

STUDI KASUS EFISIENSI AGRONOMI DENGAN RANCANGAN ACAK LENGKAP FAKTORIAL

Fuji Winanti¹, Ikrimah Sabina Triadi², Zahra Putri³

^{1,2,3}Universitas Negeri Medan

fujiwinanti03@gmail.com

ABSTRACT; *This study analyzed the effect of nitrogen dose, soil type, and soil moisture on Agronomic Efficiency (AE) in corn plants using a Factorial Completely Randomized Design. The objective of the study was to obtain a more complete picture of the agronomic response mechanisms to these three factors and to identify the most effective treatment combinations to increase fertilizer efficiency. Secondary data were obtained from a public dataset compiled by Adebayo and Sebetha (2023), covering two soil types, four nitrogen levels (60–240 kg/ha), and two soil moisture conditions (45% and 100% field capacity). The analysis was performed through ANOVA, assumption testing, effect size calculation, and interaction visualization. The results showed that nitrogen dose and soil moisture had a very significant effect on AE. All two-way interactions were significant, while the three-way interaction showed a complex response pattern. The highest AE value was obtained in Soil A with 240 kg/ha of nitrogen and 100% moisture, while the lowest value was found in Soil B with 60 kg/ha at 45% moisture.*

Keywords: *Argonomic Efficiency, Nitrogen, Soil Type, Soil Moisture, Factorial Design, RAL.*

ABSTRAK; Penelitian ini menganalisis pengaruh dosis nitrogen, tipe tanah, dan kelembapan tanah terhadap Efisiensi Agronomi (AE) pada tanaman jagung menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial. Tujuan dari penelitian adalah memperoleh gambaran yang lebih lengkap tentang mekanisme respons agronomi terhadap ketiga faktor tersebut dan mengidentifikasi kombinasi perlakuan yang paling efektif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan. Data sekunder didapat dari dataset publik yang disusun oleh Adebayo dan Sebetha (2023), mencakup dua tipe tanah, empat level nitrogen (60–240 kg/ha), dan dua kondisi kelembapan tanah (45% dan 100% kapasitas lapang). Analisis dilakukan melalui ANOVA, pengujian asumsi, perhitungan ukuran efek, serta visualisasi interaksi. Hasil menunjukkan bahwa dosis nitrogen dan kelembapan tanah memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap AE. Semua interaksi dua arah signifikan, sementara interaksi tiga arah menunjukkan pola respons yang kompleks. Nilai AE tertinggi diperoleh pada Tanah A dengan nitrogen 240 kg/ha

dan kelembapan 100%, sedangkan nilai terendah ditemukan pada Tanah B dengan 60 kg/ha pada kelembapan 45%.

Kata Kunci: Efisiensi Argonomi, Nitrogen, Tipe Tanah, Kelembapan Tanah, Desain faktorial, RAL.

PENDAHULUAN

Efisiensi argonomi menjadi salah satu indikator penting dalam penelitian budidaya tanaman karena menggambarkan kemampuan sistem Produksi memanfaatkan sumber daya seperti pupuk, air, dan energi tumbuhan secara optimal untuk mencapai hasil yang tinggi. Dalam penelitian argonomi modern, pemahaman mengenai efisiensi argonomi sangat berkaitan dengan kombinasi perlakuan pertanian memengaruhi respons tanaman (Wardani, et al, 2023). Respons fisiologis tanaman terhadap faktor agronomis seperti pemupukan bersifat kompleks dan terjadi dalam skala dari molekuler hingga kanopi, sehingga memerlukan pendekatan analitis yang komprehensif (Ying et al., 2024). Nitrogen adalah nutrient utama dan alat vital untuk pertumbuhan tanaman serta konstituen utama klorofil, senyawa yang memungkinkan tanaman memanfaatkan energi sinar matahari untuk menghasilkan pati dari air dan karbon dioksida (fotosintesis), pembentukan protein, dan mempengaruhi perkembangan tanaman (Owais et al., 2025). Kekurangan nitrogen dalam tanah menyebabkan Pertumbuhan tanaman terhambat dan produktivitas menurun (Abbas et al, 2021).

