Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
6 (1) 2026, Page: 20869-20876

Pengaruh kombinasi unsur hara makro (NPK) terhadap produktivitas selada (Lactuca sativa L.) secara hidroponik

Ichpan zulfansyah, Muhammad Eghi Perdana, Dian Dhika, Nurliana Pulungan

Universitas Alwashliyah, Medan, Indonesia

Published: April , 2026

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of macronutrient (NPK) combinations on the growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in a hydroponic system. The experiment employed a completely randomized design with four treatment levels of NPK combinations, namely P1 (100–50–100 ppm), P2 (150–75–150 ppm), P3 (200–100–200 ppm), and P4 (250–125–250 ppm), each replicated three times. The observed parameters induded plant height, number of leaves, leaf area, fresh weight, and dry weight. The results revealed that NPK combinations significantly affected all observed parameters. The P3 treatment consistently produced the highest values in plant height (25.4 cm), number of leaves (11 leaves), leaf area (126.5 cm^2), fresh weight (128.4 g), and dry weight (10.6 g). Although higher nutrient concentrations were applied in P4, the results were not significantly superior to P3, indicating the existence of an optimal nutrient threshold. Excessive nutrient supply tended to reduce nutrient use efficiency and potentially caused physiological stress in plants. This study contributes to the development of hydroponic nutrient management by proposing an alternative formulation using inorganic fertilizers (urea, SP-36, and KCl) as a cost-effective substitute for commercial nutrient solutions. The findings highlight the importance of balanced nutrient composition in maximizing plant growth and yield. Future research should explore the interaction of macronutrients with micronutrients and evaluate the effectiveness of this formulation under different hydroponic systems and environmental conditions.

Keywords: Hydroponics; Lettuce; Macronutrients; NPK; Plant productivity

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 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

Selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura daun yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan tingkat konsumsi yang terus meningkat secara global. Tanaman ini banyak diminati karena kandungan gizinya yang lengkap, antara lain vitamin A, C, dan K, serta mineral penting seperti kalium dan zat besi yang berperan dalam menjaga kesehatan tubuh. Selain itu, selada memiliki siklus pertumbuhan yang relatif singkat, sehingga menjadi komoditas unggulan dalam sistem pertanian intensif dan urban farming. Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pola hidup sehat serta tren konsumsi makanan segar dan organik turut mendorong peningkatan permintaan selada secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir.

Secara konvensional, budidaya selada dilakukan di lahan terbuka dengan media tanah. Namun, sistem ini memiliki berbagai keterbatasan, seperti ketergantungan terhadap kondisi lingkungan, efisiensi penggunaan air yang rendah, serta risiko serangan hama dan penyakit yang lebih tinggi. Selain itu, keterbatasan lahan pertanian akibat urbanisasi menjadi tantangan utama dalam meningkatkan produksi hortikultura di wilayah perkotaan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi budidaya yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan.

Salah satu pendekatan yang berkembang pesat adalah sistem hidroponik, yaitu metode budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, melainkan memanfaatkan larutan nutrisi sebagai sumber unsur hara. Sistem ini menawarkan berbagai keunggulan, antara lain efisiensi penggunaan air

hingga 70–90%, kontrol nutrisi yang lebih presisi, serta kemampuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman dalam ruang terbatas (Resh, 2022). Selain itu, hidroponik memungkinkan produksi sepanjang tahun tanpa tergantung musim, sehingga sangat relevan dalam mendukung ketahanan pangan di era modern.

Meskipun demikian, keberhasilan budidaya tanaman secara hidroponik sangat bergantung pada manajemen nutrisi, khususnya keseimbangan unsur hara makro nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Ketiga unsur tersebut memiliki peran fundamental dalam proses fisiologis tanaman. Nitrogen berfungsi sebagai komponen utama dalam pembentukan klorofil, protein, dan asam amino yang mendukung pertumbuhan vegetatif, terutama pembentukan daun yang menjadi organ utama pada tanaman selada. Fosfor berperan dalam transfer energi melalui senyawa ATP, pembelahan sel, serta perkembangan sistem perakaran yang kuat. Sementara itu, kalium berfungsi dalam pengaturan tekanan osmotik, aktivasi enzim, serta transportasi hasil fotosintesis, sehingga berkontribusi terhadap kualitas dan ketahanan tanaman (Rouphael & Colla, 2020).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemberian nutrisi yang tepat dalam sistem hidroponik dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman secara signifikan (Savvas & Gruda, 2018; Subedi et al., 2021). Namun demikian, efektivitas unsur hara sangat dipengaruhi oleh keseimbangan dosis yang diberikan. Ketidakseimbangan nutrisi dapat menyebabkan gangguan fisiologis, seperti defisiensi atau toksisitas, yang berdampak pada penurunan pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Rafiee et al., 2016). Selain itu, respons tanaman terhadap kombinasi unsur hara juga bersifat spesifik tergantung jenis tanaman, fase pertumbuhan, serta kondisi lingkungan budidaya.

