

Peranan Pupuk Magnesium-Sulfur (Kieserit) dalam Memperkuat Efisiensi Pemupukan NPK dan Produktivitas Jagung Manis pada Inceptisol

Oviyanti Mulyani, Emma Trinurani Sofyan, dan Benny Joy

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran
Jln. Ir. Soekarno km. 21 Jatinangor, Kab. Sumedang 45363 Jawa Barat

Korespondensi : oviyanti.mulyani@unpad.ac.id

ABSTRACT

*Modern agriculture largely depends on NPK fertilization however, the neglect of secondary nutrients, particularly magnesium (Mg) and sulfur (S), has increasingly led to nutrient imbalances and reduced fertilizer efficiency. Magnesium plays a crucial role in photosynthesis, energy transfer, and enzyme activation, and its deficiency often referred to as the "forgotten element" has become more prevalent in intensive cropping systems and leached mineral soils. This study aimed to evaluate the role of magnesium-sulfur (Mg-S) fertilizer derived from kieserite in enhancing the growth and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* L.) cultivated on Inceptisol soil. This study used a Randomized Block Design (RBD) with seven different combination treatments between kieserite ($\frac{1}{2}$; $\frac{3}{4}$; 1; $1\frac{1}{2}$ and NPK ($\frac{3}{4}$ and 1) recommended dosages, one treatment recommendation dose of local farmer and one treatment without fertilizer for comparison. Each treatment was replicated three times, resulting in a total of twenty-seven experimental plots. Soil chemistry parameters as a main object of this experiment. The results of this study showed that the application of kieserite inorganic fertilizer significantly improved N, P, K, and Mg concentrations in plant tissue, increased total soil Mg content, and enhanced yield components of sweet corn compared to the control and standard NPK treatments. The combined application of one dose of kieserite (300 kg ha^{-1}) and the recommended NPK rate ($350\text{--}100\text{--}50\text{ kg ha}^{-1}$) produced the highest yield, reaching 14.24 t ha^{-1} , indicating that balanced Mg-S supplementation is essential for optimizing nutrient efficiency and maximizing sweet corn productivity on Inceptisol soils.*

Keywords: Magnesium, Sulfur, Productivity, Fertilizer, Micro Elements

1. PENDAHULUAN

Intensifikasi pertanian modern masih didominasi strategi pemupukan berbasis N, P, dan K, karena ketiga unsur tersebut cepat memengaruhi pertumbuhan vegetatif dan hasil tanaman. Namun, pendekatan ini semakin sering menghadapi masalah klise dimana hasil tidak sebanding dengan input yang diberikan, akibat terabaikannya unsur hara makro sekunder seperti magnesium (Mg) dan sulfur (S). Kedua unsur tersebut justru berperan langsung pada fotosintesis, pembentukan biomassa, serta pengisian hasil (Asman & Alfina, 2024). Pendekatan pemupukan yang berfokus pada NPK dalam jangka panjang berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan hara, terutama unsur hara makro sekunder seperti Mg dan S. Kondisi ini semakin relevan pada tanah-tanah mineral yang mengalami pencucian ting-

gi serta pada sistem budidaya dengan tingkat serapan hara yang besar akibat peningkatan hasil panen (Lehmann & Schroth, 2002).

Magnesium memiliki peranan fisiologis yang sangat mendasar dalam pertumbuhan tanaman. Mg berperan langsung dalam proses fotosintesis, pembentukan energi (ATP), serta aktivasi berbagai enzim metabolisme tanaman. Pada sistem produksi berinput tinggi, kekurangan Mg bahkan disebut sebagai "*forgotten element*" yang meningkat pada lahan yang hanya dipupuk NPK, terutama pada sistem intensif dan tanah yang rentan pencucian (Cakmak *et al.*, 2023). Secara fisiologis, Mg merupakan pusat klorofil dan esensial dalam proses fotosintesis, sintesis ATP, fiksasi CO_2 , serta pembentukan karbohidrat, sehingga kekurangan Mg dapat menekan pertumbuhan dan produktivitas. Selain itu, Mg berperan

dalam aktivasi enzim dan mendukung translokasi fotosintat (*source-sink*) sehingga memengaruhi pembentukan organ hasil (tongkol/biji/buah) dan mutu hasil (Ahmed *et al.*, 2023). Pada tanaman budidaya, interaksi Mg juga penting karena antagonisme K-Mg dapat menekan serapan Mg ketika pemupukan K tinggi, yang sering terjadi pada sistem pemupukan intensif (Xie *et al.*, 2021).

Di sisi lain, S dibutuhkan untuk pembentukan asam amino mengandung sulfur (sistein dan metionin), protein, enzim, serta metabolit penting yang terkait pertumbuhan. Kekurangan S dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat dan kehilangan hasil (Narayan *et al.*, 2023). Pada masa sekarang pasokan S dari atmosfer menurun akibat kebijakan pengendalian polusi, sehingga risiko defisiensi S pada pertanian cenderung meningkat. Oleh karena itu, kebutuhan pemupukan S menjadi lebih nyata dibanding beberapa dekade sebelumnya (Sharma *et al.*, 2024). Selain itu, S juga berkontribusi pada efisiensi pemanfaatan N karena sintesis protein menuntut ketersediaan N dan S secara seimbang (Mustafa *et al.*, 2022).

Pada konteks pemupukan berimbang, kieserit (*magnesium sulfate monohydrate*, $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) menjadi sumber Mg-S yang relevan. Kieserit dinilai dapat secara langsung memasok Mg dan S dalam bentuk sulfat yang umumnya cepat tersedia bagi tanaman, sehingga potensial digunakan untuk memperkuat efektivitas pemupukan NPK. Pemupukan Mg-S menjadi penting sehubungan dengan defisiensi Mg yang meningkat sistem intensif berbasis NPK dimana dapat membatasi hasil serta kualitas (Cakmak & Yazici, 2010).