Selain Nitrogen, tipe tanah dan kelembapan tanah juga menjadi faktor yang berpengaruh terhadap Pertumbuhan tanaman. Tipe tanah memiliki peran penting dalam menentukan bagaimana tanaman merespons pemupukan karena karakteristik fisik dan kimianya memengaruhi dinamika hara, retensi air, serta kemampuan akar menyerap nutrisi (Ifadah et al, 2021). Sifat tanah seperti salinitas dapat secara signifikan mengganggu nasib (fate) nitrogen di dalam tanah, meningkatkan kehilangan nitrogen melalui pencucian dan emisi gas, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi penggunaannya (L. Du et al., 2025). Tidak hanya itu, salinitas juga menginduksi stres fisiologis langsung pada tanaman. Namun, pemberian nutrisi seperti nitrogen dapat berperan dalam mitigasi stres ini dengan memperkuat mekanisme pertahanan tanaman, seperti yang ditunjukkan pada studi tanaman

sorghum yang mengalami peningkatan toleransi melalui perbaikan sistem pemulungan radikal bebas (ROS scavenging) dan regulasi osmotik (Guo et al., 2023). Kelembapan tanah yang tidak stabil dapat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman. Kelembapan tanah yang tidak terjaga, baik karena penguapan berlebih maupun kurangnya curah hujan, dapat menyebabkan stres pada tanaman dan berdampak negatif terhadap produktivitas lahan (Muhammad, 2025)

Pada penelitian terdahulu menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap nitrogen sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh, termasuk tipe tanah dan ketersediaan air. Adebayo & Sebetha (2023) melaporkan bahwa interaksi antara nitrogen dan kelembapan tanah memiliki peran signifikan dalam menentukan efisiensi penggunaan nitrogen pada tanaman jagung, khususnya varietas yang dikembangkan untuk kondisi cekaman air. Temuan serupa dilaporkan oleh (Devkota et al., 2023) yang menunjukkan bahwa sumber nitrogen yang berbeda (urea, nano urea, dan kombinasinya) memberikan respons pertumbuhan dan serapan nitrogen yang berbeda pada jagung, yang sangat dipengaruhi oleh tingkat kelembapan tanah. Di sisi lain, penelitian Owais et al. (2025) menjelaskan bahwa heterogenitas sifat tanah, seperti kapasitas menahan air dan ketersediaan bahan organik, dapat memodulasi respons tanaman terhadap pemupukan nitrogen, sehingga pemahaman yang komprehensif terhadap interaksi faktor tanah, air, dan nutrisi menjadi krusial. Interaksi ini bahkan lebih kompleks pada tanah bermasalah seperti tanah salin, di mana pemberian nitrogen dapat meringankan dampak stres garam pada respons fisiologis tanaman seperti fotosintesis dan regulasi stomata, namun hanya efektif pada tingkat salinitas tertentu (K. Du et al., 2022).

Meskipun beberapa penelitian telah mengkaji faktor-faktor agronomis ini, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada satu atau dua faktor terisolasi, sehingga gagal memberikan analisis komprehensif tentang interaksi tiga arah tersebut. Sebagai contoh, kajian mengenai interaksi nitrogen dan salinitas seringkali tidak mempertimbangkan variasi ketersediaan air (K. Du et al., 2022), sementara studi tentang nitrogen dan air mungkin mengabaikan variasi tipe tanah termasuk parameter salinitas (Devkota et al., n.d.). Penelitian yang secara eksplisit mengintegrasikan ketiga faktor—dosis nitrogen, tipe tanah (dengan karakteristik seperti salinitas), dan rejim kelembapan tanah—dalam satu kerangka

eksperimen faktorial masih terbatas. Hal ini menyoroti keterbatasan utama penelitian sebelumnya: kurangnya pendekatan analitis yang secara simultan mengevaluasi pengaruh nitrogen, jenis tanah, dan kelembaban tanah. Keterbatasan ini menimbulkan pertanyaan tentang bagaimana ketiga faktor ini berinteraksi untuk membentuk mekanisme respons agronomis dan bagaimana kombinasi perlakuan terbaik dapat ditentukan untuk meningkatkan efisiensi pupuk.

