

**KUANTIFIKASI PERTUMBUHAN DAN HASIL BIOMASSA PADA
TANAMAN PAKCOY (*BRASSICA RAPA. L*) DENGAN HIDROPONIK
Sumbu MENGGUNAKAN LARUTAN NUTRISI AB-MIX, PUPUK
ORGANIK CAIR DAN PUPUK CAIR EMULSI IKAN**

***QUANTIFICATION OF GROWTH AND BIOMASS YIELD IN PAK CHOI
PLANTS (*BRASSICA RAPA L.*) USING WICK HYDROPONICS WITH AB-
MIX NUTRIENT SOLUTION, LIQUID ORGANIC FERTILIZER, AND
FISH EMULSION***

Yokie Lidiantoro¹, Heri Rahman^{2*}, Ahim Ruswandi³

¹²³Rekayasa Pertanian, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati ITB, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia

*Email penulis korespondensi: herirahman029@itb.ac.id

Abstrak

Menurunannya ketersediaan lahan pertanian, menuntut adanya metode budidaya tanaman yang tidak memerlukan tanah, seperti metode hidroponik; namun, ketergantungan dengan pupuk anorganik masih tinggi. Penelitian ini mengukur pengaruh AB-Mix, pupuk organik cair (POC), serta emulsi ikan terhadap pertumbuhan pakcoy dalam sistem hidroponik sumbu. Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga perlakuan dan enam ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AB-Mix menghasilkan hasil yang lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan hasil dari perlakuan organik. Larutan nutrisi organik memberikan konduktivitas (EC) yang rendah dan pH yang basa sehingga substitusi langsung pupuk organik belum efektif dan memerlukan perbaikan formulasi nutrisi.

Kata Kunci: AB-Mix, Hidroponik Sumbu, POC, Fish Emulsion

Abstract

The depletion of agricultural land requires efficient use of space through hydroponic production, and the use of inorganic fertilizers remains substantial. This study aims to determine the effects of AB-Mix, a liquid organic fertilizer (POC), and fish emulsion on the growth of pak choi under a hydroponic system with a wick medium. This study used a Completely Randomized Design with three treatments and six replications. The findings revealed that AB-Mix has a significantly higher growth and biomass compared to the organic fertilizers. The electrical conductivity and pH levels of the organic fertilizers were low, limiting nutrient availability. Thus, the direct replacement of organic fertilizers with AB-Mix was not effective, implying a need to improve and control the pH levels of the fertilizers.

Keyword: AB-Mix, Fish Emulsion, Liquid Organic Fertilizer, Wick System

PENDAHULUAN

Peningkatan populasi global dan laju urbanisasi berdampak pada berkurangnya lahan pertanian, sehingga diperlukan inovasi metode budidaya alternatif yang lebih efisien dalam penggunaan lahan seperti hidroponik untuk mendukung ketahanan pangan di kawasan perkotaan (UN, 2022; FAO, 2022). Salah satu komoditas hortikultura yang potensial dikembangkan melalui sistem ini adalah pakcoy (*Brassica rapa L.*). Selain memiliki siklus panen yang cepat dan bernilai ekonomi tinggi, permintaan pasar terhadap pakcoy terus meningkat (Tuerah *et al.*, 2023). Namun, data BPS (2024) menunjukkan adanya penurunan produksi pakcoy nasional pada tahun 2023 yang diakibatkan oleh degradasi lahan dan teknik budidaya yang belum optimal. Oleh karena itu, budidaya pakcoy menggunakan sistem hidroponik sumbu (*wick system*) menjadi solusi yang

aplikatif karena perawatannya yang sederhana, efisien dalam penggunaan air, dan tidak bergantung pada energi listrik (Domingues *et al.*, 2012; Walters *et al.*, 2020).

Tantangan utama dalam budidaya hidroponik saat ini adalah tingginya ketergantungan pada pupuk anorganik seperti AB-mix yang digunakan sebagai sumber nutrisi utama (Maneejantra *et al.*, 2016). Penggunaan pupuk kimia secara berkesinambungan berdampak buruk terhadap lingkungan. Selain itu, tren permintaan pasar terhadap produk pangan organik global dan nasional mengalami peningkatan pesat hingga 20% per tahun (Deliana, 2012; Ni'mal Hamdi *et al.*, 2024). Namun, pemanfaatan pupuk organik untuk hidroponik masih sangat terbatas karena kompleksitas dalam menciptakan formulasi nutrisi cair yang seimbang (Ahmed *et al.*, 2021).