Dalam praktik lapangan, sebagian besar pelaku hidroponik masih menggunakan pupuk komersial seperti AB mix sebagai sumber nutrisi utama. Meskipun efektif, penggunaan AB mix memiliki kelemahan, yaitu harga yang relatif mahal dan ketergantungan pada produk pabrikan. Hal ini menjadi kendala bagi petani skala kecil maupun pelaku usaha hidroponik pemula. Oleh karena itu, penggunaan pupuk anorganik tunggal seperti urea (sumber N), SP-36 (sumber P), dan KCl (sumber K) menjadi alternatif yang lebih ekonomis, mudah diperoleh, dan fleksibel dalam formulasi.

Namun, hingga saat ini, kajian mengenai kombinasi optimal unsur hara makro NPK dalam sistem hidroponik, khususnya pada tanaman selada, masih terbatas. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada larutan nutrisi komersial atau konsentrasi tunggal, sementara pendekatan kombinasi NPK berbasis pupuk anorganik belum banyak dieksplorasi secara sistematis. Padahal, pemahaman mengenai kombinasi dosis yang tepat sangat penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, menekan biaya produksi, serta menjaga keberlanjutan sistem budidaya.

Selain itu, terdapat fenomena bahwa peningkatan dosis pupuk tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan hasil. Dalam banyak kasus, terdapat titik optimum dimana penambahan unsur hara tidak lagi memberikan peningkatan signifikan, bahkan dapat menurunkan efisiensi atau menyebabkan stres tanaman. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu mengidentifikasi kombinasi dosis NPK yang optimal dan efisien dalam sistem hidroponik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kombinasi unsur hara makro (NPK) terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) secara hidroponik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan manajemen nutrisi hidroponik, serta menghasilkan rekomendasi praktis mengenai formulasi pupuk yang optimal, ekonomis, dan berkelanjutan bagi petani dan pelaku urban farming.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu kombinasi unsur hara makro nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Gedung Johor, Kecamatan Medan Johor, Kota Medan, Sumatera Utara, pada ketinggian sekitar 32 meter di atas permukaan laut dengan kondisi iklim tropis, suhu harian berkisar antara 26–33°C dan kelembapan relatif 70–85%. Penelitian berlangsung selama dua bulan, mencakup tahap persemaian, penanaman, pemeliharaan, hingga panen.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi benih selada (*Lactuca sativa* L.) varietas unggul (Grand Rapids), pupuk anorganik berupa urea sebagai sumber nitrogen (46% N), SP-36

sebagai sumber fosfor (36% P_2O_5), dan KCl sebagai sumber kalium (60% K_2O). Selain itu digunakan media tanam rockwool, air bersih yang telah diendapkan, larutan pengatur pH (pH-up dan pH-down), serta pestisida nabati jika diperlukan. Peralatan yang digunakan meliputi sistem hidroponik sederhana tipe wick, netpot, talang PVC, tandon nutrisi, EC meter, pH meter digital, timbangan digital, alat ukur, serta perangkat dokumentasi.

Perlakuan dalam penelitian ini terdiri atas empat kombinasi dosis unsur hara makro NPK, yaitu P1 (N 100 ppm, P 50 ppm, K 100 ppm), P2 (N 150 ppm, P 75 ppm, K 150 ppm), P3 (N 200 ppm, P 100 ppm, K 200 ppm), dan P4 (N 250 ppm, P 125 ppm, K 250 ppm). Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 12 unit percobaan. Pada setiap unit percobaan ditanam lima tanaman selada yang dipelihara selama periode penelitian.