Keterbatasan tersebut menjelaskan bahwa perlunya pendekatan analisis yang mampu menilai setiap faktor secara simultan beserta interaksinya. Salah satu pendekatan statistik yang banyak digunakan dalam penelitian pertanian adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RAFL) karena rancangan ini memungkinkan setiap kombinasi perlakuan diuji sehingga pengaruh utama serta interaksi antar faktor dapat dianalisis secara tepat melalui ANOVA (Tanah et al., 2022). Desain faktorial itu sendiri bertujuan untuk menguji efek gabungan dari faktor dan bagaimana interaksi ini memengaruhi respons tanaman. Selain itu, percobaan faktorial menegaskan bahwa kombinasi perlakuan dapat menghasilkan interaksi yang bersifat sinergis maupun saling menghambat (Darmawan et al., 2024). Oleh karena itu, RAFL menyediakan dasar analitis yang komprehensif untuk mengevaluasi mekanisme respons agronomis terhadap nitrogen, jenis tanah, dan kelembaban tanah.

Mengingat adanya keterbatasan penelitian tersebut, pertanyaan penelitian dalam studi ini adalah bagaimana nitrogen, jenis tanah, dan kelembaban tanah, baik secara terpisah maupun melalui interaksinya, memengaruhi efisiensi agronomi. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap tentang mekanisme respons agronomi terhadap ketiga faktor tersebut dan mengidentifikasi kombinasi perlakuan yang paling efektif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RAFL) untuk menganalisis pengaruh tipe tanah, dosis nitrogen, dan kelembapan tanah terhadap Efisiensi Agronomi (AE) tanaman jagung varietas WEMA. Pemilihan desain faktorial mengikuti rekomendasi metodologis dari (Montgomery, 2017) serta (Chatfield et al., 2003), yang menekankan bahwa desain faktorial lebih efisien untuk mengungkap efek utama maupun

interaksi antar faktor dalam penelitian agronomi. Data yang digunakan bersumber dari dataset publik “Dataset on effects of nitrogen fertilizer and soil moisture levels on the performance of Water Efficient Maize (WEMA) Ferric Luvisol and Rhodic Ferralsol soils” yang disusun oleh Adebayo dan Sebetha (2023), sehingga penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian kuantitatif dengan data sekunder. Dataset tersebut memuat informasi mengenai dua jenis tanah, empat level dosis nitrogen (60, 120, 180, dan 240 kg/ha), serta dua tingkat kelembapan tanah (45% dan 100% kapasitas lapang), yang keseluruhannya digunakan sebagai faktor perlakuan. Variabel respon yang dianalisis adalah nilai Efisiensi Agronomi (AE) yang telah dihitung dalam dataset.

Proses analisis dimulai dengan pemeriksaan kualitas data yang meliputi pengecekan data hilang, konsistensi, serta identifikasi potensi kesalahan pencatatan. Selanjutnya dilakukan uji asumsi dasar ANOVA berupa uji normalitas residual dan homogenitas varians menggunakan uji Levene. Tahap ini penting untuk memastikan kelayakan model ANOVA, sesuai panduan analisis eksperimen pertanian modern sebagaimana dijelaskan (Mustafa & Allam, 2025). Setelah asumsi terpenuhi, analisis dilanjutkan dengan ANOVA faktorial tiga arah untuk mengevaluasi pengaruh tipe tanah, dosis nitrogen, dan kelembapan tanah beserta seluruh interaksinya. Model ANOVA yang digunakan mencakup efek utama dari ketiga faktor serta interaksi dua arah (tanah \times nitrogen, tanah \times kelembapan, nitrogen \times kelembapan) dan interaksi tiga arah (tanah \times nitrogen \times kelembapan). Pendekatan ini sejalan dengan praktik analisis eksperimen pertanian berbasis desain faktorial sebagaimana direkomendasikan oleh (Parmar et al., 2022).

Jika ANOVA menunjukkan adanya pengaruh signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji pemisahan rata-rata menggunakan metode Tukey HSD untuk mengidentifikasi perbedaan antar level perlakuan. Selain itu dihitung pula ukuran efek menggunakan nilai Partial Eta Squared untuk mengevaluasi besarnya kontribusi setiap faktor terhadap variasi AE. Visualisasi berupa plot interaksi digunakan untuk menggambarkan pola hubungan antara faktor-faktor tersebut, terutama dalam mengidentifikasi adanya crossover interaction atau perubahan arah efek antar perlakuan, sebagaimana disarankan (Mustafa & Allam, 2025) dalam studi desain faktorial. Seluruh proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik SPSS yang mendukung ANOVA faktorial dan visualisasi interaksi.