Sebagai upaya untuk mewujudkan budidaya yang lebih berkelanjutan, Pupuk Organik Cair (POC) dan emulsi ikan (*fish emulsion*) berpotensi menjadi substitusi nutrisi anorganik. POC komersial seperti POC Nasa memiliki bentuk ion yang mudah diserap oleh tanaman. Sementara itu, fish emulsion (seperti merek Grow Quick) kaya akan makronutrien, khususnya nitrogen yang sangat krusial untuk merangsang pertumbuhan vegetatif daun pada pakcoy, serta dilengkapi dengan berbagai unsur mikro esensial (Chowdhury *et al.*, 2025).

Meskipun penggunaan nutrisi organik berpotensi untuk meminimalisasi penggunaan bahan kimia, efisiensi dan efektivitasnya perlu diuji lebih lanjut jika dibandingkan dengan pupuk AB-mix. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hasil pertumbuhan dan produksi biomassa tanaman pakcoy pada sistem hidroponik sumbu menggunakan POC Nasa dan fish emulsion. Hasil dari perlakuan organik ini akan dibandingkan dengan larutan nutrisi anorganik AB-mix (sebagai kontrol positif) berdasarkan pendekatan proporsi kesetaraan kandungan makronutrien nitrogennya.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan utama yang digunakan pada penelitian ini meliputi benih pakcoy varietas Nauli F1 (cap panah merah), larutan nutrisi hidroponik AB-Mix sayuran daun (merek Infarm), pupuk organik cair (merek Nasa), pupuk emulsi ikan atau *fish emulsion* (merek *Grow Quick Ultra*), media tanam *rockwool*, sumbu flanel, dan air destilasi. Bahan lain yang digunakan untuk pengendalian hama meliputi ekstrak bawang putih, cabai merah, dan serai sebagai pestisida nabati.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan di *Screen House* 1B ITB Jatinangor, menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal yang terdiri atas 3 perlakuan dan 6 ulangan. Ketiga perlakuan tersebut meliputi pemberian larutan AB mix sebagai kontrol positif (P1), pemberian POC Nasa (P2), dan pemberian pupuk cair fish emulsion (P3).

Benih pakcoy disemai pada media *rockwool* yang telah dipotong berukuran 2 x 2 x 2 cm dan disungkup menggunakan plastik hitam selama dua hari untuk mempercepat perkecambahan. Penyemaian dilakukan selama 14 hari dengan penyiraman rutin dua kali sehari. Bibit berumur 14 Hari Setelah Tanam (HST) yang telah memiliki minimal dua buah daun sejati diseleksi dan dipindah tanam ke instalasi hidroponik sistem sumbu (*wick system*). Setiap unit instalasi hidroponik dilengkapi bak penampung nutrisi berkapasitas 12 liter, *infraboard* dengan 12 lubang tanam, serta netpot dan sumbu flannel.

Konsentrasi nutrisi AB mix diatur pada 1300 ppm sementara kebutuhan volume untuk perlakuan POC Nasa dan *fish emulsion* diformulasikan agar rasio nitrogennya

setara dengan larutan AB-mix. Penggantian larutan nutrisi dilakukan satu kali setiap minggunya agar larutan tetap homogen hingga masa panen. Tahap pemeliharaan mencakup pengecekan parameter fisis larutan meliputi pH, *Electrical Conductivity* (EC), dan *Total Dissolved Solids* (TDS), pemantauan mikroklimat *screen house*, serta aplikasi pestisida nabati secara rutin setiap minggu untuk menekan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) seperti kutu daun.

Tahap Pengamatan dan Analisis Data

Pengambilan data pertumbuhan dilakukan secara non-destruktif setiap minggu, mencakup pengukuran tinggi tanaman, dan jumlah daun sejati secara manual menggunakan penggaris serta luas daun yang diukur secara digital menggunakan aplikasi Image-J. Proses pemanenan dilakukan pada saat tanaman berumur 28 hingga 30 HST. Pada tahap pascapanen, dilakukan pengukuran parameter biomassa secara destruktif meliputi bobot segar total komponen tanaman (akar, batang, daun), bobot kering total yang dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70°C selama 48 jam hingga bobotnya konstan (Munthe *et al.*, 2015), serta pengukuran rasio akar-tajuk (*root-shoot ratio*).

