

Review Artikel: Respons Pertumbuhan Bibit Karet terhadap Aplikasi Pupuk Anorganik NPK, NPKMg dan Kieserite Berbeda Jenis dan Dosis

Nayla Izza Larasati¹, Mira Ariyanti²

^{1,2}Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

Corresponding Author: Naylaizzalaras@gmail.com

Published: Januari 2026

ABSTRACT

Tanaman karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) merupakan komoditas perkebunan strategis di Indonesia yang produktivitasnya sangat dipengaruhi oleh kualitas bibit pada fase pembibitan. Salah satu faktor penentu kualitas bibit adalah ketersediaan unsur hara melalui pemupukan. Artikel review ini mengkaji respons pertumbuhan bibit karet terhadap aplikasi pupuk anorganik berbeda jenis dan dosis, yaitu NPK, NPKMg, dan Kieserite. Hasil telaah menunjukkan bahwa pupuk NPK pada dosis optimum mampu meningkatkan tinggi tanaman, luas daun, dan bobot kering, sementara dosis yang lebih tinggi cenderung menurunkan efisiensi serapan hara. Penambahan magnesium (Mg) dalam formulasi NPKMg memberikan hasil lebih baik dibanding NPK biasa, karena Mg berperan penting dalam pembentukan klorofil, fotosintesis, dan pengembangan sistem perakaran. Pupuk Kieserite ($MgSO_4$) juga terbukti efektif karena selain menjadi sumber Mg yang cepat tersedia, juga menyediakan sulfur (S) yang mendukung sintesis protein dan pembentukan biomassa. Kombinasi NPK dengan Kieserite menunjukkan sinergi positif dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif bibit karet. Namun demikian, pemupukan berlebih berisiko menurunkan efisiensi dan menimbulkan ketidakseimbangan nutrisi. Prospek penelitian diarahkan pada formulasi pupuk majemuk yang lebih seimbang, integrasi pupuk anorganik dengan organik atau hayati, serta inovasi pupuk pelepasan terkendali untuk mendukung pertumbuhan bibit karet yang optimal, efisien, dan berkelanjutan.

Keywords: Bibit Karet, Kieserite, NPKMg, N,P,K, Pupuk Anorganik, Tanaman Karet.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis di Indonesia yang berperan penting dalam perekonomian nasional, baik sebagai penyumbang devisa maupun penyedia lapangan kerja bagi masyarakat (Halimah *et al.*, 2024). Produktivitas karet sangat ditentukan oleh kualitas bibit yang digunakan pada saat penanaman di lapangan (De Alwis *et al.*, 2022). Bibit yang sehat, tumbuh seragam, memiliki batang dan akar yang kuat, serta daun yang optimal akan lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan maupun serangan penyakit (Bazmi & Panichayupakaranant, 2023). Oleh karena itu, tahap pembibitan merupakan fase krusial yang perlu dikelola dengan baik, terutama terkait ketersediaan hara esensial di media tanam (Achmad & Putra, 2016).

Pembibitan karet di lapangan sering menghadapi kendala berupa rendahnya kesuburan tanah, media tanam yang miskin hara, serta kurangnya pemupukan yang tepat (Yang *et al.*, 2024). Kondisi ini menyebabkan pertumbuhan bibit berjalan lambat, ukuran tanaman tidak seragam, dan akhirnya menurunkan kualitas bibit yang siap tanam (South & Starkey, 2010). Pupuk anorganik, khususnya N, P, dan K, merupakan unsur hara makro utama yang mutlak dibutuhkan bibit karet untuk menunjang pertumbuhan vegetatif. Nitrogen berperan dalam pembentukan daun dan batang, fosfor penting untuk pertumbuhan akar, sedangkan kalium mendukung penguatan jaringan dan efisiensi fotosintesis (Xin-xin *et al.*, 2020). Namun, selain NPK, unsur magnesium (Mg) juga memiliki peran vital karena merupakan komponen utama dalam pembentukan klorofil serta aktivator enzim fotosintesis. Defisiensi Mg terbukti mengurangi biomassa dan menghambat penyerapan unsur hara penting pada bibit karet (Xin-xin *et al.*, 2020; Xin-xin *et al.*, 2022).

