COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat

E-ISSN: 2798-5210
Vol. 6, No. 7, November 2026
pp. 534-553
DOI: 10.59141/comserva.v6i7.3668

Pemberian Air Cucian Beras Putih dan Merah sebagai Bahan Pengencer AB Mix Hidroponik *Wick System* terhadap Pertumbuhan Bayam Jepang (*Spinacia oleracea*) dan Implementasinya dalam Bidang Pendidikan

Lina Wahyu Juniarti
Universitas PGRI Semarang, Indonesia
Email: linawahyu10@gmail.com

Keywords:
AB Mix; Rice-Washing Water; Spinacia Oleracea; Student Worksheet; Wick System Hydroponic.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Publikasi Indonesia

Abstract

Rice-washing water (leri) is a household waste containing nutrients such as N, P, K, Mg, and vitamin B1, giving it potential as a diluent for hydroponic nutrient solutions. This study aimed to determine the effect of white and red rice-washing water as a diluent of AB Mix in a wick system hydroponic on the growth of Japanese spinach (Spinacia oleracea) and to implement the findings in a Student Worksheet (LKPD). This experimental study used a factorial Completely Randomized Design (CRD) 2 × 2, consisting of AB Mix concentration (N1 = 600 ppm; N2 = 800 ppm) and type of rice-washing water (P1 = red rice; P2 = white rice), with three replications, resulting in 12 experimental units. The parameters observed were plant height, number of leaves, fresh weight, and dry weight, analyzed using ANOVA at a 5% significance level. The Project Based Learning worksheet was developed using the ADD model and validated by a material expert and a media expert. The results showed that AB Mix concentration, type of diluent, and their interaction had no significant effect on plant height and number of leaves (F count < F table). Descriptively, the N1P1 treatment (AB Mix 600 ppm + red rice-washing water) produced the highest mean plant height (4.06 cm), number of leaves (5.35), and fresh weight (2.00 g), whereas the 800 ppm treatments produced no fresh weight because the plants died. Environmental temperatures reaching 30°C, above the optimum range of the Mozart F1 variety (15–23°C), were the main limiting factor. The developed worksheet obtained feasibility scores of 87.77% from the material expert and 87.5% from the media expert, categorized as very feasible.

Kata Kunci:
AB Mix; Air Cucian Beras; *Hidroponik Wick System*; LKPD; *Spinacia Oleracea*.

Abstrak

Air cucian beras (leri) merupakan limbah rumah tangga yang mengandung unsur hara seperti N, P, K, Mg, dan vitamin B1 sehingga berpotensi menjadi bahan pengencer larutan nutrisi hidroponik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh air cucian beras putih dan merah sebagai bahan pengencer AB Mix pada hidroponik wick system terhadap pertumbuhan bayam Jepang (Spinacia oleracea) serta mengimplementasikan hasilnya dalam Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). Penelitian eksperimen ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 2 × 2, yaitu konsentrasi AB Mix (N1 = 600 ppm; N2 = 800 ppm) dan jenis air cucian beras (P1 = beras merah; P2 = beras putih), dengan tiga ulangan sehingga diperoleh 12 satuan percobaan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah, dan bobot kering yang dianalisis menggunakan ANOVA pada taraf 5%. LKPD berbasis Project Based Learning dikembangkan dengan model ADD dan divalidasi oleh ahli materi dan ahli media. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi AB Mix,

jenis pengencer, dan interaksi keduanya tidak berpengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun (F hitung < F tabel). Secara deskriptif, perlakuan N1P1 (AB Mix 600 ppm + air cucian beras merah) menghasilkan rata-rata tinggi tanaman (4,06 cm), jumlah daun (5,35 helai), dan bobot basah (2,00 g) tertinggi, sedangkan perlakuan 800 ppm tidak menghasilkan bobot basah karena tanaman mati. Suhu lingkungan yang mencapai 30°C, melampaui kisaran suhu optimal varietas Mozart F1 (15–23°C), menjadi faktor pembatas utama. LKPD yang dikembangkan memperoleh persentase kelayakan 87,77% dari ahli materi dan 87,5% dari ahli media dengan kategori sangat layak.