Permasalahan lain adalah adanya interaksi antagonistik antara K dan Mg berpotensi menurunkan serapan Mg oleh tanaman. Hal ini menjadi dasar dimana peranan Mg itu penting dan perlu diuji dalam berbagai kombinasi dosis bersama pupuk NPK yang umum digunakan petani. Beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa kompetisi K-Mg umum terjadi, tetapi

responsnya sangat bergantung kondisi tanah dan komoditas (Xie *et al.*, 2021). Pada tanah Inceptisol (yang banyak dijumpai di Indonesia sebagai lahan pertanian), isu kesuburan dan keseimbangan kation termasuk K, Ca, dan Mg menjadi penting. Pengkajian antagonisme K-Ca-Mg relevan terhadap budidaya jagung manis di Inceptisol (Putra & Hanum, 2018).

Saat ini, belum ada bukti kajian yang komprehensif mengenai kieserit sebagai sumber Mg-S yang dikombinasikan dengan NPK pada jagung manis serta dampak yang terukur pada hasil, status Mg tanah, dan serapan hara. Pendekatan pemupukan berimbang yang berbasis Mg-S (kieserit) dan NPK dengan variasi dosis yang memungkinkan identifikasi dosis efektif, sekaligus mengevaluasi risiko atau implikasi interaksi hara (khususnya K-Mg). Selain itu, integrasi indikator agronomis dan kimia di tanah serta serapan haranya perlu dikaji. Pengujian respons pertumbuhan dan komponen hasil tanaman serta perubahan Mg tanah dan serapannya, akan memberi informasi mengenai mekanisme respons, dan tidak hanya dinilai dari hasil panen semata. Hal ini diharapkan dapat menjawab kebutuhan pemupukan S yang makin penting di era penurunan deposisi S atmosfer, sekaligus mengangkat Mg sebagai pembatas yang sering terabaikan pada sistem intensif berbasis NPK.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi fungsi pupuk magnesium-sulfur (Mg-S) berbasis kieserit dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* L.) pada tanah Inceptisol. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk mengkaji pengaruh aplikasi berbagai dosis pupuk kieserite (KS) yang dikombinasikan dengan pemupukan NPK terhadap pertumbuhan vegetatif, komponen hasil, dan produktivitas tanaman, serta untuk menganalisis perubahan status magnesium tanah (Mg-total) dan respons serapan hara makro tanaman (N, P, K, dan Mg). Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu mengidentifikasi dosis

pupuk kieserit yang paling efektif dalam meningkatkan efisiensi pemupukan NPK dan memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan rekomendasi pemupukan berimbang Mg, S dan NPK yang aplikatif dan berkelanjutan pada sistem budidaya tanaman di tanah Inceptisol.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lahan Percobaan Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman Universitas Padjadjaran, Jatinangor. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri 9 perlakuan, yaitu 7 kombinasi perlakuan dosis pupuk Kieserit (KS) (0,5; 0,75; 1 dan 1,5) dan dosis rekomendasi NPK (3/4 dan 1), satu perlakuan kontrol tanpa pemupukan dan satu perlakuan dengan pupuk rekomendasi petani sebagai pembanding. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga total petak percobaan adalah 27 petak percobaan.

Respons yang diamati adalah data partumbuhan tanaman (tinggi tanaman, diameter tajuk, diameter batang dan jumlah daun) diamati setiap dua minggu sekali mulai 14 HST sampai vegetatif akhir ($\pm$ 56 HST). Komponen hasil: diameter tongkol (mm), panjang tongkol (cm), bobot tongkol berkelebot segar (g), bobot tongkol kupasan (g), dan bobot tongkol total per petak. Analisis tanah (Mg-total) dan serapan N, P, K, Mg.

Data yang diperoleh dari hasil analisis laboratorium dan lapangan diuji perbedaan rata-rata pengaruh perlakuan dengan uji F pada taraf 5% berdasarkan analisis variansi (ANOVA). Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap parameter teramati dari setiap perlakuan yang diberikan, dan perbedaan rata-rata perlakuan dilanjutkan dengan uji rentang berganda Duncan pada taraf 5%. Persamaan model linier untuk Rancangan Acak Kelompok (RAK) adalah sebagai berikut Data diuji menggunakan program *Statistical Product and Service Solution* (SPSS).

2.2 Analisis Awal

Analisis tanah awal dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal tanah yang akan dijadikan media untuk proses inkubasi. Analisis ini meliputi sifat kimia dan fisika tanah yang mengikuti referensi dari (Sulaeman dkk., 2005).

2.3 Persiapan Media Tanam

Pelaksanaan percobaan dimulai dengan mempersiapkan tanah yang digunakan. Tanah yang digunakan pada pengujian ini adalah tanah ordo Inceptisol dari Jatinangor. Lahan terlebih dulu dibersihkan dari gulma dan sisa-sisa tanaman lainnya. Diberikan pupuk dasar ke dalam lahan, berupa pupuk kandang yang disebar di seluruh permukaan tanah dengan dosis 2 ton/ha. Tanah dibuat petakan dengan jarak tanam berukuran 75 x 25 cm (Gambar.1).



Gambar 1 Persiapan Media Tanam

2.4 Pemupukan dan Penanaman

Pemberian pupuk kandang diberikan 2 minggu sebelum waktu tanam. Pemupukan dasar (SP-36 dan KCl) dilakukan saat penanaman berlangsung sedangkan pupuk Urea diberikan saat 7 HST dan 14 HST. Pemberian pupuk diberikan sesuai dengan dosis pada masing-masing perlakuan.

Benih jagung ditanam dengan cara ditugal pada kedalaman lebih kurang 3 cm, masing-masing lubang ditanami 2 benih. Benih yang sudah dimasukkan ke dalam lubang tanam segera ditutup kembali

dengan media tanam. Pupuk Urea (45% N) diberikan sebanyak 7,72 g per lubang tanam, pupuk SP-36 (36% P_2O_5) sebanyak 2,21 g per lubang tanam dan pupuk KCl (56% K_2O) sebanyak 1,10 g per lubang tanam. Dokumentasi kegiatan penanaman dan pemupukan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Proses Penanaman Benih Jagung dan Pemberian Pupuk

Pemberian pupuk N (Urea), P (SP-36), dan K (KCl) dilakukan dengan cara dibenamkan sedalam kurang lebih 5 cm secara terpisah di samping kiri dan kanan tanaman. Jarak lubang tanam dengan lubang pupuk adalah 5 cm. Dosis aplikasi pupuk anorganik KS adalah 300 kg ha⁻¹ (6,62 g per lubang tanam) yang diaplikasi pada saat tanam.