Seluruh data hasil pengamatan dianalisis secara statistik menggunakan *software* IBM SPSS Statistics 27 melalui prosedur *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah (*One-Way ANOVA*) pada taraf kepercayaan 95%. Apabila uji hipotesis menunjukkan pengaruh yang signifikan ($P < 0,05$), maka analisis dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk data dengan varians yang homogen, atau uji *Games-Howell* untuk data non-homogen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Mikroklimat dan Fisis Larutan Nutrisi

Keberhasilan pertumbuhan tanaman dalam sistem hidroponik sangat bergantung pada kondisi lingkungan mikroklimat dan kualitas fisis larutan nutrisi. Selama periode penelitian, rata-rata suhu udara di dalam *screen house* adalah 32,54°C dengan kelembaban 70,4%. Kondisi suhu ini sedikit berada di ambang batas atas toleransi tanaman pakcoy yakni 15-32°C, namun kelembaban masih berada pada rentang optimum 60-80% (Umam *et al.*, 2023). Rata-rata intensitas cahaya mencapai 170,66 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ yang tergolong tinggi dan berada diluar rentang optimum 18,50 – 74,00 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Lutfi *et al.*, 2022). Sayuran daun seperti *Brassica* masih mampu beradaptasi dan meningkatkan laju fotosintesisnya selama ketersediaan air dan nutrisi tetap terjaga (Massa *et al.*, 2008).

Tabel 1. Hasil pengukuran fisis larutan nutrisi antar perlakuan

Perlakuan	Parameter	Rata-rata	Optimum
AB mix	TDS (ppm)	1504,00	1500 ¹⁾
	pH	6,28	5,5-6,5 ²⁾
	EC (mS)	2,47	1,8-2,4 ³⁾
POC Nasa	TDS (ppm)	159,87	-
	pH	7,98	5,5-6,5 ²⁾
	EC (mS)	0,24	1,8-2,4 ³⁾
Fish Emulsion	TDS (ppm)	180,27	-
	pH	7,65	5,5-6,5 ²⁾
	EC (mS)	0,26	1,8-2,4 ³⁾

Sumber: 1) Megasari *et al.*, (2023), 2) Parks (2011), 3) Ding *et al.*, (2018)

Terdapat perbedaan karakteristik fisis yang sangat mencolok antara perlakuan nutrisi anorganik dan organik setelah dilakukan penyetaraan rasio makronutrien nitrogen. Larutan AB-mix memiliki nilai *Total Dissolved Solid* (TDS) rata-rata sebesar 1504 ppm, *Electrical Conductivity* (EC) 2,47 mS, dan pH 6,28. Sementara itu, pada perlakuan organik menunjukkan nilai fisis yang berada jauh di bawah standar optimum dengan POC Nasa dan *fish emulsion* secara berurutan hanya memiliki rata-rata TDS 159,87 ppm dan 180,27 ppm, serta EC 0,24 mS dan 0,26 mS.

Menurut Parks, (2011) pH ideal untuk pertumbuhan tanaman pakcoy berada pada rentang 5,5- 6,5. pH yang tinggi dapat menyebabkan keterbatasan nutrisi tersedia dan menekan pertumbuhan, karena ion yang dapat diserap tanaman menjadi sangat rendah dan beberapa unsur mikro berkurang ketersediaannya (Park *et al.*, 2023). Berdasarkan kriteria pertumbuhan dan kualitas, perlakuan EC yang optimal untuk pertumbuhan pakcoy pada sistem hidroponik berada pada rentang EC 1,8 mS hingga 2,4 mS. Nilai EC yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan stres nutrisi, meningkatkan aktivitas enzim antioksidan tanaman, dan menghambat pertumbuhan serta kualitas pakcoy (Ding *et al.*, 2018). Nilai EC yang cukup rendah pada perlakuan POC dan fish emulsion mengindikasikan kandungan hara esensial terlarut sedikit sehingga dapat menghambat pertumbuhan dan proses enzim metabolik (Park *et al.*, 2023).

Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Pakcoy

Berdasarkan hasil analisis keragaman (ANOVA), pemberian jenis larutan nutrisi yang berbeda memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan vegetatif tanaman pakcoy pada akhir masa pengamatan (4 MST).

Tabel 2. Pengaruh jenis larutan nutrisi terhadap rata-rata tinggi tanaman, jumlah daun, dan luas daun pakcoy pada 4 MST

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)	Luas Daun (cm ²)
AB-Mix (Kontrol)	20,85 ^a	11,75 ^a	31,01 ^a
POC Nasa	10,22 ^b	5,33 ^b	8,00 ^b
<i>Fish emulsion</i>	11,49 ^b	5,83 ^b	10,66 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf superskrip yang berbeda (^a, ^b) pada kolom yang sama menunjukkan adanya perbedaan yang nyata berdasarkan uji lanjut Duncan (untuk parameter Tinggi dan Jumlah Daun) serta uji *Games-Howell* (untuk parameter Luas Daun) pada taraf signifikansi 5%.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa tanaman pakcoy yang diaplikasikan larutan AB-Mix menghasilkan pertumbuhan tertinggi secara signifikan dibandingkan POC Nasa dan *fish emulsion*. Tingginya nilai pertumbuhan pada perlakuan AB-Mix didukung oleh ketersediaan unsur hara makro, terutama nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+) yang siap serap, sehingga sintesis protein dan pembelahan sel untuk pemanjangan batang dan inisiasi daun baru berjalan maksimal (Zhu *et al.*, 2023; Muslimah *et al.*, 2024). Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan Napitupulu *et al.*, (2023) yang menyatakan bahwa pupuk AB-mix secara nyata meningkatkan jumlah daun sawi pakcoy pada umur lanjut dibandingkan pupuk organik.

Sebaliknya, pertumbuhan tanaman pada perlakuan organik mengalami kekerdilan yang signifikan. Meskipun kandungan persentase nitrogen pada pupuk organik lebih tinggi dibandingkan AB-mix, rendahnya nilai EC menunjukkan bahwa unsur hara tersebut belum termineralisasi menjadi bentuk ion yang terlarut dan siap serap. Selain itu, kondisi pH basa (di atas 7,5) pada larutan POC dan fish emulsion menghambat penyerapan kofaktor mikronutrien penting seperti Fe, Mn, dan Zn (Tiffin *et al.*, 2005). Kekurangan unsur mikro, khususnya Zn, menyebabkan kegagalan pembentukan klorofil

sehingga menurunkan jumlah dan luas daun yang terbentuk secara drastis (Bashir *et al.*, 2013).

Hasil Biomassa Tanaman Pakcoy

Sejalan dengan respons pertumbuhan vegetatifnya, analisis statistik juga menunjukkan bahwa jenis larutan nutrisi memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap akumulasi biomassa akhir (bobot basah dan bobot kering) serta rasio pertumbuhan akar-tajuk tanaman.

Tabel 3. Pengaruh jenis larutan nutrisi terhadap rata-rata hasil biomassa dan rasio akar-tajuk tanaman pakcoy saat panen

Perlakuan	Bobot Basah Total (g)	Bobot Kering Total (g)	Rasio Akar-Tajuk
AB-Mix (Kontrol)	17,053 ^a	1,103 ^a	8,437 ^a
POC Nasa	1,393 ^b	0,213 ^b	3,197 ^b
<i>Fish emulsion</i>	2,084 ^b	0,382 ^b	3,748 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf superskrip yang berbeda (^a, ^b) pada kolom yang sama menunjukkan adanya perbedaan yang nyata berdasarkan uji lanjut Games-Howell (untuk parameter Bobot Basah) dan uji Duncan (untuk parameter Bobot Kering dan Rasio Akar-Tajuk) pada taraf signifikansi 5%.