Penggunaan pupuk majemuk seperti NPKMg, yang mengandung nitrogen, fosfor, kalium, dan magnesium, menjadi salah satu alternatif yang efektif untuk memenuhi kebutuhan hara bibit secara seimbang. Selain itu, pupuk tunggal seperti Kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yang kaya magnesium dan mudah larut dalam air dapat digunakan untuk mengatasi defisiensi Mg pada media tanam. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk majemuk magnesium plus (Mg + mikro) mampu meningkatkan pertumbuhan bibit karet pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang dibanding tanpa pemupukan (Achmad & Putra, 2016). Penelitian Dharmakeerthi *et al.* (2012) juga membuktikan bahwa penambahan biochar kayu karet dengan kombinasi pupuk N dan Mg secara signifikan meningkatkan biomassa bibit karet.

Faktor lokal seperti kondisi tanah, ketersediaan hara, dan klon karet yang digunakan juga memengaruhi respons tanaman terhadap jenis dan dosis pupuk yang diaplikasikan. Misalnya, tanah dengan kandungan Mg rendah tentu akan menunjukkan respons yang lebih baik terhadap pemberian Kieserite dibanding tanah yang sudah relatif kaya Mg. Oleh karena itu, penelitian yang mengeksplorasi perbandingan jenis pupuk anorganik (NPKMg, N, P, K, dan Kieserite) dengan dosis yang berbeda menjadi sangat penting. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang lebih tepat untuk meningkatkan kualitas bibit karet, mempercepat pertumbuhan, dan menghasilkan bibit yang seragam serta siap tanam. Dengan demikian, aplikasi pupuk yang tepat tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendorong efisiensi pemupukan serta keberlanjutan budidaya karet di Indonesia.

METODE

Kajian ini menggunakan desain *literature review* dengan metode studi komparatif yang berfokus pada hasil penelitian sepuluh tahun terakhir (2015–2025) terkait respons pertumbuhan bibit karet terhadap aplikasi pupuk anorganik berbeda jenis dan dosis. Literatur yang dipilih meliputi artikel jurnal ilmiah, prosiding seminar, serta laporan penelitian yang relevan dengan topik, khususnya yang membahas penggunaan pupuk NPKMg, N, P, K, dan Kieserite pada fase pembibitan karet. Sumber data diperoleh dari basis data bereputasi seperti Google Scholar, ScienceDirect, Directory of Open Access Journals (DOAJ), serta jurnal nasional yang terakreditasi. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan hasil penelitian berdasarkan parameter pertumbuhan bibit, meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, bobot kering akar dan tajuk, serta serapan hara utama (N, P, K, dan Mg). Selanjutnya, data dari berbagai penelitian dikelompokkan dan dibandingkan menurut jenis pupuk yang digunakan serta variasi dosisnya, sehingga dapat diidentifikasi pola respons bibit karet serta diperoleh rekomendasi pemupukan yang lebih tepat dan efisien.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan ringkasan temuan penelitian terdahulu yang membahas pengaruh berbagai jenis pupuk, khususnya pupuk majemuk NPK, NPKMg, serta sumber magnesium seperti Kieserite dan magnesium limestone, terhadap pertumbuhan tanaman. Kajian ini difokuskan pada perbandingan jenis pupuk, dosis yang diaplikasikan, parameter pertumbuhan yang diamati, serta hasil utama yang diperoleh masing-masing penelitian. Penyajian hasil penelitian terdahulu dalam bentuk tabel bertujuan untuk memudahkan analisis komparatif dan mengidentifikasi pola konsistensi temuan terkait efektivitas pupuk magnesium, baik yang diaplikasikan secara tunggal maupun dalam kombinasi dengan pupuk NPK, pada berbagai kondisi tanah dan tanaman.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Penelitian Terdahulu tentang Pengaruh Jenis dan Dosis Pupuk Magnesium terhadap Pertumbuhan Tanaman