2.5 Pengamatan

Pengamatan meliputi parameter pertumbuhan tanaman berupa tinggi tanaman, diameter tajuk, diameter batang, dan jumlah daun yang diamati setiap dua minggu. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah hingga ujung daun tertinggi, jumlah daun dihitung secara manual, dan diameter tajuk diukur menggunakan penggaris atau meteran.

Pengambilan sampel tanah dan jaringan tanaman dilakukan pada fase vegetatif maksimum (48 HST), dengan sampel tanah diambil dari zona perakaran (rizosfer) dan daun ke-4 tanaman digunakan untuk analisis serapan hara. Sampel dianalisis di laboratorium untuk menentukan kandungan Mg tanah serta serapan N, P, K, dan Mg tanaman.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kualitas Pupuk

Pengujian mutu/kualitas pupuk dilakukan untuk memastikan bahwa pupuk yang diujikan telah memenuhi standar yang ditetapkan sebelum digunakan lebih lanjut dalam pengujian efektivitas di lapangan, sehingga keamanan dan manfaat agronomisnya dapat terjamin.

Hasil analisis kualitas produk pupuk menunjukkan bahwa pupuk kieserite mengandung MgO-total sebesar 25,71%, S-total sebesar 21,76%, kadar air sebesar 0,46%, serta kandungan logam berat yang sangat rendah, yaitu Pb sebesar 0,30 ppm, sedangkan As, Hg, dan Cd tidak terdeteksi (0 ppm). Berdasarkan persyaratan mutu pupuk Magnesium Sulfate (kieserite) sesuai SNI 02-2807-1992, kandungan MgO minimal 25,5%, S minimal 21,0%, dan kadar air maksimal 0,50%, pupuk anorganik kieserite yang digunakan dinyatakan memenuhi kriteria uji mutu.

3.2 Hasil Analisis Tanah Awal

Hasil analisis tanah awal menunjukkan tanah Inceptisol asal Jatinangor memiliki pH H₂O sebesar 6,32 yang tergolong agak masam. Kondisi pH ini relatif sesuai untuk pertumbuhan jagung manis karena masih berada pada kisaran pH optimum bagi ketersediaan sebagian besar unsur hara makro. Nilai pH KCl yang lebih rendah (5,05) mengindikasikan adanya muatan negatif tanah yang cukup aktif serta keberadaan kation dapat ditukar, yang lazim dijumpai pada tanah mineral muda seperti Inceptisol.

Kandungan C-organik (1,57%) dan N total (0,16%) tergolong rendah, yang menunjukkan bahwa tanah memiliki cadangan bahan organik dan nitrogen yang terbatas. Kondisi ini berpotensi menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman apabila tidak dilakukan pemupukan tambahan. Nilai rasio C/N sebesar 10 juga mengindikasikan bahwa bahan organik yang ada relatif telah terdekomposisi, namun

jumlahnya belum cukup untuk mendukung suplai N secara optimal. Oleh karena itu, pemupukan N menjadi sangat penting pada tanah ini untuk menunjang pertumbuhan vegetatif tanaman.

Ketersediaan fosfor, baik dalam bentuk P_2O_5 HCl 25% maupun P_2O_5 Bray I, tergolong sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tanah memiliki cadangan P potensial dan P tersedia yang mencukupi, sehingga kemungkinan respons tanaman terhadap penambahan pupuk P relatif lebih kecil dibandingkan unsur hara lain. Sebaliknya, kandungan K_2O HCl 25% berada pada kriteria sedang, yang menandakan bahwa kalium masih perlu dikelola secara tepat melalui pemupukan agar tidak menjadi faktor pembatas, terutama pada fase pengisian hasil.

Nilai kapasitas tukar kation (KTK) sebesar 20 cmol kg^{-1} tergolong sedang, mencerminkan kemampuan tanah yang cukup baik dalam menahan dan menyediakan kation hara bagi tanaman. Kejenuhan basa sebesar 43,55% juga tergolong sedang, menunjukkan bahwa sebagian kompleks jerapan tanah masih didominasi oleh kation basa, meskipun belum mencapai kondisi optimal. Kejenuhan Al yang sangat rendah (2,37%) serta nilai Al^{3+} -dd yang kecil menunjukkan bahwa toksisitas aluminium bukan merupakan kendala utama bagi pertumbuhan tanaman pada tanah ini.

Susunan kation dapat ditukar memperlihatkan bahwa Ca-dd dan Mg-dd berada pada kriteria sedang, sedangkan K-dd dan Na-dd tergolong rendah. Kandungan Mg-dd sebesar $1,93 \text{ cmol kg}^{-1}$ menunjukkan bahwa Mg tersedia dalam jumlah sedang, namun nilai Mg-total yang relatif rendah (1,05 ppm) yang mengindikasikan bahwa cadangan Mg tanah terbatas dan berpotensi menurun akibat pencucian atau serapan tanaman. Kondisi ini menjadi penting mengingat adanya potensi antagonisme antara K dan Mg pada serapan akar, terutama ketika pemupukan K dilakukan secara intensif. Oleh karena itu, penambahan sumber Mg melalui

pupuk kieserit menjadi relevan untuk menjaga keseimbangan kation dan mendukung efisiensi pemupukan NPK.

Pada sifat fisika, tanah memiliki tekstur lempung liat berdebu dengan fraksi debu yang dominan (56%), diikuti liat (32%) dan pasir (12%). Tekstur ini menunjukkan kemampuan menahan air dan hara yang cukup baik, namun juga memiliki potensi pencucian hara pada kondisi curah hujan tinggi.

