi, X. (2021). Effects of Rainfall Intensity on Runoff and Nutrient Loss of Gently Sloping Farmland in a Karst Area of SW China. *Plos One*, *16*(3), e0246505. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246505

Zhang, L., Zhang, X., Gao, Q., & Li, Y. (2023). Nitrogen Application Effect on Maize Yield, NH3, and N2O Emissions in Northeast China by Meta-Analysis. *Agronomy*, *13*(6), 1479. https://doi.org/10.3390/agronomy13061479