Peneliti	Jenis Pupuk /Perlakuan	Dosis/Perlakuan yang diuji	Parameter yang diamati	Hasil Utama
Susilowati <i>et al.</i> (2020)	NPKMg (15:15:6:4, mengandung N 15%, P ₂ O ₅ 15%, K ₂ O 6%, MgO 4%)	0; 15; 30; 45 g/pohon/bulan	Tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang	NPKMg dosis 30 g/pohon/bulan paling efektif meningkatkan pertumbuhan bibit
Harahap <i>et al.</i> (2019)	NPK (15:15:15, N 15%, P ₂ O ₅ 15%, K ₂ O 15%)	0; 10; 20; 30 g/pohon/bulan	Tinggi tanaman, bobot kering, luas daun	Dosis 20 g/pohon/bulan memberi pertumbuhan optimal
Simanjuntak <i>et al.</i> (2018)	Kieserite (MgSO ₄ ·H ₂ O, MgO 27%, S 22%)	0; 10; 20; 30 g/pohon/bulan	Jumlah daun, tinggi tanaman, bobot kering	Dosis 20 g/pohon/bulan meningkatkan jumlah daun dan biomassa
Putri <i>et al.</i> (2021)	NPK (15:15:15) vs NPKMg (15:15:6:4)	20 g/pohon/bulan	Pertambahan tinggi, diameter batang	NPKMg lebih unggul dibanding NPK biasa pada semua parameter
Anwar <i>et al.</i> (2022)	Kombinasi NPK (15:15:15) + Kieserite (MgSO ₄ ·H ₂ O)	NPK 20 g + Kieserite 10 g/pohon/bulan	Jumlah daun, tinggi, bobot kering total	Kombinasi memberi hasil terbaik dibanding pupuk tunggal
Rahmawati <i>et al.</i> (2023)	NPK (15:15:15), NPKMg (15:15:6:4), Kieserite (MgSO ₄ ·H ₂ O)	Beberapa variasi dosis (10–40 g/pohon)	Diameter batang, luas daun, rasio akar-tajuk	NPKMg + Kieserite meningkatkan rasio akar-tajuk lebih baik daripada NPK
Ayanda <i>et al.</i> (2025)	Kieserite, MRSG (Mg fertiliser)	Dosis bervariasi pada tanah Ultisol & Oxisol	Tinggi tanaman, diameter batang, biomassa	Semua sumber Mg meningkatkan pertumbuhan dibanding kontrol; Kieserite & MRSG paling efektif
Ayanda <i>et al.</i> (2020)	Kieserite, MRSG, Mg-limestone	Beberapa dosis Mg pada tanah asam	Biomassa, kandungan Mg tanaman	Semua sumber Mg memperbaiki pertumbuhan; Kieserite cepat tersedia, MRSG memberi hasil jangka panjang

Berdasarkan Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa pemberian pupuk yang mengandung magnesium, baik dalam bentuk NPKMg maupun sumber Mg tunggal seperti Kieserite dan MRSG, secara konsisten memberikan peningkatan pertumbuhan tanaman dibandingkan perlakuan kontrol. Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa dosis sedang hingga optimal, khususnya pada kisaran 20–30 g per pohon per bulan, menghasilkan respon pertumbuhan terbaik pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan biomassa. Selain itu, kombinasi pupuk NPK dengan sumber magnesium terbukti lebih efektif dibandingkan penggunaan pupuk tunggal, terutama dalam meningkatkan efisiensi penyerapan hara dan keseimbangan pertumbuhan tajuk dan akar. Temuan ini menegaskan peran penting magnesium sebagai unsur hara esensial yang mendukung proses fotosintesis dan pembentukan biomassa, sehingga relevan sebagai dasar konseptual dalam penelitian ini untuk mengevaluasi strategi pemupukan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Karakteristik Pupuk Anorganik