Secara keseluruhan, karakteristik tanah Inceptisol asal Jatinangor menunjukkan tingkat kesuburan sedang dengan beberapa faktor pembatas utama, yaitu rendahnya kandungan bahan organik, nitrogen, serta cadangan Mg tanah. Kondisi ini mendukung pentingnya penelitian mengenai aplikasi pupuk magnesium-sulfur (kieserit) yang dikombinasikan dengan pemupukan NPK untuk memperbaiki keseimbangan hara, meningkatkan efisiensi serapan nutrisi, dan mendukung pertumbuhan serta hasil tanaman jagung manis secara optimal.

3.3 Tinggi Tanaman

Mekanisme aplikasi pupuk KS dan NPK memperlihatkan dapat mempengaruhi tinggi tanaman (Tabel 1). Pemberian pupuk Kieserit yang dikombinasikan dengan NPK mampu meningkatkan tinggi tanaman dibandingkan kontrol pada seluruh waktu pengamatan, terutama pada fase vegetatif lanjut (42–56 HST). Perbedaan tinggi tanaman belum terlihat nyata pada 14 HST karena tanaman masih memanfaatkan cadangan hara benih, namun mulai meningkat signifikan pada 28 HST seiring berkembangnya sistem perakaran dan meningkatnya kemampuan serapan hara.

Kombinasi dosis Kieserit dan NPK yang seimbang ($\frac{3}{4}$ -1 KS dengan $\frac{3}{4}$ -1 NPK) memberikan respon tinggi tanaman terbaik, yang menunjukkan peran penting nitrogen dalam pemanjangan sel, magnesium sebagai unsur inti klorofil dalam meningkatkan laju fotosintesis, serta kalium dalam translokasi fotosintat dan pengaturan tekanan osmotik. Sebaliknya,

dosis Kieserit yang terlalu tinggi tidak selalu meningkatkan pertumbuhan karena berpotensi menimbulkan antagonisme dengan unsur kation lain seperti K dan Ca. Hal ini menegaskan

kan bahwa keseimbangan hara lebih menentukan pertumbuhan vegetatif dibandingkan peningkatan dosis tunggal unsur tertentu (Bell *et al.*, 1966; Marschner, 2012).

Tabel 1 Pengaruh Pupuk Kieserit Plus NPK Terhadap Parameter Tinggi Tanaman

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)			
	14 HST	28 HST	42 HST	56 HST
Kontrol	25,11 a	42,94 a	121,77 a	169,01 a
Standar	26,74 abc	49,98 a	126,05 ab	177,56 abc
½ KS + 1 NPK	27,43 abc	53,08 ab	127,72 ab	194,13 bc
¾ KS + 1 NPK	25,79 ab	55,31 b	138,36 ab	196,79 c
1 KS + 1 NPK	27,31 abc	56,85 b	142,81 b	183,63 abc
1 ½ KS + 1 NPK	27,56 bc	52,06 ab	138,00 ab	173,35 ab
½ KS + ¾ NPK	27,34 abc	47,62 a	125,45 a	180,15 abc
1 KS + ¾ NPK	28,61 c	50,25 ab	125,28 ab	198,05 c
1 ½ KS + ¾ NPK	26,17 ab	56,47 b	128,79 ab	196,83 c

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata antar Minggu berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada Taraf 5%.

3.4 Diameter Batang

Hasil analisis pertumbuhan diameter batang memperlihatkan bahwa aplikasi pupuk kieserit dan NPK dapat memberikan respon yang berbeda terutama apabila dibandingkan dengan tanpa perlakuan pemberian pupuk KS dan NPK (Tabel 2). Pemberian pupuk Kieserit yang dikombinasikan dengan NPK memberikan pengaruh positif terhadap diameter batang tanaman pada seluruh waktu pengamatan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Pada fase awal pertumbuhan (14 HST), perbedaan

diameter batang antar perlakuan relatif kecil dan sebagian besar tidak berbeda nyata, yang menunjukkan bahwa pertumbuhan batang pada fase ini masih dipengaruhi oleh cadangan hara benih dan sistem perakaran yang belum berkembang optimal. Memasuki umur 28 HST, perlakuan 1 KS + 1 NPK menunjukkan diameter batang yang secara nyata lebih besar dibandingkan kontrol, mengindikasikan bahwa ketersediaan hara mulai berperan penting dalam mendukung pertumbuhan jaringan batang.

Tabel 2 Pengaruh Pupuk Kieserit Plus NPK Terhadap Parameter Diameter Batang

Perlakuan	Diameter Batang (cm)			
	14 HST	28 HST	42 HST	56 HST
Kontrol	4,75 a	13,00 a	22,51 a	25,11 a
Standar	5,19 ab	14,06 ab	24,63 ab	28,91 abc
½ KS + 1 NPK	5,07 ab	14,30 ab	28,08 bc	30,93 bc
¾ KS + 1 NPK	5,33 ab	14,89 ab	28,24 bc	30,71 bc
1 KS + 1 NPK	5,78 b	16,14 b	29,97 c	32,47 c
1 ½ KS + 1 NPK	5,26 ab	13,77 ab	26,97 bc	30,90 bc
½ KS + ¾ NPK	5,48 ab	13,85 ab	25,19 ab	27,68 ab
1 KS + ¾ NPK	5,10 ab	13,84 ab	25,16 ab	28,05 ab
1 ½ KS + ¾ NPK	5,47 ab	15,33 ab	25,54 ab	28,41 ab

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata antar Minggu berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada Taraf 5%.

3.5 Diameter Tajuk

Pengaruh pupuk kieserite dan NPK terhadap parameter diameter tajuk dapat dilihat pada Tabel 3. Pemberian pupuk Kieserit yang dikombinasikan dengan NPK memberikan pengaruh nyata terhadap diameter tajuk tanaman dibandingkan dengan perlakuan kontrol pada seluruh waktu pengamatan. Pada fase awal pertumbuhan (14 HST), perbedaan diameter tajuk antar perlakuan masih relatif kecil, meskipun perlakuan yang mengandung kombinasi Kieserit dan NPK mulai menunjuk-

kan nilai yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa pada fase awal, pertumbuhan tajuk masih dipengaruhi oleh cadangan hara benih dan perkembangan daun yang belum maksimal. Pada umur 28 HST, perlakuan 1 KS + 1 NPK menghasilkan diameter tajuk yang lebih besar dan berbeda nyata dibandingkan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa keterse-diaan hara, khususnya nitrogen dan magne-sium, mulai berperan penting dalam pemben-tukan dan ekspansi daun (Cao *et al.*, 2025).