Dengan rangkaian prosedur ini, metode penelitian secara keseluruhan mampu mengungkap pengaruh tunggal maupun interaksi kompleks antar faktor agronomis terhadap Efisiensi Agronomi, sehingga memberikan informasi yang kuat dan terukur dalam penyusunan interpretasi hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Uji Asumsi dan Analisis Ragam

Berdasarkan uji Levene, data memenuhi asumsi homogenitas ragam dengan nilai p sebesar 0,908, sehingga pelaksanaan analisis ragam dapat dilanjutkan. Hasil analisis ragam tiga faktor dari Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RAFL) disajikan pada Tabel 1. Tabel tersebut memperlihatkan bahwa ketiga perlakuan utama, yaitu tipe tanah, dosis nitrogen, dan kelembapan tanah memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi agronomi (AE). Faktor dosis nitrogen menunjukkan pengaruh paling besar (F -hitung = 1244,43, $p < 0.001$), disusul oleh kelembapan tanah (F -hitung = 422,87; $p < 0.001$) dan tipe tanah (F -hitung = 7,82; $p = 0.009$).

Tabel 1. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) untuk Efisiensi Agronomi (AE)

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	df	Kuadrat Tengah	F-hitung	Sig.	Partial Eta Squared
Tipe Tanah (S)	146,906	1	146,906	7,817	0,009	0,201
Dosis Nitrogen (N)	70162,160	3	23387,387	1244,429	0,000	0,992
Kelembapan Tanah (M)	7947,194	1	7947,194	422,866	0,000	0,932
$S \times N$	2820,071	3	940,024	50,018	0,000	0,829
$S \times M$	2391,252	1	2391,252	127,237	0,000	0,804
$N \times M$	4417,536	3	1472,512	78,352	0,000	0,883
$S \times N \times M$	388,148	3	129,383	6,884	0,001	0,400
Galat	582,604	31	18,794			
Total	176676,782	47				
Total Terkoreksi	89520,758	46				

Analisis ukuran efek dengan *Partial Eta Squared* pada Tabel 1 menunjukkan besarnya pengaruh masing-masing faktor. Dosis nitrogen memiliki pengaruh terbesar, diikuti oleh kelembapan tanah. Selain itu, semua interaksi dua arah menunjukkan efek yang besar dengan rentang nilai Eta sebesar 0,804-0,883, sedangkan interaksi tiga arah memiliki efek yang tidak terlalu besar dengan nilai Eta sebesar 0,400. Semua interaksi ini mengkonfirmasi bahwa respon AE terhadap satu faktor bergantung pada kondisi faktor lainnya.

2. Pengaruh Faktor Tunggal terhadap Efisiensi Agronomi

a. Dosis Nitrogen

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa pengaruh dosis nitrogen terhadap AE terlihat sangat kuat. Nilai AE meningkat tajam dari -19,31 pada dosis 60 kg/ha menjadi 42,87 saat dosis ditingkatkan menjadi 120 kg/ha. Respons tanaman kemudian mencapai titik tertinggi pada 180 kg/ha dengan AE 74,00. Penambahan dosis hingga 240 kg/ha tidak memberikan peningkatan berarti (74,67), yang menunjukkan bahwa tanaman telah memasuki fase kejenuhan terhadap tambahan nitrogen.

b. Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah juga memberikan dampak yang konsisten dan besar terhadap AE. Kondisi tanah pada 100% kapasitas lapang menghasilkan nilai AE rata-rata 56,09—hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan kondisi 45% kelembapan, yang hanya menghasilkan AE 29,96. Hal ini menegaskan bahwa ketersediaan air merupakan faktor pendukung utama dalam efisiensi pemanfaatan nitrogen.

c. Tipe Tanah

Rata-rata AE pada Tanah B (44,80) sedikit lebih tinggi dibandingkan Tanah A (41,25), dan perbedaan ini signifikan secara statistik. Namun demikian, selisih antar-tanah tidak sebesar pengaruh yang ditunjukkan oleh faktor nitrogen maupun kelembapan, sehingga tipe tanah berperan lebih sebagai faktor modulator daripada faktor utama.