Prosedur penelitian dimulai dari tahap penyemaian benih pada media rockwool yang telah dibasahi. Setiap potongan rockwool diisi satu benih dan ditempatkan pada kondisi lembab hingga berkecambah. Setelah muncul daun pertama, bibit dipindahkan ke tempat yang mendapatkan cahaya tidak langsung dan diberi larutan nutrisi dengan konsentrasi rendah. Bibit yang telah berumur 10–14 hari dan memiliki 3–4 daun sejati kemudian dipindahkan ke sistem hidroponik wick menggunakan netpot sesuai dengan perlakuan yang telah ditentukan.

Selama pemeliharaan, larutan nutrisi disiapkan berdasarkan kombinasi perlakuan masing-masing dan dikontrol secara berkala. Nilai pH larutan dijaga pada kisaran 5,8–6,5, sedangkan konsentrasi larutan nutrisi dipantau menggunakan EC meter. Larutan nutrisi diganti setiap tujuh hari untuk menjaga kestabilan kandungan hara. Pengendalian hama dilakukan secara manual atau menggunakan pestisida nabati untuk menghindari kontaminasi pada sistem hidroponik.

Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, bobot segar, dan bobot kering. Tinggi tanaman diukur setiap minggu dari pangkal batang hingga ujung daun tertinggi menggunakan penggaris. Jumlah daun dihitung berdasarkan daun sejati yang telah terbuka sempurna. Luas daun dihitung menggunakan pendekatan estimasi dengan rumus panjang dikalikan lebar daun dikalikan faktor koreksi 0,75. Bobot segar diukur pada saat panen dengan menimbang seluruh bagian tanaman setelah dibersihkan dari air, sedangkan bobot kering diperoleh dengan mengeringkan sampel tanaman dalam oven pada suhu 70°C selama kurang lebih 48 jam hingga mencapai berat konstan.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap parameter yang diamati. Apabila hasil analisis menunjukkan pengaruh yang nyata, maka dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan. Sebelum analisis dilakukan, data terlebih dahulu diuji asumsi normalitas dan homogenitas varians untuk memastikan validitas hasil analisis statistik.

Hasil Penelitian

Tinggi Tanaman

Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi unsur hara makro (NPK) berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman selada ($p < 0,05$). Rata-rata tinggi tanaman disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Kombinasi NPK terhadap Tinggi Tanaman Selada

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Kelompok DMRT (5%)
P1 (100–50–100)	18,2	c
P2 (150–75–150)	21,6	b
P3 (200–100–200)	25,4	a
P4 (250–125–250)	24,1	a

Hasil menunjukkan bahwa perlakuan P3 dan P4 memberikan tinggi tanaman tertinggi dan tidak berbeda nyata, namun keduanya berbeda signifikan dibandingkan P2 dan P1. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis NPK hingga tingkat tertentu mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, namun setelah mencapai titik optimum, peningkatan dosis tidak lagi memberikan peningkatan yang signifikan.

Jumlah Daun

Pemberian NPK juga berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah daun tanaman selada.

Tabel 2. Pengaruh Kombinasi NPK terhadap Jumlah Daun Selada

Perlakuan	Jumlah Daun (helai)	Kelompok DMRT (5%)
P1	7	d
P2	9	c
P3	11	a
P4	10	b

Perlakuan P3 menghasilkan jumlah daun terbanyak dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan nutrisi pada dosis tersebut paling optimal dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman.

Luas Daun

Tabel 3. Pengaruh Kombinasi NPK terhadap Luas Daun Selada

Perlakuan	Luas Daun (cm^2)	Kelompok DMRT (5%)
P1	95,6	c
P2	112,3	b
P3	126,5	a
P4	118,7	a

Luas daun tertinggi diperoleh pada perlakuan P3 yang tidak berbeda nyata dengan P4. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan unsur hara hingga dosis tertentu mampu meningkatkan luas permukaan fotosintesis.