Tabel 3. Pengaruh Pupuk Kieserit Plus NPK Terhadap Parameter Diameter Tajuk

Perlakuan	Diameter Tajuk (cm)			
	14 HST	28 HST	42 HST	56 HST
Kontrol	24,62 a	47,49 a	125,19 a	153,24 a
Standar	25,80 ab	55,56 ab	131,47 ab	162,06 ab
½ KS + 1 NPK	28,07 b	52,75 ab	131,66 ab	158,06 a
¾ KS + 1 NPK	25,87 ab	54,81 ab	146,79 bc	170,62 c
1 KS + 1 NPK	28,55 c	58,33 b	152,86 c	175,34 c
1 ½ KS + 1 NPK	26,43 ab	48,73 a	138,54 abc	158,54 a
½ KS + ¾ NPK	27,40 ab	50,01 ab	132,12 ab	162,75 ab
1 KS + ¾ NPK	26,94 ab	55,18 ab	130,15 ab	170,31 bc
1 ½ KS + ¾ NPK	28,60 c	53,42 ab	134,44 abc	175,88 c

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata antar Minggu berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada Taraf 5%.

Pada fase vegetatif lanjut (42–56 HST), pengaruh kombinasi pupuk semakin jelas, di mana perlakuan ¾ KS + 1 NPK, 1 KS + 1 NPK, dan 1 ½ KS + ¾ NPK menghasilkan diameter tajuk tertinggi dan berbeda nyata disbandingkan kontrol. Peningkatan diameter tajuk ini berkaitan erat dengan peran nitrogen dalam pembentukan jaringan daun, magnesium sebagai unsur yang berperan dalam klorofil yang meningkatkan laju fotosintesis, serta kalium yang mendukung turgor sel dan perluasan daun (Asman & Alfina, 2024). Sebaliknya, perlakuan dengan dosis Kieserit yang terlalu tinggi tidak selalu meningkatkan diameter tajuk secara signifikan, yang diduga disebabkan oleh ketidakseimbangan hara dan potensi antagonisme Mg terhadap unsur kation lain,

sehingga efisiensi pemanfaatan hara oleh tanaman menurun. Hasil ini menunjukkan bahwa keseimbangan antara Kieserit dan NPK lebih efektif dalam meningkatkan partumbuhan tajuk dibandingkan peningkatan dosis tunggal pupuk, sejalan dengan konsep keseimbangan hara dalam pertumbuhan tanaman.

3.6 Jumlah Daun

Secara umum, pupuk kieserite tidak memberikan efek yang berbeda nyata terhadap parameter jumlah daun (Tabel 4). Pemberian pupuk Kieserit yang dikombinasikan dengan NPK tidak memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman pada seluruh waktu pengamatan, yaitu pada umur 14, 28, 42, dan 56 HST. Hal ini ditunjukkan oleh tidak

adanya perbedaan statistik antar perlakuan, di mana seluruh nilai rata-rata jumlah daun diikuti oleh huruf yang sama berdasarkan uji Duncan taraf 5%.

Jumlah daun pada semua perlakuan cenderung meningkat seiring bertambahnya umur tanaman, yang menunjukkan bahwa pembentukan daun lebih dipengaruhi oleh faktor ge-

netik dan fase pertumbuhan tanaman dibandingkan oleh variasi dosis pupuk. Menurut Poethig & Fouracre (2024) jumlah daun pada fase vegetatif umumnya dikendalikan oleh laju diferensiasi meristem pucuk yang bersifat relatif stabil dan kurang responsif terhadap peningkatan ketersediaan hara, selama kebutuhan minimum nutrisi telah terpenuhi.

Tabel 4 Pengaruh Pupuk Kieserit Plus NPK Terhadap Parameter Jumlah Daun

Perlakuan	Jumlah Daun			
	14 HST	28 HST	14 HST	28 HST
Kontrol	4 a	8 a	11 a	12 a
Standar	5 a	9 a	11 a	13 a
½ KS + 1 NPK	5 a	9 a	11 a	13 a
¾ KS + 1 NPK	5 a	9 a	11 a	13 a
1 KS + 1 NPK	5 a	9 a	12 a	13 a
1 ½ KS + 1 NPK	5 a	9 a	11 a	14 a
½ KS + ¾ NPK	4 a	9 a	11 a	13 a
1 KS + ¾ NPK	5 a	9 a	11 a	13 a
1 ½ KS + ¾ NPK	5 a	9 a	12 a	13 a

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata antar Minggu berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada Taraf 5%.

Meskipun perlakuan pemupukan mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif lainnya, parameter jumlah daun tidak menunjukkan respons yang signifikan terhadap variasi dosis Kieserit dan NPK. Pemupukan Kieserit dan NPK tampaknya lebih berperan dalam meningkatkan ukuran daun dan kapasitas fotosintesis, bukan dalam menambah jumlah daun secara signifikan. Hal ini sejalan dengan Tanzi *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa pemupukan umumnya lebih berpengaruh terhadap luas daun dan biomassa dibandingkan jumlah daun.

3.7 Parameter Hasil Tanaman

Hasil pengamatan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kieserit yang dikombinasikan dengan NPK memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter hasil jagung manis. Hal ini sejalan dengan pendapat Han *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa keterbatasan hara makro akan langsung menekan pembentukan biomassa dan hasil tanaman.