Tabel 2. Rata-rata Efisiensi Agronomi (AE) berdasarkan Perlakuan Tunggal

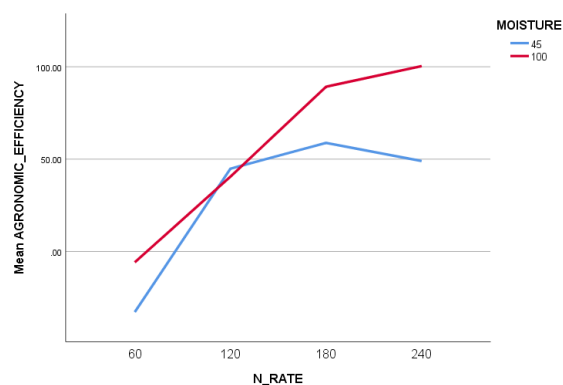
Faktor	Level	Rata-rata AE	Std. Error
Dosis Nitrogen (kg/ha)	60	-19,311	1,251

	120	42,729	1,327
	180	74,002	1,251
	240	74,671	1,251
Kelembapan Tanah (%)	45	29,956	0,885
	100	56,089	0,912
Tipe Tanah	A	41,246	0,912
	B	44,799	0,885

3. Analisis Interaksi Antar Faktor

a. Interaksi Dosis Nitrogen dengan Kelembapan

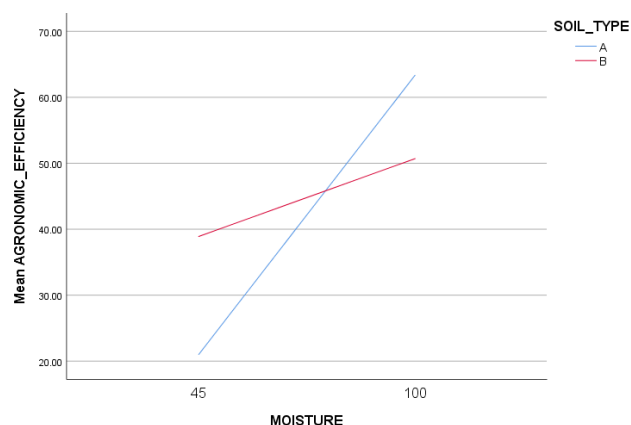
Interaksi antara dosis nitrogen dan kelembapan tanah sangat signifikan (F-hitung = 78,35; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,883$). Pola interaksi pada Gambar 1 menunjukkan bahwa manfaat peningkatan dosis nitrogen hanya terwujud optimal pada kondisi kelembapan yang memadai. Pada kelembapan 45%, peningkatan dosis nitrogen dari 180 kg/ha ke 240 kg/ha justru diikuti penurunan AE dari 58,80 menjadi 48,98. Sebaliknya, pada kelembapan 100%, AE terus meningkat secara linear seiring peningkatan dosis nitrogen, mencapai nilai tertinggi 100,37 pada dosis 240 kg/ha. Pada dosis nitrogen rendah (60 kg/ha), kondisi kekeringan (45%) menghasilkan AE negatif yang sangat rendah (-32,79), namun kondisi ini dapat sedikit diperbaiki dengan peningkatan kelembapan menjadi 100% (AE = -5,84).



Gambar 1. Interaksi Dosis Nitrogen (N_Rate) dengan Kelembapan (Moisture)