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa akumulasi bobot basah dan bobot kering perlakuan AB-mix berpengaruh nyata dibandingkan perlakuan organik. Ketersediaan ion terlarut dengan kondisi pH dan EC yang ideal memungkinkan tanaman menyerap air dan melakukan proses fotosintesis secara maksimal untuk menghasilkan biomassa hidup (Roosta *et al.*, 2025). Bobot kering mencerminkan efisiensi fotosintesis bersih yang tinggi menunjukkan nutrisi yang ideal (Pan *et al.*, 2024). Hal ini didukung oleh penelitian Ahmed *et al.*, (2021) dan Gustiar *et al.*, (2022) yang membuktikan bahwa pupuk limbah ikan (*fish emulsion*) menghasilkan berat segar dan bobot kering yang jauh lebih rendah secara signifikan dibandingkan dengan nutrisi anorganik (AB-mix) pada budidaya tanpa tanah. Selain itu, parameter rasio akar-tajuk membuktikan secara fisiologis adanya cekaman malnutrisi pada perlakuan organik. Rasio yang tinggi pada AB-Mix mengindikasikan bahwa tanaman tumbuh dalam kondisi nutrisi melimpah sehingga energi difokuskan untuk pembesaran tajuk guna menangkap cahaya maksimal (Bláha, 2019). Sebaliknya, rasio yang sangat rendah pada POC Nasa dan *fish emulsion* merupakan strategi adaptasi tanaman terhadap kondisi krisis hara. Tanaman secara fisiologis melakukan alokasi hasil fotosintesisnya untuk memprioritaskan pertumbuhan jaringan akar untuk memperluas area pencarian nutrisi dengan mengorbankan pertumbuhan organ tajuk atau hasil panennya (Li *et al.*, 2022).

Rendahnya produktivitas pada perlakuan POC Nasa dan *fish emulsion* memberikan implikasi bahwa sistem hidroponik sumbu (*wick system*) yang pasif dan minim aerasi tidak memiliki kapasitas biologis berupa kelimpahan mikroba pengurai yang cukup untuk melakukan proses mineralisasi molekul organik kompleks menjadi ion anorganik (Taisa & Kartina, 2022). Berdasarkan hal tersebut, substitusi nutrisi organik pada hidroponik memerlukan sistem sirkulasi aktif seperti *Deep Water Culture* (DWC) atau *Nutrient Film Technique* (NFT) yang diintegrasikan dengan biofilter serta manajemen penyesuaian pH agar penguraian bahan organik dapat berjalan optimal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pemberian jenis larutan nutrisi yang berbeda memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan vegetatif dan hasil biomassa tanaman pakcoy

pada budidaya hidroponik sistem sumbu (*wick system*). Larutan anorganik AB-Mix terbukti secara konsisten memberikan hasil tertinggi dibandingkan perlakuan Pupuk Organik Cair (POC) Nasa dan emulsi ikan (*fish emulsion*). Secara kuantitatif, tanaman yang diaplikasikan nutrisi AB-Mix mampu menghasilkan tinggi rata-rata 20,85 cm, jumlah daun 11,75 helai, luas daun 31,01 cm², bobot basah 17,05 g, bobot kering 1,10 g, dan rasio tajuk-akar sebesar 8,44. Sebaliknya, penggunaan pupuk organik berupa POC Nasa dan emulsi ikan secara langsung pada sistem sumbu pasif mengakibatkan hambatan pertumbuhan (kekerdilan) dan rendahnya akumulasi biomassa secara signifikan akibat tidak optimalnya proses mineralisasi hara esensial.