Pada parameter diameter tongkol, seluruh perlakuan yang mengombinasikan kieserit dengan NPK menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Diameter tongkol tertinggi diperoleh pada perlakuan 1½ KS + ¾ NPK, yang berbeda nyata dibandingkan kontrol dan beberapa perlakuan lainnya. Peningkatan diameter tongkol berkaitan erat dengan peran magnesium (Mg) sebagai unsur penyusun klorofil dan aktivator enzim fotosintesis. Magnesium berpengaruh terhadap peningkatan produksi dan translokasi fotosintat ke organ *sink* seperti tongkol (Ahmed *et al.*, 2023).

Pada parameter panjang tongkol per tanaman juga menunjukkan respons positif terhadap kombinasi kieserit dan NPK. Perlakuan 1 KS + 1 NPK dan 1½ KS + ¾ NPK menghasilkan panjang tongkol tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan kontrol. Peningkatan panjang tongkol mencerminkan kondisi pertumbuhan generatif yang lebih baik akibat ketersediaan hara yang seimbang, terutama unsur N, P, K,

serta Mg dan S. Menurut Savarino *et al.* (2021) keseimbangan hara makro primer dan sekun-

der sangat menentukan keberhasilan pembentukan dan perkembangan organ hasil.

Tabel 5 Pengaruh Pupuk Kieserit Plus NPK Terhadap Parameter Hasil

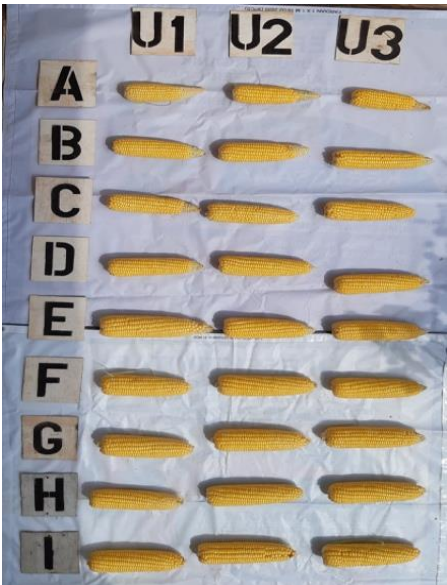
Perlakuan	Parameter Hasil			
	DT (mm)	PTPT (cm)	BTBPT (kg)	BTPP (kg)
Kontrol	46,51 a	18,80 a	0,17 a	6,35 a
Standar	54,22 b	20,35 b	0,25 b	7,70 b
½ KS + 1 NPK	50,92 ab	20,08 ab	0,25 b	7,95 bc
¾ KS + 1 NPK	54,45 b	21,09 b	0,25 b	8,05 bc
1 KS + 1 NPK	54,72 b	21,11 b	0,27 c	9,08 c
1 ½ KS + 1 NPK	54,33 b	20,21 b	0,27 c	8,46 c
½ KS + ¾ NPK	54,08 b	20,63 b	0,26 b	7,46 b
1 KS + ¾ NPK	54,01 b	20,27 b	0,26 b	7,52 b
1 ½ KS + ¾ NPK	55,68 c	21,13 c	0,27 c	8,10 bc

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada Taraf 5%.
DT = diameter tongkol (mm); PTPT = panjang tongkol per tanaman (cm); BTBPT = bobot tongkol berkelobot per tanaman (kg); BTKPT = bobot tongkol kupasan per tanaman (kg); BTPP = bobot tongkol per petak (kg).

Pada bobot tongkol berkelobot per tanaman, perlakuan dengan dosis kieserit sedang hingga tinggi yang dikombinasikan dengan NPK, khususnya 1 KS + 1 NPK dan 1½ KS + 1 NPK, memberikan nilai tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis kieserit mampu mendukung akumulasi biomassa pada tongkol melalui peningkatan efisiensi fotosintesis dan pemanfaatan energi hasil fotosintesis. Magnesium diketahui berperan penting dalam proses pemindahan karbohidrat dari daun ke organ penyimpanan, sehingga kekurangan Mg dapat menyebabkan akumulasi fotosintat di daun dan menurunkan pengisian hasil (Marschner, 2012; Mulyani & Kartasapoetra, 2012). Perbandingan hasil tongkol dapat dilihat pada Gambar 3.

3.8 Analisis Mg Total Tanah

Analisis kandungan Mg total tanah dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon aplikasi pemupukan kieserit dapat berpengaruh terhadap tanah (Tabel 6). Aplikasi pupuk kieserit yang dikombinasikan dengan NPK memberikan pengaruh nyata terhadap kandungan magnesium total (Mg-total) tanah.



Gambar 3 Perbandingan Ukuran Tongkol Tanpa Kelobot

Pada Tabel 6, perlakuan kontrol menunjukkan nilai Mg-total terendah (3,42 ppm), yang mencerminkan kondisi awal tanah dengan cadangan magnesium yang relatif terbatas. Peningkatan Mg-total mulai terlihat pada perlakuan standar NPK (4,57 ppm), meskipun tanpa penambahan kieserite. Hal ini mengindikasikan bahwa pemupukan NPK saja belum mampu mencukupi atau mempertahankan cadangan Mg tanah secara optimal.

Tabel 6 Pengaruh Pupuk Kieserit Plus NPK Terhadap Parameter Mg Total

Perlakuan	Mg-total (ppm)
Kontrol	3,42 a
Standar	4,57 b
½ KS + 1 NPK	5,12 bc
¾ KS + 1 NPK	5,14 bc
1 KS + 1 NPK	6,00 c
1 ½ KS + 1 NPK	6,43 c
½ KS + ¾ NPK	5,51 bc
1 KS + ¾ NPK	5,38 bc
1 ½ KS + ¾ NPK	5,78 bc

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata antar Minggu berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada Taraf 5%.

Peningkatan Mg-total yang lebih nyata terjadi pada perlakuan yang mendapatkan pupuk kieserit. Perlakuan 1 KS + 1 NPK dan 1 ½ KS + 1 NPK menghasilkan nilai Mg-total tertinggi, masing-masing sebesar 6,00 dan 6,43 ppm, dan berbeda nyata dibandingkan kontrol serta perlakuan standar. Hal ini menunjukkan bahwa kieserit berperan efektif sebagai sumber magnesium yang mampu meningkatkan kandungan Mg tanah secara signifikan.