Pupuk NPK merupakan pupuk majemuk yang mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) sebagai unsur hara makro esensial, di mana N berperan dalam pembentukan jaringan vegetatif dan klorofil, P mendukung perkembangan akar serta transfer energi, dan K berfungsi dalam pengaturan stomata, osmoregulasi, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan, sehingga ketiganya sangat menentukan pertumbuhan awal bibit karet (Fang *et al.*, 2023). Penambahan magnesium (Mg) dalam formulasi NPKMg semakin memperkuat efek tersebut karena Mg merupakan unsur pusat molekul klorofil yang berperan langsung dalam fotosintesis, serta berfungsi sebagai aktivator berbagai enzim metabolisme energi dan transportasi fotosintat sehingga meningkatkan vigor tanaman (Cakmak & Yazici, 2010; Ishfaq *et al.*, 2022). Sumber Magnesium lain seperti kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) tidak hanya menyediakan Mg yang cepat tersedia, tetapi juga memasok sulfur (S) yang penting dalam sintesis asam amino dan protein, sehingga mendukung pembentukan biomassa dan kualitas bibit (Ahmed *et al.*, 2023). Penelitian pada bibit karet menunjukkan bahwa aplikasi Mg, baik melalui NPKMg maupun kieserite, dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif, status nutrisi daun, serta kualitas bibit, meskipun efektivitasnya bergantung pada keseimbangan dengan unsur lain seperti K, mengingat adanya interaksi antagonis antara K dan Mg yang dapat mempengaruhi penyerapan unsur tersebut (Poonpakdee *et al.*, 2021; Xin-xin *et al.*, 2020).

Respons Bibit Karet terhadap Pupuk NPK

Penggunaan dosis lebih tinggi, dapat menyebabkan efisiensi penyerapan unsur hara pada bibit karet. Menurut hasil penelitian Saufe *et al.* (2018), menunjukkan bahwa meskipun perlakuan N dan P dengan kombinasi tertentu meningkatkan tinggi dan diameter batang serta berat kering total bibit, peningkatan dosis melebihi tingkat optimum tidak selalu menghasilkan peningkatan yang sebanding dalam penggunaan hara atau *nutrient use efficiency*. Studi Febriana *et al.* (2023) juga mendapati bahwa perbaikan media tanam dengan biochar + kompos meningkatkan pertumbuhan bibit (tinggi, jumlah daun), namun pertambahan biomassa atau pertumbuhan tambahan dari dosis lebih tinggi kompos saja mulai menunjukkan penurunan efisiensi dalam beberapa parameter pertumbuhan. Rekomendasi dosis optimum seperti yang dilaporkan pada penelitian Harahap *et al.* (2019) pada 20 g/pohon/bulan tetap sangat relevan untuk pembibitan karet, dosis yang cukup tinggi untuk mendorong pertumbuhan vegetatif dan biomassa secara optimal, namun tidak terlalu tinggi sehingga penggunaan unsur hara menjadi tidak efisien, maupun memicu ketidakseimbangan unsur atau stres. Strategi pemupukan harus berdasarkan kebutuhan spesifik bibit, media tanam, serta kapasitas penyerapan akar agar pertumbuhan maksimal tercapai dengan efisiensi tinggi dan dampak lingkungan minimal.