PENDAHULUAN

Beras merupakan makanan pokok utama bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Dalam proses memasaknya, beras umumnya dicuci terlebih dahulu sehingga menghasilkan limbah cair berupa air cucian beras (dikenal sebagai *washed rice water* atau leri) yang selama ini kerap dibuang tanpa dimanfaatkan secara optimal. Kandungan senyawa bioaktif pada beras merah, yang terdiri dari flavonoid, fenolik, GABA, melatonin, dan antioksidan, lebih tinggi dibandingkan beras putih, demikian pula kandungan mineral berupa Mg, P, Se, dan Fe. Hal ini terjadi karena pada beras putih senyawa bioaktif dan mineral hilang saat penggilingan dan *polishing* (Malabadi et al., 2022). Perbedaan jenis beras memengaruhi kandungan nutrisi dalam air cucian beras. Butir beras merah memiliki kandungan P, K, Mg, dan Zn 26 hingga 324% lebih tinggi daripada beras putih, sedangkan kandungan N, S, dan K yang lebih tinggi ditemukan dalam air beras merah karena konsentrasinya yang relatif lebih tinggi pada butir beras merah (Nabayi et al., 2023). Air cucian beras mengandung unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg), vitamin B1, serta beberapa mineral mikro lain yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Air cucian beras mengandung N sebesar 40–150 mg/L, P sebesar 43–16.306 mg/L, dan K sebesar 51–200 mg/L, serta Ca, Mg, S, dan vitamin B1 dalam konsentrasi yang bervariasi tergantung pada jenis beras dan metode pencucian (Abba et al., 2023).

Kandungan nutrien tersebut menjadikan leri berpotensi sebagai sumber pupuk organik cair yang bermanfaat bagi tanaman. Pemanfaatan leri sebagai pupuk organik telah dibuktikan dalam sejumlah penelitian. Penggunaan air cucian beras mampu meningkatkan tinggi dan berat kering tanaman pakcoy (Wardiah et al., 2014). Air leri yang dikombinasikan dengan pupuk organik mampu mendukung pertumbuhan cabai, bayam, dan kangkung serta meningkatkan kesuburan tanah (Gulo et al., 2024). Praktik ini bahkan telah diterapkan dalam sistem pertanian tradisional di Jepang dan sistem hidroponik skala kecil di Tiongkok (Infarm Indonesia, 2023).

Permintaan terhadap produk hortikultura sehat kian meningkat, khususnya dari kalangan konsumen kelas menengah ke atas dan pasar retail modern (Rasmikayati et al., 2020). Tren gaya hidup sehat juga turut mendorong masyarakat untuk lebih selektif dalam memilih bahan pangan, khususnya sayuran hijau. Bayam Jepang kaya akan serat, vitamin A, C, E, K, B6, dan B12, serta mengandung beberapa mineral dan nutrisi lainnya seperti Mg, Mn, Fe, Ca, K, Cu, P, Zn, Se, folat, betaine, niasin, asam lemak omega-3, beta-karoten, lutein, dan beberapa senyawa flavonoid (Rao et al., 2015). Kandungan nutrisi yang tinggi ini bermanfaat bagi kesehatan manusia, antara lain meningkatkan sistem pencernaan, mengurangi risiko diabetes, mengurangi gejala demam, pilek, dan penyakit jantung, meredakan gangguan saluran kemih dan empedu, malaria, sakit mata, penyakit kulit, dan nyeri sendi, serta berperan sebagai antioksidan, antipiretik, antiinflamasi, antibakteri, antikanker, diuretik, meningkatkan sirkulasi darah, dan baik untuk pertumbuhan dan perkembangan anak (Nurtjahyani et al., 2019).

Spinacia oleracea yang telah diolah menjadi tepung daun (*spinach leaf powder*/SLP) memiliki kandungan protein sekitar 31,72% dalam basis kering, yang menunjukkan potensi besar sebagai bahan pangan fungsional maupun sumber protein alternatif (Rao et al., 2015).

SLP mengandung kalsium sekitar 1335–1348 mg/100 g, zat besi sekitar 28–29 mg/100 g, serta fosfor sekitar 278 mg/100 g (Rao et al., 2015), dan memiliki konsentrasi mineral yang lebih tinggi karena proses pengeringan mengurangi kadar air dan meningkatkan densitas nutrien. Dari aspek komponen bioaktif, *Spinacia oleracea* memiliki keunggulan dalam kandungan asam lemak esensial, khususnya asam lemak omega-3 yang mencapai sekitar 67,4% dari total lipid, serta profil asam amino esensial seperti leusin, valin, dan fenilalanin yang cukup dominan (Rao et al., 2015). Kandungan tersebut menjadikan *Spinacia oleracea* berpotensi tinggi untuk dikembangkan di Indonesia melalui berbagai metode pertanian, salah satunya hidroponik (Amrah, Barul et al., 2026).