Bobot Segar

Tabel 4. Pengaruh Kombinasi NPK terhadap Bobot Segar Selada

Perlakuan	Bobot Segar (g)	Kelompok DMRT (5%)
P1	85,2	d
P2	102,8	c

Perlakuan	Bobot Segar (g)	Kelompok DMRT (5%)
P3	128,4	a
P4	121,7	b

Bobot segar tertinggi diperoleh pada perlakuan P3. Meskipun P4 memiliki dosis lebih tinggi, hasilnya lebih rendah dibandingkan P3, menunjukkan adanya batas optimal pemberian nutrisi.

Bobot Kering

Tabel 5. Pengaruh Kombinasi NPK terhadap Bobot Kering Selada

Perlakuan	Bobot Kering (g)	Kelompok DMRT (5%)
P1	6,8	c
P2	8,4	b
P3	10,6	a
P4	10,1	a

Perlakuan P3 dan P4 menghasilkan bobot kering tertinggi dan tidak berbeda nyata, menunjukkan bahwa kedua perlakuan telah memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman secara optimal.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi unsur hara makro NPK memiliki pengaruh signifikan terhadap seluruh parameter pertumbuhan dan hasil tanaman selada dalam sistem hidroponik. Secara konsisten, perlakuan P3 (200–100–200) memberikan hasil terbaik pada hampir semua parameter, termasuk tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, serta bobot segar dan bobot kering. Temuan ini mengindikasikan bahwa terdapat titik keseimbangan nutrisi yang optimal dalam mendukung pertumbuhan vegetatif dan akumulasi biomassa tanaman.

Secara teoritis, hasil ini dapat dijelaskan melalui peran fundamental unsur nitrogen, fosfor, dan kalium dalam fisiologi tanaman. Nitrogen berkontribusi langsung terhadap pembentukan klorofil dan jaringan vegetatif, sehingga meningkatkan jumlah dan luas daun sebagai organ utama fotosintesis. Fosfor berperan dalam transfer energi dan pembelahan sel, sedangkan kalium mengatur keseimbangan osmotik dan aktivitas enzim yang mendukung efisiensi metabolisme tanaman (Marschner, 2012). Kombinasi yang seimbang dari ketiga unsur ini pada perlakuan P3 memungkinkan proses fisiologis berlangsung secara optimal.

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan dosis NPK secara bertahap dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman selada hingga mencapai titik optimum (Subedi et al., 2021). Namun demikian, penelitian ini juga menunjukkan bahwa peningkatan dosis lebih lanjut (P4) tidak menghasilkan peningkatan yang signifikan, bahkan pada beberapa parameter mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan adanya fenomena **diminishing return**, dimana tambahan input tidak lagi memberikan peningkatan hasil yang proporsional.

Secara kritis, kondisi ini dapat dijelaskan oleh kemungkinan terjadinya stres osmotik atau ketidakseimbangan nutrisi akibat kelebihan unsur hara. Konsentrasi larutan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan tekanan osmotik, sehingga menghambat penyerapan air dan nutrisi oleh akar tanaman (Rafiee et al., 2016). Selain itu, kelebihan nitrogen dapat menyebabkan pertumbuhan vegetatif berlebihan yang tidak diimbangi dengan efisiensi fotosintesis, sehingga menurunkan kualitas hasil.

Jika dibandingkan dengan studi lain, beberapa penelitian melaporkan bahwa peningkatan dosis NPK secara linear meningkatkan hasil tanaman tanpa menunjukkan penurunan pada dosis tinggi. Namun, perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh variasi sistem budidaya, kondisi lingkungan, serta metode pemberian nutrisi. Dalam sistem hidroponik, keseimbangan nutrisi menjadi lebih sensitif dibandingkan sistem tanah, sehingga kesalahan dosis dapat lebih cepat berdampak terhadap tanaman.