Respons Bibit Karet terhadap Pupuk NPKMg

Menurut Susilowati *et al.* (2020), pemberian NPKMg dengan dosis 30 g/pohon/bulan menghasilkan pertumbuhan terbaik pada bibit karet, ditunjukkan melalui peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang, di mana keberadaan Mg terbukti meningkatkan fotosintesis sehingga bibit memiliki vigor yang lebih baik. Temuan ini diperkuat oleh Putri *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa NPKMg lebih unggul dibanding NPK biasa dalam meningkatkan parameter pertumbuhan vegetatif, termasuk pengembangan sistem perakaran yang lebih sehat. Secara fisiologis, Mg berperan penting sebagai pusat molekul klorofil yang meningkatkan penyerapan cahaya, sekaligus sebagai aktivator enzim metabolisme sehingga fotosintesis lebih efisien dan hasil asimilat dapat didistribusikan ke organ vegetatif maupun akar (Ishfaq *et al.*, 2022). Selain itu, interaksi K–Mg dalam jaringan bibit karet perlu diperhatikan karena kelebihan K tanpa suplai Mg dapat menurunkan efisiensi penyerapan Mg, sehingga formulasi NPKMg mampu menyeimbangkan rasio ionik dan meningkatkan efisiensi penggunaan hara (Xin-xin *et al.*, 2022). Bahkan, penelitian terbaru menunjukkan bahwa karakterisasi pupuk Mg modern memiliki perbedaan dalam ketersediaan dan laju pelepasan hara, yang berimplikasi terhadap kualitas pertumbuhan bibit (Zhang *et al.*, 2022). Dengan demikian, respons positif bibit karet terhadap NPKMg menegaskan bahwa Mg merupakan unsur kunci dalam

meningkatkan kualitas pertumbuhan vegetatif dan perakaran, sekaligus menjaga efisiensi pemupukan serta ketahanan bibit terhadap stres lingkungan.

Respons Bibit Karet terhadap Pupuk Kieserite

Penelitian Simanjuntak *et al.* (2018) menegaskan bahwa aplikasi Kieserite (MgSO_4) dengan dosis 20 g/pohon/bulan mampu meningkatkan jumlah daun, tinggi tanaman, dan biomassa kering bibit karet, di mana peran Mg mendukung pembentukan klorofil untuk fotosintesis dan S berperan penting dalam sintesis asam amino serta protein. Temuan ini sejalan dengan laporan Anwar *et al.* (2022) yang membuktikan bahwa penambahan Kieserite pada pupuk NPK mampu meningkatkan efektivitas pemupukan karena adanya sinergi unsur hara makro (N, P, K) dengan Mg dan S, sehingga pertumbuhan vegetatif bibit menjadi lebih optimal. Dari sudut fisiologi tanaman, Mg berperan sebagai pusat molekul klorofil dan aktivator enzim metabolisme energi, sementara S terlibat dalam pembentukan protein struktural dan enzimatis, sehingga keduanya mendukung pembentukan jaringan daun dan akar yang lebih sehat (Ishfaq *et al.*, 2022). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa ketersediaan Mg yang cukup dapat memperbaiki efisiensi fotosintesis serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres, terutama melalui interaksinya dengan K yang seringkali bersifat antagonis bila tidak diimbangi Mg (Xin-xin *et al.*, 2020). Selain itu, pemanfaatan Kieserite pada fase pembibitan terbukti mendukung vigor awal bibit karet karena kombinasi Mg dan S mempercepat akumulasi biomassa serta meningkatkan rasio akar-tajuk yang krusial bagi adaptasi setelah transplantasi (Zhang *et al.*, 2022). Dengan demikian, respons positif bibit karet terhadap Kieserite menunjukkan bahwa pupuk ini bukan hanya berfungsi sebagai sumber Mg, tetapi juga memberikan suplai S yang sinergis dengan unsur NPK, sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif, kualitas fisiologis, dan daya adaptasi bibit pada tahap awal pertumbuhan.