Magnesium dalam kieserit tersedia dalam bentuk Mg^{2+} yang relatif mudah larut, sehingga dapat berpengaruh terhadap peningkatan Mg-total tanah (Ahmed *et al.*, 2023). Perlakuan dengan dosis kieserit lebih rendah maupun dengan pengurangan dosis NPK (¾ NPK) juga menunjukkan peningkatan Mg-total jika dibandingkan kontrol, meskipun perbedaannya tidak selalu nyata secara statistik. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penambahan kieserit, meskipun pada dosis parsial, tetap memberikan kontribusi positif terhadap cadangan Mg tanah. Namun, peningkatan Mg-total yang paling konsisten dan signifikan dicapai pada kombinasi dosis kieserit penuh hingga tinggi dengan NPK penuh, yang menunjukkan pentingnya keseimbangan dosis antara pupuk Mg-S dan NPK.

Secara agronomis, peningkatan Mg-total tanah sangat penting karena Mg berperan sebagai unsur hara makro sekunder yang esensial dalam pembentukan klorofil, aktivasi enzim, serta translokasi fotosintat. Menurut He *et al.* (2024), ketersediaan Mg yang memadai di dalam tanah tidak hanya mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga keseimbangan kation basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^{+}), sehingga meningkatkan efisiensi serapan hara lainnya. Selain itu, Qu *et al.* (2023) menyatakan bahwa penambahan sumber Mg pada tanah dengan cadangan Mg rendah dapat memperbaiki status kesuburan tanah dan mencegah terjadinya kekahatan Mg akibat pencucian atau antagonisme dengan K.

3.9 Serapan N, P, K dan Mg

Hasil analisis pada Tabel 7 menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kieserit yang dikombinasikan dengan NPK memberikan respons yang berbeda terhadap serapan hara makro tanaman, khususnya magnesium (Mg), dibandingkan dengan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Secara umum, perlakuan tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap serapan N pada seluruh perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa kebutuhan nitrogen tanaman relatif telah tercukupi baik pada perlakuan standar maupun pada perlakuan dengan tambahan kieserit. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan Mg-S tidak berpengaruh langsung dalam meningkatkan serapan N, tetapi lebih berperan dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatannya di dalam jaringan tanaman. Hal ini juga didukung oleh hasil analisis tanah awal yang menunjukkan bahwa kandungan nitrogen dalam tanah tergolong rendah. Oleh karena itu, nitrogen dari pupuk yang diberikan langsung dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhan nitrogen selama masa pertumbuhan, sehingga tanaman menunjukkan respons yang sama pada setiap perlakuan.

Tabel 7 Pengaruh Pupuk Kieserit Plus NPK Terhadap Serapan Hara dalam Daun

Perlakuan	Serapan Hara			
	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)
Kontrol	2,49 a	0,54 a	1,16 a	0,28 a
Standar	2,67 a	0,62 ab	1,36 ab	0,32 a
½ KSt + 1 NPK	2,74 a	0,60 ab	1,32 ab	0,33 b
¾ KS + 1 NPK	2,69 a	0,62 ab	1,33 ab	0,56 c
1 KS + 1 NPK	2,98 a	0,68 b	1,46 b	0,64 d
1 ½ KS + 1 NPK	2,85 a	0,69 b	1,28 ab	0,67 d
½ KS + ¾ NPK	2,76 a	0,62 ab	1,29 ab	0,50 bc
1 KS + ¾ NPK	2,65 a	0,58 ab	1,48 b	0,48 bc
1 ½ KS + ¾ NPK	2,59 a	0,58 ab	1,38 ab	0,52 bc

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata antar Minggu berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada Taraf 5%.

Serapan fosfor (P) menunjukkan peningkatan nyata pada perlakuan dengan dosis kieserit sedang hingga tinggi, terutama pada perlakuan 1 KS + 1 NPK dan 1½ KS + 1 NPK, yang memberikan nilai serapan P tertinggi dibandingkan kontrol. Peningkatan serapan P ini berkaitan dengan peran Mg dalam mendukung aktivitas enzim dan transfer energi (ATP), yang sangat diperlukan dalam proses penyerapan dan metabolisme fosfor di dalam tanaman. Selain itu, keseimbangan kation yang lebih baik akibat suplai Mg juga dapat memperbaiki lingkungan perakaran sehingga mendukung peningkatan serapan P.

Serapan kalium (K) menunjukkan variasi antar perlakuan, dengan nilai relatif tinggi pada perlakuan 1 KS + 1 NPK dan 1 KS + ¾ NPK. Namun demikian, peningkatan serapan K tidak selalu sejalan dengan peningkatan dosis kieserit. Hal ini mengindikasikan adanya interaksi antagonistik antara Mg dan K, di mana peningkatan Mg dalam larutan tanah dapat menekan serapan K pada dosis tertentu. Fenomena antagonisme Mg-K ini umum terjadi pada tanah yang mendapat pemupukan K intensif dan telah banyak dilaporkan dalam kajian nutrisi tanaman.

Serapan magnesium (Mg) menunjukkan respons paling nyata terhadap aplikasi pupuk kieserit. Nilai serapan Mg meningkat signifikan seiring dengan peningkatan dosis kieserit, dengan nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan

an 1 KS + 1 NPK dan 1½ KS + 1 NPK, yang berbeda nyata dibandingkan kontrol dan perlakuan standar. Hal ini menunjukkan bahwa kieserit merupakan sumber Mg yang efektif dan mampu meningkatkan ketersediaan serta serapan Mg oleh tanaman. Magnesium yang terserap berperan penting dalam pembentukan klorofil, aktivasi enzim fotosintesis, serta translokasi fotosintat dari daun ke organ sink, sehingga berkontribusi tidak langsung terhadap peningkatan pertumbuhan dan hasil tanaman (Bakele & Birhan, 2021). Perlakuan dengan pengurangan dosis NPK (¾ NPK) yang dikombinasikan dengan kieserit masih menunjukkan serapan Mg yang relatif tinggi dan berbeda nyata dibandingkan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa suplementasi Mg melalui kieserit berpotensi meningkatkan efisiensi pemupukan NPK, khususnya dalam menjaga keseimbangan hara di dalam jaringan tanaman.