b. Interaksi Tipe Tanah dengan Kelembapan

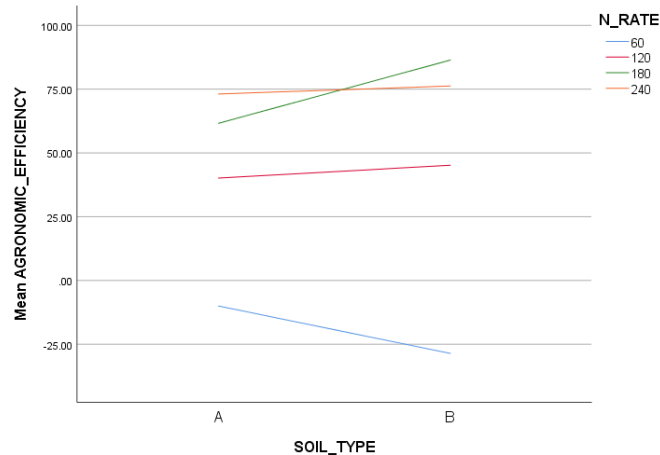
Pada Gambar 2, interaksi antara tipe tanah dan kelembapan juga sangat signifikan ($F\text{-hitung} = 127,24$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,804$) dan menunjukkan pola silang (*crossover interaction*). Pada kelembapan rendah (45%), Tanah B secara signifikan lebih unggul dengan AE 38,90 dibandingkan Tanah A yang hanya mencapai 21,01. Namun, pada kelembapan optimal (100%), situasi berbalik: Tanah A menghasilkan AE yang lebih tinggi (61,48) daripada Tanah B (50,70). Pola ini mengindikasikan bahwa setiap jenis tanah memiliki adaptasi yang berbeda terhadap kondisi air: Tanah B lebih toleran terhadap kondisi kering, sementara potensi produktivitas Tanah A hanya terekspresi penuh pada kondisi air yang optimal.



Gambar 2. Interaksi Tipe Tanah (Soil_Type) dengan Kelembapan (Moisture)

c. Interaksi Tipe Tanah dengan Dosis Nitrogen

Interaksi antara tipe tanah dan dosis nitrogen sangat signifikan ($F\text{-hitung} = 50,02$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,829$). Gambar 3 menunjukkan perbedaan pola respons kedua tanah terhadap peningkatan dosis nitrogen. Tanah B menunjukkan respons yang lebih spektakuler pada dosis menengah-tinggi: pada dosis 180 kg/ha, Tanah B mencapai AE 86,38, jauh melampaui Tanah A yang hanya 61,63. Namun, pada dosis tertinggi (240 kg/ha), keunggulan Tanah B menyusut (AE = 76,26), sementara Tanah A terus menunjukkan peningkatan (AE = 73,08). Di sisi lain, pada dosis rendah (60 kg/ha), kedua tanah menunjukkan AE negatif, dengan Tanah B lebih buruk (-28,59) dibandingkan Tanah A (-10,03).



Gambar 3. Interaksi Tipe Tanah (Soil_Type) dengan Dosis Nitrogen (N_Rate)

d. Interaksi Tiga Arah: Tipe Tanah, Dosis Nitrogen, dan Kelembapan

Interaksi tiga arah yang signifikan (F -hitung = 6,88; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,400$) menunjukkan kompleksitas respons AE yang melibatkan ketiga faktor sekaligus. Analisis rinci semua kombinasi perlakuan yang dapat dilihat pada Tabel 3 menunjukkan bahwa (i) kombinasi terbaik untuk mencapai AE maksimum adalah Tanah A dengan pemberian nitrogen 240 kg/ha pada kelembapan 100%, menghasilkan AE tertinggi 106,61, sedangkan (ii) kombinasi terburuk adalah Tanah B dengan pemberian nitrogen 60 kg/ha pada kelembapan 45%, dengan AE terendah -35,34.

Pembahasan

1. Dominasi Nitrogen dan Batas Efisiensinya

Nitrogen merupakan faktor yang paling menentukan peningkatan AE, terlihat dari nilai *Eta Squared* (η^2) yang sangat tinggi (0,992). Angka ini menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi AE dipengaruhi oleh perubahan dosis nitrogen. Namun, respons tanaman tidak terus meningkat tanpa batas. Pada dosis 180–240 kg/ha, peningkatan AE mulai melambat dan bahkan berhenti, menandakan tanaman telah mencapai batas fisiologisnya. Kondisi ini sejalan dengan prinsip *diminishing returns*, di mana tambahan nitrogen tidak lagi diikuti oleh peningkatan biomassa yang sepadan.