Hidroponik merupakan teknik budidaya tanaman tanpa tanah yang mengandalkan larutan nutrisi sebagai sumber utama pemenuhan unsur hara (Karim et al., 2023). Metode ini menjadi solusi efektif bagi keterbatasan lahan karena dapat diterapkan pada area sempit serta memiliki keunggulan dalam efisiensi penggunaan air dan waktu. Hidroponik juga mendukung praktik pertanian ramah lingkungan karena tidak memerlukan pengolahan tanah maupun penggunaan bahan kimia pengendali gulma dan hama. Salah satu metode hidroponik yang mudah diterapkan adalah sistem sumbu (*wick system*), yang memanfaatkan sumbu sebagai media penyalur larutan nutrisi dari wadah penyimpanan menuju akar tanaman melalui mekanisme kapilaritas secara pasif dan berkelanjutan (Lestari et al., 2023). Dengan karakteristik yang sederhana dan biaya relatif rendah, hidroponik *wick system* sesuai digunakan sebagai metode budidaya skala kecil maupun objek penelitian dasar (Wibowo Setya et al., 2022), serta menghasilkan tanaman yang bersih, segar, dan minim residu pestisida (Nugroho et al., 2024). Namun demikian, tingginya biaya nutrisi komersial seperti AB Mix menjadi kendala utama dalam implementasi sistem ini secara berkelanjutan, sehingga berbagai bahan alternatif, salah satunya air cucian beras, diharapkan dapat menjadi pendamping AB Mix.

Dalam upaya memanfaatkan potensi limbah lokal pada kegiatan proyek peserta didik, air cucian beras mulai dilirik sebagai solusi alternatif pelarut atau pengganti sebagian AB Mix yang dinilai lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Gulo et al., 2024). Secara teoritis, AB Mix umumnya mengandung nitrogen sebesar 123 g/kg, fosfor 37 g/kg, dan kalium 174 g/kg (Nabayi et al., 2021), sedangkan leri memiliki komposisi unsur hara yang tidak kalah kompetitif, yakni N 40–150 mg/L, P 43–16.306 mg/L, K 51–200 mg/L, Ca 8–3.574 mg/L, Mg 36–1.425 mg/L, S 27–212 mg/L, dan vitamin B1 32–560 mg/L (Abba et al., 2021). Fermentasi air cucian beras dilaporkan mampu meningkatkan kandungan mineral seperti K, Ca, Mg, Cu, dan B hingga 204% serta mempercepat pertumbuhan mikroba menguntungkan (Abba et al., 2021), sehingga dapat dieksplorasi langsung oleh peserta didik melalui LKPD berbasis PjBL sebagai proyek pembuatan nutrisi tanaman mandiri.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui pengaruh pemberian air cucian beras putih sebagai pengencer nutrisi AB Mix pada hidroponik wick system terhadap pertumbuhan Spinacia oleracea; (2) mengetahui pengaruh pemberian air cucian beras merah sebagai pengencer nutrisi AB Mix pada hidroponik *wick system* terhadap pertumbuhan Spinacia oleracea; (3) menganalisis perbedaan pengaruh antara air cucian beras putih dan air cucian beras merah sebagai pengencer AB Mix terhadap pertumbuhan Spinacia oleracea; serta (4) mengetahui tingkat kelayakan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) pembelajaran biologi SMA kelas X Kurikulum Merdeka berbasis *Project Based Learning* (PjBL) berdasarkan validasi ahli materi dan ahli media.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan di Kota Magelang, tepatnya di Kecamatan Magelang Tengah dengan ketinggian 372 mdpl dan kisaran suhu 20–26°C. Penelitian berlangsung selama kurang

lebih 45 hari, meliputi tahap persiapan, penanaman, perawatan, dan panen, pada bulan Februari–Maret 2026.