4. KESIMPULAN

Penggunaan pupuk anorganik kieserit menunjukan hasil yang nyata terhadap kadar N, P, K dan Mg jaringan tanaman, kandungan Mg-total tanah serta komponen hasil jagung manis dibandingkan dengan kontrol dan NPK standar. Aplikasi pupuk anorganik kieserit dengan 1 dosis (300 kg/ha) + 1 NPK (350-100-50 kg/ha) dapat memberikan hasil panen sebesar 14,24 ton/ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran atas fasilitas laboratorium maupun lapangan untuk kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, N., Zhang, B., Bozdar, B., Chachar, S., Rai, M., Li, J., Li, Y., Hayat, F., Chachar, Z. & Tu, P. 2023. *The power of magnesium: unlocking the potential for increased yield, quality, and stress tolerance of horticultural crops*. *Frontiers in Plant Science*, 14(October): 1–25. DOI: 10.3389/fpls.2023.1285512.
- Asman, A. & Alfina, R. 2024. Kesuburan Tanah dan Pemupukan. Politeknik Pertanian Tinggi Payakumbuh.
- Bakele, D. & Birhan, M. 2021. *The impact of secondary macro nutrients on crop production*. SSRN Electronic Journal, 7(5): 3751. DOI:<http://dx.doi.org/10.20431/2454-6224.0705005>.
- Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Bell, A.L., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 1966. *Soil fertility and fertilizers*. *Journal of Range Management (JSTOR)*, 19(3): 157.
- Cakmak, I., Brown, P., Colmenero-Flores, J.M., Husted, S., Kutman, B.Y., Nikolic, M., Rengel, Z., Schmidt, S.B. & Zhao, F.J. 2023. *Micronutrients*. In Rengel et. al. *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*. Academic Press. DOI:10.1016/B978-0-12-819773-8.00017-4.
- Cakmak, I. & Yazici, A.M. 2010. *Magnesium: a forgotten element in crop production*. *Better Crops*, 94(2): 23–25.
- Cao, W., Sun, H., Shao, C., Wang, Y., Zhu, J., Long, H., Geng, X. & Zhang, Y. 2025. *Progress in the study of plant nitrogen and potassium nutrition and their interaction mechanisms*. *Horticulturae*, 11(8): 17. DOI.org/10.3390/horticulturae11080930.
- Han, F.X., King, R.L., Lindner, J.S., Yu, T.Y., Durbha, S.S., Younan, N.H., Monts, D.L., Su, Y., Luthe, J.C. & Plodinec, M.J. 2011. *Nutrient fertilizer requirements for sustainable biomass supply to meet U.S. bioenergy goal*. *Biomass and Bioenergy*, 35(1): 253–262.
- He, Z., Wang, Z., Hao, J., Wu, Y. & Liu, H. 2024. *The use of magnesium fertilizer can improve the nutrient uptake, yield, and quality of rice in Liaoning Province*. *Agronomy*, 14(3): 639.
- Lehmann, J. & Schroth, G. 2002. *Nutrient leaching. Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*. hal.151–166.
- Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition. Academic Press. DOI: 10.1016/C2009-0-63043-9
- Mustafa, A., Athar, F., Khan, I., Chattha, M.U., Nawaz, M., Shah, A.N., Mahmood, A., Batool, M., Aslam, M.T., Jaremko, M., Abdelsalam, N.R., Ghareeb, R.Y. & Hassan, M.U. 2022. *Improving crop productivity and nitrogen use efficiency using sulfur and zinc-coated urea: a review*. *Frontiers in Plant Science*, 13. DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.942384>
- Narayan, O.P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M. & Johri, A.K. 2023. *Sulfur nutrition and its role in plant growth and development*. *Plant Signaling and Behavior*, 18(1): 1–11. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>.
- Poethig, R.S. & Fouracre, J. 2024. *Temporal regulation of vegetative phase change in plants*. *Developmental Cell*, 59(1): 4–19.
- Putra, I. A. & Hanum, H. 2018. Kajian antagonisme hara K, Ca Dan Mg pada tanah Inceptisol yang

- diaplikasi pupuk kandang, dolomit dan pupuk KCl terhadap pertumbuhan jagung manis (*Zea mays saccharata* L.). Elkawnie, 4(1): 23–44.
- Qu, S., Li, H., Zhang, X., Gao, J., Ma, R., Ma, L. & Ma, J. 2023. *Effects of magnesium imbalance on root growth and nutrient absorption in different genotypes of vegetable crops*. Plants, 12(20): 1–13. DOI:<https://doi.org/10.3390/plants12203518>
- Savarino, G., Corsello, A. & Corsello, G. 2021. *Macronutrient balance and micronutrient amounts through growth and development*. Italian Journal of Pediatrics, 47(1): 1–14.
- Shah, I.H., Jinhui, W., Li, X., Hameed, M.K., Manzoor, M.A., Li, P., Zhang, Y., Niu, Q. & Chang, L. 2024. *Exploring the role of nitrogen and potassium in photosynthesis implications for sugar: accumulation and translocation in horticultural crops*. Scientia Horticulturae, 327 (December 2023): 112832. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112832>.
- Sharma, R.K., Cox, M.S., Oglesby, C. & Dhillon, J.S. 2024. *Revisiting the role of sulfur in crop production: a narrative review*. Journal of Agriculture and Food Research, 15 (January): 101013. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101013>.
- Tanzi, B.N., Arifin, M.S.A., Mondol, M.A., Hasan, A.K. & Wadud, M.A. 2013. *Effect of tree leaf biomass on soil fertility and yield of rice*. Journal of Agroforestry and Environment, 7(1): 129–133.
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F. & Guo, S. 2021. *Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants*. Crop Journal, 9(2): 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>.