2. Kelembapan Tanah (Air) sebagai Penentu Efisiensi Nitrogen

Peran kelembapan tanah juga sangat besar ($\eta^2 = 0,932$), terutama karena air mempengaruhi pergerakan dan penyerapan nitrogen. Pada kondisi 45% kelembapan,

akar sulit mengakses nitrat akibat terbatasnya difusi dan aliran massa hara. Sebaliknya, pada 100% kelembapan, nitrogen dapat bergerak lebih bebas dan mudah diserap. Hal ini menjelaskan mengapa pemupukan tinggi sering tidak efektif di lahan kering, dan menunjukkan bahwa ketersediaan air menjadi syarat penting jika ingin memaksimalkan manfaat pupuk nitrogen.

3. Tipe Tanah sebagai Faktor Pengarah Respons

Ukuran efek tipe tanah ($\eta^2 = 0,201$) lebih kecil dibanding nitrogen atau air, sehingga perannya lebih sebagai faktor yang mengatur bagaimana tanaman merespons kedua faktor tersebut. Pola silang pada interaksi tanah–kelembapan mendukung hal ini: Tanah B tampil lebih baik pada kondisi kering, sementara Tanah A baru menunjukkan potensi maksimal ketika air tersedia cukup. Perbedaan karakter fisik seperti kapasitas menahan air sangat mungkin menjadi penyebabnya.

4. Interaksi Tiga Arah bagi Manajemen Pemupukan

Nilai interaksi yang tinggi (nilai η^2 antara 0,804-0,883) menegaskan bahwa respons tanaman terhadap nitrogen tidak berdiri sendiri, tetapi sangat dipengaruhi kondisi air dan jenis tanah. Dengan kata lain, dosis nitrogen yang cocok tidak bisa dipatok satu angka untuk semua situasi. Interaksi tiga arah ($\eta^2 = 0,400$) memang lebih kecil, tetapi tetap menunjukkan bahwa ketiga faktor memberi kontribusi tambahan ketika dipertimbangkan secara bersamaan.

Jika disusun berdasarkan urutan efeknya, maka urutan langkah pengelolaan yang paling efektif adalah (1) mengoptimalkan dosis nitrogen, (2) menjaga kelembapan tanah agar mendukung pemanfaatan nitrogen, (3) mengatur jadwal dan metode pemupukan berdasarkan interaksi nitrogen dan kelembapan tanah (air), dan (4) mempertimbangkan sifat tanah sebagai faktor modulator/pendukung.

KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan dengan Rancangan Acak Lengkap Faktorial, menunjukkan bahwa dosis nitrogen dan kelembapan tanah dapat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap Efisiensi Agronomi. Namun, efektivitas nitrogen sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air, yang berarti pupuk nitrogen akan bekerja optimal ketika kondisi tanah cukup lembap. Dari hasil studi kasus ini juga dapat dilihat adanya interaksi

yang jelas antara ketiga faktor yang diuji, yaitu tipe tanah, dosis nitrogen, dan kelembapan tanah. Tipe tanah terbukti ikut menentukan bagaimana tanaman merespons kombinasi pemupukan dan air. Kombinasi perlakuan yang memberikan hasil paling optimal ditemukan pada Tanah A dengan dosis nitrogen 240 kg/ha pada kelembapan 100% yang menghasilkan nilai efisiensi tertinggi. Penerapan desain faktorial memungkinkan pengungkapan interaksi yang kompleks tersebut, sehingga memberikan gambaran yang lebih lengkap dan menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat dibandingkan pengujian faktor secara tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S., Javed, M.T., Ali, Q., Azeem, M. and Ali, S., 2021. Nutrient deficiency stress and relation with plant growth and development. *In Engineering tolerance in crop plants against abiotic stress* (pp. 239-262). CRC Press.
- Adebayo, A. R., & Sebetha, E. T. (2023). Dataset on effects of nitrogen fertilizer and soil moisture levels on the performance of Water Efficient Maize (WEMA) on Ferric Luvisol and Rhodic Ferralsol soils. *Data in Brief*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109543>
- Chatfield, S. E. C., Lindsey, J., Tanner, M., Zidek, J., Smith, P. J., Bartholomew, D. J., Steele, F., Moustaki, I., & Galbraith, J. (n.d.). *STATISTICAL METHODS IN AGRICULTURE AND EXPERIMENTAL BIOLOGY Third Edition CHAPMAN & HALL/CRC Texts in Statistical Science Series Analysis of Failure and Survival Data The Analysis and Interpretation of Multivariate Data for Social Scientists*.
- Devkota, L., Shrestha, R. K., Khatri, K. B., Acharya, B., & Sharma, S. (n.d.). *INTERACTIVE EFFECT OF SOIL MOISTURE CONTENT AND NITROGEN FERTILIZER SOURCES ON GROWTH AND NITROGEN UPTAKE IN MAIZE*.
- Du, K., Zhang, Y., Qin, S., Wang, L., Zhang, B., & Wang, S. (2022). Effects of Nitrogen Fertilization on Physiological Response of Maize to Soil Salinity. *Agriculture (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture12060877>
- Du, L., Gao, T., Chen, Z., Pan, C., Han, J., Tian, Y., Xiong, Y., & Huang, G. (2025). *Effects of soil salinity on nitrogen fate and nitrogen use efficiency of maize (Zea mays L.) field in the Hetao Irrigation District of China*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7040514/v1>