Alat dan Bahan

Alat yang dipergunakan pada penelitian ini yaitu box hidroponik, net pot, sumbu kain flanel, TDS meter, gelas ukur 1 liter, *handsprayer*, nampan, timbangan digital, baskom, ember, penggaris, alat tulis, dan kamera HP. Bahan yang dipakai yaitu benih *Spinacia oleracea*, media tanam *rockwool*, nutrisi AB Mix, air cucian beras merah, air cucian beras putih, dan air bersih.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian dibagi menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas adalah faktor perlakuan yang sengaja dimanipulasi untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel terikat, yang meliputi: (a) jenis air cucian beras (faktor P), yaitu P1 = 100% air cucian beras merah (1 liter) dan P2 = 100% air cucian beras putih (1 liter); serta (b) konsentrasi larutan AB Mix (faktor N), yaitu N1 = 600 ppm dan N2 = 800 ppm. Kedua faktor ini membentuk kombinasi 2 × 2 dengan 3 ulangan sehingga menjadi 12 satuan percobaan. Variabel terikat adalah variabel yang diamati sebagai respons dari perlakuan, yaitu parameter pertumbuhan *Spinacia oleracea* sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Variabel terikat ini dipilih karena umum digunakan sebagai indikator pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik.

Tabel 1. Parameter Pertumbuhan Bayam Jepang (*Spinacia oleracea*)

Parameter Pertumbuhan	Satuan
Tinggi tanaman	cm
Jumlah daun	helai
Bobot basah dan bobot kering	gram

Variabel kontrol adalah faktor yang dibuat konstan agar tidak memengaruhi hasil penelitian, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel Kontrol

Variabel Kontrol	Keterangan
Jenis tanaman	*Spinacia oleracea*
Media tanam	Rockwool dengan ukuran dan tingkat kelembapan yang sama
Sistem hidroponik	Sistem wick menggunakan kain flanel
Sumber cahaya	Intensitas cahaya alami dan lampu *grow light*
Jumlah bibit per net pot	Satu bibit per net pot
Frekuensi mengganti larutan nutrisi	Setiap 1 minggu sekali

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen untuk melihat kemungkinan hubungan sebab akibat dari perlakuan yang diberikan pada *Spinacia oleracea*. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor yang membentuk kombinasi 2 × 2 dan 3 ulangan sehingga menjadi 12 satuan percobaan (Tabel 3).

Tabel 3. Desain Penelitian

Ulangan	Perlakuan	Konsentrasi AB Mix (ppm)	Jenis Pelarut	Jumlah/Dosis
1	N1P1	600	Air cucian beras merah	1.000 ml
1	N1P2	600	Air cucian beras putih	1.000 ml
1	N2P1	800	Air cucian beras merah	1.000 ml
1	N2P2	800	Air cucian beras putih	1.000 ml
2	N1P1	600	Air cucian beras merah	1.000 ml
2	N1P2	600	Air cucian beras putih	1.000 ml
2	N2P1	800	Air cucian beras merah	1.000 ml
2	N2P2	800	Air cucian beras putih	1.000 ml
3	N1P1	600	Air cucian beras merah	1.000 ml
3	N1P2	600	Air cucian beras putih	1.000 ml
3	N2P1	800	Air cucian beras merah	1.000 ml
3	N2P2	800	Air cucian beras putih	1.000 ml

Keterangan: N1 = AB Mix 600 ppm; N2 = AB Mix 800 ppm; P1 = pelarut air cucian beras merah 1.000 ml; P2 = pelarut air cucian beras putih 1.000 ml. Jumlah/dosis air 1.000 ml terdiri dari 400 ml air biasa dan 600 ml air cucian beras.

Prosedur Penelitian

Penyemaian *Spinacia oleracea*

Benih *Spinacia oleracea* direndam (*seed priming*) dalam larutan vitamin B1 selama 6 jam sebelum disemai untuk meningkatkan perkecambahan dan pertumbuhan tanaman (Sharifi-Sirchi, 2014). Benih yang direndam selama 6 jam memiliki kecepatan tumbuh yang lebih baik pada skala sederhana (Laoli, 2025). Media tanam *rockwool* dipotong dengan ukuran kurang lebih 2 cm, dibasahi dengan air secukupnya, lalu disusun di atas nampan atau semai *tray* untuk menjaga kelembapan bibit (Prawira, 2018). Benih yang telah diberi perlakuan *seed priming* diletakkan ke dalam *rockwool*, dan setelah mulai berkecambah nampan semai dipindahkan ke tempat yang teduh namun tetap mendapatkan paparan sinar matahari pagi (Prawira, 2018). Media tanam disemprot secara rutin agar tidak kering selama ± 2 hingga 3 minggu sampai bibit memiliki 3–4 helai daun, kemudian bibit dipindahkan (*transplanting*) ke dalam boks hidroponik *wick system* (Khasanah, 2025).