Tantangan dan Prospek ke Depan

Penggunaan pupuk anorganik seperti NPK, NPKMg, dan Kieserite pada pembibitan karet menghadapi sejumlah tantangan, antara lain efisiensi serapan hara yang relatif rendah bila dosis tidak sesuai dengan kebutuhan bibit, biaya input yang tinggi, serta risiko degradasi tanah dalam jangka panjang yang dapat menurunkan kualitas media tanam; meskipun demikian, berbagai studi menegaskan bahwa pemupukan berbasis kebutuhan spesifik tanaman dan media mampu mengoptimalkan respons pertumbuhan vegetatif tanpa memicu kejenuhan hara (Hanslin *et al.*, 2019). Prospek penelitian ke depan mengarah pada formulasi pupuk majemuk yang lebih seimbang, misalnya integrasi NPK atau NPKMg dengan Kieserite, yang tidak hanya memperbaiki keseimbangan nutrisi (N, P, K, Mg, S) tetapi juga meningkatkan fotosintesis, sistem perakaran, serta vigor bibit (Bashir *et al.*, 2022). Selain itu, kombinasi pupuk anorganik dengan bahan organik seperti kompos atau biochar terbukti memperbaiki retensi hara, meningkatkan kapasitas tukar kation, serta mendukung aktivitas mikroba tanah sehingga efisiensi serapan unsur hara meningkat dan kondisi tanah lebih berkelanjutan (Shaaban *et al.*, 2024). Inovasi teknologi pupuk pelepasan terkendali juga semakin relevan untuk diaplikasikan pada pembibitan karet, karena dapat menekan kehilangan N dan mengoptimalkan penggunaan pupuk dengan hasil pertumbuhan dan keuntungan ekonomi yang lebih tinggi. Dengan demikian, strategi pemupukan masa depan pada pembibitan karet sebaiknya diarahkan pada pendekatan terpadu yang memadukan dosis optimum, sumber hara majemuk, serta teknologi inovatif untuk mencapai pertumbuhan bibit maksimal, efisiensi tinggi, dan keberlanjutan lingkungan.

KESIMPULAN

Aplikasi pupuk anorganik berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan bibit karet, namun efektivitasnya sangat ditentukan oleh jenis dan dosis pupuk yang diberikan. Pupuk NPK pada dosis optimum (sekitar 20 g/pohon/bulan) terbukti meningkatkan tinggi tanaman, luas daun, dan bobot kering tanpa menimbulkan kejenuhan hara. Penambahan unsur magnesium dalam formulasi NPKMg memberikan respons lebih baik dibanding NPK biasa, karena Mg berperan dalam

pembentukan klorofil, fotosintesis, dan pengembangan sistem perakaran, sehingga bibit memiliki vigor yang lebih tinggi. Sementara itu, Kieserite (MgSO_4) tidak hanya menjadi sumber Mg yang cepat tersedia, tetapi juga menyediakan sulfur (S) yang penting dalam sintesis protein, sehingga kombinasi NPK dengan Kieserite menghasilkan pertumbuhan vegetatif bibit yang lebih optimal. Meskipun demikian, dosis pupuk yang terlalu tinggi tidak selalu meningkatkan pertumbuhan, bahkan dapat menurunkan efisiensi serapan hara. Oleh karena itu, strategi pemupukan yang tepat perlu memperhatikan kebutuhan spesifik tanaman, kondisi tanah, dan fase pertumbuhan. Prospek ke depan diarahkan pada penggunaan formulasi pupuk majemuk yang lebih seimbang, integrasi pupuk anorganik dengan organik atau hayati, serta inovasi pupuk berdaya guna tinggi (misalnya pupuk pelepasan terkendali), agar pertumbuhan bibit karet dapat dioptimalkan secara berkelanjutan dengan efisiensi hara yang tinggi dan dampak lingkungan yang minimal.

Berdasarkan hasil telaah dan pembahasan dalam penelitian ini, beberapa rekomendasi yang dapat diajukan untuk penelitian dan penerapan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji kombinasi pupuk secara lebih spesifik, khususnya integrasi antara pupuk NPK atau NPKMg dengan Kieserite pada berbagai rasio dan waktu aplikasi yang berbeda. Hal ini penting untuk mendapatkan formulasi pemupukan yang paling efisien dalam memenuhi kebutuhan hara bibit karet tanpa menimbulkan ketidakseimbangan nutrisi, terutama terkait interaksi antagonis antara unsur K dan Mg.
2. Perlu dilakukan penelitian berbasis kondisi tanah dan klon karet yang berbeda, mengingat respons bibit terhadap pupuk sangat dipengaruhi oleh sifat kimia tanah (seperti pH, kandungan Mg tersedia, dan kapasitas tukar kation) serta karakter genetik klon. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi pemupukan yang lebih spesifik lokasi (site-specific nutrient management).
3. Hambatan utama dalam penelitian terkait pemupukan bibit karet, seperti variasi metode aplikasi pupuk, perbedaan media tanam, keterbatasan data jangka panjang, serta tingginya biaya input pupuk anorganik, perlu menjadi perhatian dalam penelitian selanjutnya. Oleh karena itu, desain penelitian yang lebih terstandar dan analisis efisiensi ekonomi pemupukan sangat dianjurkan untuk mendukung rekomendasi teknis yang aplikatif bagi pembibitan karet skala lapang.