- Guo, X., Wu, Q., Zhang, Z., Zhu, G., & Zhou, G. (2023). Nitrogen and Phosphorus Counteracted the Adverse Effects of Salt on Sorghum by Improving ROS Scavenging and Osmotic Regulation. *Agronomy*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy13041020>
- Ifadah, N. F., Syarof, Z. N., Al Jauhary, M. R., & Musyaffa, H. J. (2021). *Dasar-dasar manajemen kesuburan tanah*. Universitas Brawijaya Press.
- Kelas, P., Dan, U. V, Di Paninggaran, V. I., Timur, P., Darmawan, R., Rata Matangaran, J., & Santosa, G. (n.d.). PENGGUNAAN STIMULANSIA DALAM PENYADAPAN The Use of Stimulants in Tapping Resin in Age Classes V and VI at Paninggaran, East Pekalongan. *Jurnal*, 01(2).
- Montgomery, D. C. . (2017). *Design and Analysis of Experiments, 9th Edition*. Wiley.
- Mustafa, I., & Allam, A. (n.d.). *FACTORIAL DESIGN ANOVA IN VARIOUS STRUCTURED DESIGNS*.
- Owais, M., Khan, A., Jalal, F., Ahmad, S., Amin, A., Ahmad, A., Khan, S., Nawaz, M., Rahman, A., & Waqas, M. (2025). EFFECT OF MINERAL AND FARM YARD MANURE NITROGEN ON GROWTH AND YIELD COMPONENT OF MAIZE UNDER VARIOUS TILLAGE IMPLEMENTS. *Kashf Journal of Multidisciplinary Research*, 2–4. <https://kjmr.com.pk>
- Parmar, R. S., Kamani, G. J., & Amin, B. A. (2022). ANALYSIS OF FACTORIAL EXPERIMENTS FOR AGRICULTURAL RESEARCH USING DIGITAL TOOL. In *Guj. J. Ext. Edu* (Vol. 33).
- Pengaruh Penggunaan Mulsa terhadap Kelembaban Tanah dan Hasil Tanaman FADHIL MUHAMMAD Abstrak*. (n.d.).
- Tanah, I., Tanaman, B., Tanaman, P., Lahan, E., Tanah, K., Tanah dan Air, K., Kusumawardani, W., Kusnayadi, H., & Yosefina Bulu, M. (2022). *PENGARUH PENGGUNAAN AIR DARI BEBERAPA JENIS KELAPA DAN TAKARAN GULA TERHADAP PERTUMBUHAN BIBIT F0 JAMUR TIRAM PUTIH (Pleurotus ostreatus L)* (Vol. 2, Issue 1).
- Wardani, D. K., Panunggul, V. B., Ibrahim, E., Laeshita, P., Rachmawati, Y. S., Tuhuteru, S., & Nugrahani, R. A. G. (2023). *Dasar Agronomi*. TOHAR MEDIA.

Ying, S., Webster, B., Gomez-Cano, L., Shivaiah, K. K., Wang, Q., Newton, L., Grotewold, E., Thompson, A., & Lundquist, P. K. (2024). Multiscale physiological responses to nitrogen supplementation of maize hybrids. *Plant Physiology*, 195(1), 879–899. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad583>.