Saran

Pengembangan sistem budidaya hidroponik dengan pendekatan organik (bioponik) pada masa mendatang disarankan untuk tidak hanya berfokus pada penggantian jenis input nutrisinya saja, melainkan harus mengadopsi pendekatan perbaikan sistem secara terintegrasi. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk menggunakan sistem hidroponik aktif yang memiliki sirkulasi dan tingkat aerasi tinggi, seperti *Nutrient Film Technique* (NFT) atau *Deep Water Culture* (DWC). Selain itu, efektivitas pupuk organik pada hidroponik sangat disarankan untuk diiringi dengan integrasi biofilter sebagai substrat bagi agen mikrobial untuk membantu proses mineralisasi nutrisi serta penerapan kontrol manajemen pH larutan secara berkala untuk menjaga stabilitas ketersediaan unsur hara. Melalui pendekatan terintegrasi ini, diharapkan kendala produktivitas pada sistem bioponik dapat diatasi secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Z. F., Alnuaimi, A. K., Askri, A., & Tzortzakis, N. (2021). Evaluation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) production under hydroponic system: Nutrient solution derived from fish waste vs. Inorganic nutrient solution. *Horticulturae*, 7(9), 292.
- Badan Pusat Statistik. (2024). Diakses 11 november 2024 melalui <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html>
- Bláha, L. (2019). Importance of Root-Shoot ratio for crops production. *Agronomy & Agricultural Science*, 2(2), 1–7.
- Chowdhury, M., Watson, O., Samarakoon, U. C., Altland, J. E., & Moine, J. (2025). Evaluation of Liquid Organic Fertilizers for Containerized Production under Controlled Environment. *HortScience*, 60(5), 757-764.
- Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., ... & Yu, J. (2018). Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) in a hydroponic system. *PloS one*, 13(8), e0202090.
- Domingues, D. S., Takahashi, H. W., Camara, C. A. P., & Nixdorf, S. L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 53–61.
- FAO. (2022). *Urban and Peri-urban Agriculture Sourcebook From Production to Food Systems*. Rome : FAO
- Li, L., Liu, H., & Baoyin, T. (2022). Mowing increases root-to-shoot ratio but decreases soil organic carbon storage and microbial biomass C in a semiarid grassland of North China. *Agriculture*, 12(9), 1324.

- Lutfi, M., Hanum, S. H., & Pudjiono, E. (2022). Effect of distance and color of LED (Light Emitting Diode) on growth and productivity of microgreen broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 10(3), 242 – 251.
- Maneejantra, N., Tsukagoshi, S., Lu, N., Supaibuiwatana, K., Takagaki, M. & Yamori, W. (2016). A Quantitative Analysis of Nutrient Requirements for Hydroponic Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Production Under Artificial Light in a Plant Factory. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 7(2), 1-4.
- Muslimah, Y., Harahap, E. J., Lizmah, S. F., Siregar, M. P. A., & Martunis, Y. (2024). Nutrients and growing media effect on growth and physiological traits of pak choi plants (*Brassica rapa* L.). *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, 56(2).
- Napitupulu, B. S., Simatupang, U. C. J., & Sipayung, M. L. (2023). Pengaruh Pupuk AB Mix dan Pupuk Organik Cair terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica chinensis* L.) dengan Teknik Hidroponik. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 7(2), 42-47.
- Ni'mal Hamdi, B. M., Salmiah, S., & Panjaitan, F. A. B. (2024). Willingness To Pay Masyarakat Terhadap Sayuran Organik Di Kota Medan. *Jurnal Ilman: Jurnal Ilmu Manajemen*, 12(1), 31-36.
- Park, H. K., Kim, S. H., Lee, J. H., Kim, K. Y., Sim, J. E., Jang, D. C., & Park, S. M. (2023). Physiological Responses of Pak Choi (*Brassica rapa* Subsp. *Chinensis*) Genotypes to Salt Tolerance. *Horticulturae*, 9(11), 1161.
- Parks, S. (2011). Nutrient management of Asian vegetables. *Horticulture Australia*.
- Tiffin, D., ADAS Boxworth, & Horticultural Development Council. (2005). Interpretation of leaf nutrient analysis results. Diakses pada 8 Oktober, 2025 melalui <https://projectbluearchive.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/n21y05.pdf>
- Tuerah, G. K., Gunadi, I. G. A., & Astawa, I. N. G. (2023). Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair Daun Lamtoro dan NASA terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Nandur*, 3(4), 142-153.
- Umam, C., Rahman, F. A., Syafii, M., & Hidayat, N. (2023). Fuzzy Logic dalam Pengontrolan Nilai Intensitas Cahaya LED pada Mini Plant Factory Budidaya Tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis* L.) Hidroponik. *Rekayasa*, 16(2), 235-242.
- United Nations. (2022). Population | United Nations. <https://www.un.org/en/globalissues/population>
- Walters, K.J., Behe, B.K., Currey, C.J., Lopez, R.G. (2020). Historical, current, and future perspectives for controlled environment hydroponic food crop production in the United States. *HortScience*, 55 (6), 758–767.
- Zhu, J., Dai, W., Chen, B., Cai, G., Wu, X., & Yan, G. (2023). Research progress on the effect of nitrogen on rapeseed between seed yield and oil content and its regulation mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(19), 14504.