Pembuatan Nutrisi AB Mix

Pembuatan larutan nutrisi AB Mix dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembuatan larutan stok dan pengenceran. Nutrisi AB Mix terdiri dari serbuk A dan serbuk B yang tidak boleh dicampur secara langsung dalam kondisi pekat karena dapat menyebabkan pengendapan unsur hara. Serbuk A diukur sesuai takaran pada kemasan, lalu dilarutkan dalam 500 ml air bersih dan diaduk hingga larut sempurna tanpa endapan sehingga diperoleh stok A. Dengan cara yang sama, serbuk B dilarutkan ke dalam 500 ml air bersih pada wadah berbeda sehingga diperoleh stok B (Diva & Putri, 2022). Pengenceran dilakukan dengan mengambil 5 ml stok A dan 5 ml stok B, lalu mencampurkannya ke dalam 1 liter air dan diaduk merata. Larutan kemudian diukur menggunakan TDS meter agar nilai ppm sesuai perlakuan, yaitu 600 ppm hingga 800 ppm.

Pembuatan Pengencer dari Air Cucian Beras Putih dan Merah

Air pengencer berasal dari air cucian pertama beras merah dan beras putih, karena pada tahap tersebut kandungan unsur hara serta senyawa terlarut masih relatif tinggi dibandingkan cucian berikutnya (Simatupang et al., 2024). Sebelum digunakan, air cucian beras disaring untuk memisahkan kotoran atau sisa partikel beras agar tidak menghalangi aliran pada sumbu

(*wick*) serta menjaga keseimbangan larutan nutrisi. Volume air pelarut kemudian diukur sebanyak 1 liter untuk setiap unit percobaan.

Pembuatan Hidroponik *Wick System*

Sistem *wick* bekerja berdasarkan prinsip kapilaritas, yaitu kemampuan bahan untuk menyerap dan menyalurkan cairan melalui pori-pori kecilnya dari wadah penampung ke media tanam. Wadah nutrisi berupa kotak plastik tertutup dengan tutup berlubang 9 sesuai ukuran netpot dan jarak antarlubang 5 cm agar tanaman tumbuh optimal tanpa saling mengganggu. Netpot ditempatkan pada lubang dan dilengkapi sumbu kain flanel yang menjulur hingga ke dalam larutan nutrisi, sedangkan *rockwool* di dalam netpot berfungsi sebagai penyangga akar sekaligus menjaga kelembapan. Wadah diisi larutan nutrisi sesuai perlakuan hingga ujung sumbu terendam. Selama penelitian, sistem diperiksa secara rutin untuk memastikan sumbu berfungsi baik, larutan tidak habis, dan tidak terjadi kebocoran.

Penanaman, Pemeliharaan, dan Pemanenan

Bibit yang siap dipindahkan berumur 14 HSS atau telah tumbuh 2 helai daun (Khasanah et al., 2025), kemudian dipindahkan ke net pot bersumbu kain flanel, diletakkan pada larutan nutrisi sesuai perlakuan, dan diberi label. Pemeliharaan dilakukan dengan mengganti larutan nutrisi setiap 1 minggu sekali, mengecek ketersediaan larutan setiap 3 hari sekali sekaligus menyaring endapan pati dari air cucian beras, mengukur TDS larutan, serta memantau fluktuasi suhu dan mikroklimat setiap hari. Observasi harian ini penting mengingat cuaca di Kota Magelang tergolong sangat fluktuatif, ditandai kondisi terik pada pagi hingga siang hari yang dapat berubah mendadak menjadi hujan lebat pada sore hari, atau bahkan hujan sejak pagi. *Spinacia oleracea* siap dipanen pada umur 35–40 HST yang ditandai dengan tinggi tanaman mencapai 40 cm (Khasanah et al., 2025).