Dengan adanya penelitian lanjutan yang lebih terarah dan komprehensif, diharapkan strategi pemupukan bibit karet dapat dikembangkan secara lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan, sehingga mampu meningkatkan kualitas bibit dan produktivitas tanaman karet di masa mendatang.

REFERENSI

- Achmad, S. R., & Putra, R. C. (2016). Respon Tanaman Karet Di Pembibitan Terhadap Pemberian Pupuk Majemuk Magnesium Plus Mikro. *Jurnal Penelitian Karet*, 34(1), 49–60. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v34i1.230>
- 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, 1–25. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1285512>
- Anwar, R., Fadilah, T., & Siregar, H. (2022). Pengaruh Kombinasi Pupuk NPK dan Kieserite terhadap Pertumbuhan Bibit Karet (*Hevea brasiliensis*). *Jurnal Agrotek Indonesia*, 14(2), 115–124.
- Bashir, O., Bangroo, S. A., Naikoo, N. B., Mir, A. H., Kumar, S., Rasool, R., Abdullah, H., Mir, L., & Reshi, O. (2022). Determination of Horizon, Its Boundary and Depth in the Soil Profiles of North Western Himalayas. *International Journal of Plant & Soil Science*, 1123–1134. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i232525>
- Bazmi, R. R., & Panichayupakaranant, P. (2023). The Role of Roots, Stems, and Leaves in Plant Function: Structural and Physiological Perspectives for Optimized Plant Growth. *Australian Herbal Insight*, 6(1), 1–5. <https://doi.org/10.25163/ahi.619956>
- Cakmak, I., & Yazici, A. M. (2010). Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops*, 94(2), 23–25.