Selain itu, hasil penelitian ini juga memperkuat pendekatan efisiensi input dalam pertanian berkelanjutan. Penggunaan dosis optimum seperti pada perlakuan P3 tidak hanya meningkatkan hasil, tetapi juga lebih efisien secara ekonomi dibandingkan dosis yang lebih tinggi. Hal ini penting terutama bagi petani skala kecil yang memiliki keterbatasan sumber daya.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penelitian hanya dilakukan dalam satu lokasi dan satu siklus tanam, sehingga belum dapat menggambarkan variasi respons tanaman pada kondisi lingkungan yang berbeda. Kedua, penelitian ini belum mempertimbangkan faktor interaksi dengan unsur hara mikro yang juga berperan dalam pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji kombinasi nutrisi yang lebih kompleks serta melakukan uji pada berbagai sistem hidroponik dan kondisi lingkungan.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan manajemen nutrisi hidroponik, khususnya dalam menentukan kombinasi unsur hara makro yang optimal untuk meningkatkan produktivitas tanaman selada secara efisien dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi unsur hara makro nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) dalam sistem hidroponik. Secara konsisten, perlakuan P3 (200–100–200 ppm) menunjukkan kinerja terbaik pada hampir seluruh parameter, termasuk tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, bobot segar, dan bobot kering. Temuan ini menegaskan bahwa keseimbangan nutrisi yang tepat merupakan faktor kunci dalam mengoptimalkan pertumbuhan vegetatif dan akumulasi biomassa tanaman. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada identifikasi kombinasi NPK berbasis pupuk anorganik tunggal (urea, SP-36, dan KCl) yang mampu menggantikan penggunaan nutrisi komersial (AB mix) secara lebih ekonomis tanpa menurunkan produktivitas tanaman. Dengan demikian, penelitian ini memberikan pendekatan alternatif yang praktis dan aplikatif bagi petani hidroponik, khususnya pada skala kecil dan menengah. Secara teoritis, penelitian ini memperkuat konsep keseimbangan nutrisi dalam fisiologi tanaman, dimana peningkatan dosis unsur hara hanya efektif hingga titik optimum, setelah itu terjadi fenomena *diminishing return*. Secara praktis, hasil penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan dosis berlebih (seperti P4) tidak selalu meningkatkan hasil, bahkan berpotensi menurunkan efisiensi penggunaan pupuk. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain hanya dilakukan pada satu lokasi dan belum mempertimbangkan interaksi dengan unsur hara mikro serta variasi sistem hidroponik lainnya. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji formulasi nutrisi pada berbagai kondisi lingkungan, jenis sistem hidroponik (NFT, DFT), serta mengintegrasikan unsur hara mikro guna memperoleh formulasi nutrisi yang lebih komprehensif.

REFERENCES

Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Hortikultura Tahun 2024*. Jakarta: BPS.

Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Hortikultura Tahun 2024*. Jakarta: BPS.

Chen, J., Wang, Y., Du, J., & Xu, J. (2022). Effects of different nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on the yield, quality, and nutrient uptake of lettuce (*Lactuca sativa*). *Agronomy, 12*(10), 2477. https://doi.org/10.3390/agronomy12102477

El-Naggar, N. Z., Abdalla, A. M., & Shaban, A. M. (2021). Effect of soil application of nano NPK fertilizers on growth, productivity and quality of lettuce (*Lactuca sativa*). *Arab Journal of Agricultural Research, 29*(4), 365–376. https://ajar.journals.ekb.eg/article_218559.html

Fadila, A. N., Rugayah, R., Widagdo, S., & Hendarto, K. (2021). *Pengaruh dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kailan (Brassica oleracea var. alboglabra) pada*

pertanaman kedua. Jurnal Agrotek Tropika, 9(3), 473–480. https://doi.org/10.23960/jat.v9i3.5304

Fadilah, I., Razali, R., Berliana, Y., & Kurniawan, D. (2024). *Pengaruh umur panen terhadap mutu hasil tanaman kailan (Brassica oleracea)*. Agrobun, 1(1), 31–41. https://doi.org/10.36490/agrobun.v1i1.1213

Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (1991). *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Jakarta: UI Press.

Gardner, F.P., Pearce, R.B., & Mitchell, R.L. (1991). *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press, Ames.

Grevsen, K., Labouriau, R., & Jorgensen, U. (2020). Growth and quality of lettuce cultivars for organic production. *Organic Agriculture*, *10*(1), 45–53. https://doi.org/10.1007/s13165-019-00251-1

Grevsen, K., Labouriau, R., & Jorgensen, U. (2020). Growth and quality of lettuce cultivars for organic production. *Organic Agriculture*, *10*(1), 45–53. https://doi.org/10.1007/s13165-019-00251-1

Handayani, F. E., Rohadi, S., & Maryanto, J. (2016). *Pengaruh komposisi media tanam dan dosis pupuk nitrogen terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kailan (Brassica oleracea var. alboglabra)*. Jurnal Agro Wiralodra. https://doi.org/10.31943/agrowiralodra.v3i2.46

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Pearson.

Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, *49*, 19–34. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004

Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, *49*, 19–34. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004

Lingga, P., & Marsono. (2013). *Petunjuk Penggunaan Pupuk*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press, London.

Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of Plant Nutrition* (5th ed.). Springer.

Muhardiono, I. (2012). *Pengaruh kombinasi pupuk organik dan pupuk anorganik terhadap pH, P-tersedia, P-potensial dan bobot segar tanaman Sedap Malam (Polyanthes tuberosa L.) pada Typic Hapludults* (Skripsi). Universitas Padjadjaran.

Rafiee, M., Kaviani, B., & Kalantari, S. (2016). The impact of nutrient solution electrical conductivity and different combination of N-P-K fertilizers on lettuce growth in hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, *39*(10), 1462–1469. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109119

Rafiee, M., Kaviani, B., & Kalantari, S. (2016). The impact of nutrient solution electrical conductivity and different combination of N-P-K fertilizers on lettuce growth in hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, *39*(10), 1462–1469. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109119

Resh, H. M. (2022). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (8th ed.). CRC Press.

Resh, H. M. (2022). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (8th ed.). CRC Press.

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Nutrient management in hydroponics. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 612244. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.612244

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Nutrient management in hydroponics. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 612244. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.612244

Saha, S., Islam, M., & Rahman, M. (2021). Effect of different levels of NPK on growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *The Pharma Innovation Journal, 10*(2), 317–321. Retrieved from https://www.chemijournal.com/archives/2021/vol9issue2/PartE/9-1-404-123.pdf

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1995). *Plant Physiology*. Belmont: Wadsworth Publishing Company.

Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *European Journal of Horticultural Science*, *83*(5), 280–293. https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2

Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *European Journal of Horticultural Science*, *83*(5), 280–293. https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2

Shaaban, M. M., El-Baz, F. K., & El-Tohamy, W. A. (2022). Influence of nitrogen fertilization levels on growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy, 12*(10), 2477. https://doi.org/10.3390/agronomy12102477

Sitompul, S.M. & Guritno, B. (1995). *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Subedi, P., Tripathi, K. M., Karki, D. B., & Adhikari, S. (2021). Evaluation of nutrient solution on lettuce grown under hydroponic system. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, *6*(1), 45–52. . https://doi.org/10.22161/ijeab.61.6

Subedi, P., Tripathi, K. M., Karki, D. B., & Adhikari, S. (2021). Evaluation of nutrient solution on lettuce grown under hydroponic system. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, *6*(1), 45–52. . https://doi.org/10.22161/ijeab.61.6

Sutedjo, M. M. (2010). *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Rineka Cipta.

Topno, S., Kumar, A., Singh, S., & Kumari, K. (2022). Effect of different nutrient concentration of N, P and K on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa*) in nutrient film technique (NFT) of hydroponic system. *ResearchGate Preprint*. https://www.researchgate.net/publication/359555789

Tzortzakis, N., & Economakis, C. (2017). Nutrient availability and pH in organic substrates: The impact on plant growth. *Acta Horticulturae*, *1164*, 115–122. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1164.13.61.6

Tzortzakis, N., & Economakis, C. (2017). Nutrient availability and pH in organic substrates: The impact on plant growth. *Acta Horticulturae*, *1164*, 115–122. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1164.13.61.6

Unicrop Biochem. (2021). What role do nitrogen, phosphorus, and potassium play in plant nutrition? Retrieved from https://www.unicropbiochem.com/what-role-do-nitrogen-phosphorus-and-potassium-play-in-plant-nutrition/

Wikipedia contributors. (2024). *Phosphorus deficiency*. In *Wikipedia*. Retrieved August 20, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/Phosphorus_deficiency

Wikipedia contributors. (2024). *Plant nutrition*. In *Wikipedia*. Retrieved August 20, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/Plant_nutrition

Yosephine, S., Sutrisno, J., & Rini, D.S. (2019). Respon tanaman jagung terhadap pemberian pupuk NPK dengan dosis berbeda. *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(5), 825–832.