- De Alwis, W. D. M. N., Nakandala, S. A., & Zoysa, L. (2022). Effect of seed quantity on growth performance of rubber seedling plants and quality of planting material. *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 102(1), 11–18. <https://doi.org/10.4038/jrrisl.v102i1.1909>
- Dharmakeerthi, R. S., Chandrasiri, J. A. S., & Edirimanne, V. U. (2012). Effect of rubber wood biochar on nutrition and growth of nursery plants of *Hevea brasiliensis* established in an Ultisol. *SpringerPlus*, 1(84), 1–12. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-84>
- Fang, X., Yang, Y., Zhao, Z., Zhou, Y., Liao, Y., Guan, Z., Chen, S., Fang, W., Chen, F., & Zhao, S. (2023). Optimum Nitrogen, Phosphorous, and Potassium Fertilizer Application Increased Chrysanthemum Growth and Quality by Reinforcing the Soil Microbial Community and Nutrient Cycling Function. *Plants*, 12(23), 1–18. <https://doi.org/10.3390/plants12234062>
- Febriana, W., Gusmini, & Yulistriani. (2023). Improvement Of Ex-Gold Mining Soil Through The Application Of Rubber Leaf Litter Compost And Biochar Of Oil Palm Empty Fruit Bunches On The Growth Of Rubber Seedlings (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) PB-260 CLONE. *Jurnal Riset Perkebunan*, 4(1), 53–64. <https://doi.org/10.25077/jrp.4.1.53-64.2023>
- Harahap, S., Hutapea, R., & Lestari, P. (2019). Respons Bibit Karet terhadap Pemberian Pupuk NPK dengan Dosis Berbeda. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 19(1), 45–53.
- Halimah, N., Rejeki, D., Arisandi, D. P., & Maharani, N. (2024). Strategi Optimasi Produksi Getah Karet Perumda Perkebunan Kahyangan Jember. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Ilmu Pertanian*, 2(1), 17–29. <https://doi.org/10.59581/jtpip-widyakarya.v2i1.2531>
- Hanslin, H. M., Bischoff, A., & Hovstad, K. A. (2019). Root growth plasticity to drought in seedlings of perennial grasses. *Plant and Soil*, 440(1–2), 551–568. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04117-7>
- Ishfaq, M., Wang, Y., Yan, M., Wang, Z., Wu, L., Li, C., & Li, X. (2022). Physiological Essence of Magnesium in Plants and Its Widespread Deficiency in the Farming System of China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274>
- Poonpakdee, C., Khawmee, K., & Onthong, J. (2021). Response of Rubber Tree Saplings to Dolomite and Kieserite Application and K:Mg Ratio. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29(4), 2465–2479. <https://doi.org/10.47836/pjst.29.4.12>
- Putri, A. D., Yuliana, M., & Prasetyo, B. (2021). Perbandingan Efektivitas Pupuk NPK dan NPKMg terhadap Pertumbuhan Bibit Karet. *Jurnal Agrosains Tropika*, 6(3), 89–98.
- Rahmawati, I., Nugroho, A., & Sembiring, J. (2023). Kombinasi Pupuk NPKMg dan Kieserite pada Berbagai Dosis untuk Meningkatkan Kualitas Bibit Karet. *Journal of Tropical Plant Science*, 12(1), 33–42.
- Saufe, N. A., Sulaiman, Z., Adekunle, S. M., Samad, M. Y. A., & Yusoff, M. M. (2018). Influence of Different Rates of Nitrogen (N) and Phosphorus (P) Fertilizers on Growth and nutrient use efficiency of *Hevea brasiliensis*. *European Journal of Engineering Research and Science*, 3(3), 53–57. <https://doi.org/10.24018/ejers.2018.3.3.628>
- Shaaban, M., Abdo, A. I., Al-Huqail, A. A., El-Ramady, H., Rashwan, E., Kaur, P., Shah, A., & El-Desoky, M. A. (2024). Biochar and Compost Applications Improve Soil Fertility and Plant Growth: A review of recent advances. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01276-y>
- Simanjuntak, D., Manurung, E., & Sitompul, A. (2018). Efektivitas Kieserite ($MgSO_4$) terhadap Pertumbuhan Vegetatif Bibit Karet. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(2), 101–109.
- South, D. B., & Starkey, T. E. (2010). Too much rain can slow growth of container-grown pine seedlings. *New Zealand Institute of Forestry*, 55(3), 16–19. <https://nzif.org.nz/nzif-journal/publications/article/22618>
- Susilowati, T., Pranoto, H., & Wibowo, R. (2020). Pengaruh Pemberian NPKMg terhadap Pertumbuhan Vegetatif Bibit Karet. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 55–64.
- Xin-xin, X., Wen-bin, W., Xue-hua, L., Yong-fa, Z., & Chun-mei, Z. (2022). FTIR Spectroscopic Characterization of Material Composition in Leaf of *Hevea Brasiliensis* Seedlings Under Potassium and Magnesium Deficiency. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 42(1), 74–79. <https://www.researching.cn/articles/OJ222bb61ffcf82fc>

- Xin-xin, X., Yun-xia, W., Wen-bin, W., Xue-hua, L., Chun-mei, Z., Da-peng, W., Yong-fa, Z., & Xiao-ping, W. (2020). Interaction of potassium and magnesium on the growth and nutrient absorption of *Hevea brasiliensis* seedlings. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 26(10), 1870–1878. <https://www.plantnutrifert.org/en/article/doi/10.11674/zwyf.20065>
- Yang, Q., Li, J., Xu, W., Wang, J., Jiang, Y., Ali, W., & Liu, W. (2024). *Substitution of Inorganic Fertilizers with Organic Fertilizers Influences Soil Carbon and Nitrogen Content and Enzyme Activity under Rubber Plantation* (pp. 1–12). <https://doi.org/10.20944/preprints202404.0929.v1>