Pengambilan Data

Pengamatan dan pengukuran dilakukan 1 minggu sekali. Tinggi tanaman diukur menggunakan penggaris dari pangkal hingga ujung daun terpanjang mulai satu minggu setelah *transplanting*. Jumlah daun dihitung dari daun yang telah membuka sempurna. Bobot basah ditimbang saat panen pada umur 40 hari setelah *transplanting* dengan mengambil tanaman segar yang telah dibersihkan. Bobot kering ditimbang dari bagian atas tanaman (batang dan daun) serta bagian bawah (akar) setelah dijemur di bawah sinar matahari langsung pada lantai semen yang bersih dengan sirkulasi udara baik, pada suhu 30°C selama 5 hari mulai pukul 10.00–14.00 WIB.

Analisis dan Interpretasi Data

Data tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar diolah menggunakan Analisis Sidik Ragam (ANOVA) faktorial sesuai rancangan percobaan 2 × 2 dengan tiga ulangan untuk menguji pengaruh nyata faktor A (konsentrasi AB Mix), faktor B (jenis air cucian beras), serta interaksi A × B terhadap respons pertumbuhan tanaman. ANOVA menghitung nilai total variasi, variasi antarperlakuan, dan variasi galat (kesalahan acak) dengan rumus pada Tabel 4, sedangkan tabulasi hasil uji ANOVA disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Rumus Perhitungan Statistik

Rumus Perhitungan	Rumus Statistik
Rata-rata (*Mean*)	$\bar{X} = \Sigma X / n$
Rata-rata umum (*Grand Mean*)	$\bar{X} = \Sigma$ seluruh data / N
Jumlah Kuadrat Total (JK Total)	$JK\ Total = \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2 / N$
Jumlah Kuadrat Faktor A (Konsentrasi/N)	$JK\ A = \Sigma(T^2A) / (b \times n) - (\Sigma X)^2 / N$
Jumlah Kuadrat Faktor B (Pelarut/P)	$JK\ B = \Sigma(T^2B) / (a \times n) - (\Sigma X)^2 / N$
Jumlah Kuadrat Interaksi (A × B)	$JK\ AB = \Sigma(T^2AB) / n - JK\ A - JK\ B - (\Sigma X)^2 / N$
Jumlah Kuadrat Galat	JK Galat = JK Total − JK A − JK B − JK AB
Derajat Bebas	db A = A − 1 = 2 − 1 = 1

Rumus Perhitungan	Rumus Statistik
	db B = B − 1 = 2 − 1 = 1 db AB = (A − 1)(B − 1) = (2 − 1)(2 − 1) = 1 db G = AB(n − 1) = 2 × 2(3 − 1) = 8 db T = N − 1 = 12 − 1 = 11
Kuadrat Tengah (KT)	KT = JK / db
F Hitung	F hitung = KT AB / KT G
Keputusan	Jika F hitung > F tabel → H1 diterima Jika F hitung ≤ F tabel → H0 diterima

Tabel 5. Tabulasi Data Hasil Uji ANOVA pada RAL

No	Sumber Keragaman	Derajat Bebas (DB)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Total (KT)	F hitung (FH)	F Tabel
						0,05 / 0,01
1	Perlakuan/antar perlakuan (*between treatment*)	DBP = p − 1	JKP	KTP = JKP/DBP	FH = KTP/KTG	F(DBP, DBG)
2	Kelompok/*Group*	DBK = k − 1	JKK	KTK = JKK/DBK	FH = KTK/KTG	F(DBK, DBG)
3	Galat dalam perlakuan/*within treatment*/*error*	DBG = (p − 1)(k − 1)	JKG	KTG = JKG/DBG		
4	Total	tk − 1	JKT			

Sumber: Diambil dari Munawar (1995: 53) & Hanafiah (2004: 36). Keterangan: ∗ = nyata (F hitung > F tabel 0,05); ∗∗ = sangat nyata (F hitung > F tabel 0,01).

Jika nilai F hitung > F tabel pada taraf signifikansi 5%, maka perlakuan dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap variabel yang diamati. Interpretasi data dilakukan dengan membandingkan pola respons tanaman terhadap perlakuan. Nilai pertumbuhan yang lebih tinggi atau signifikan secara statistik dipahami sebagai perlakuan yang memberikan efek positif terhadap serapan nutrisi, metabolisme, dan perkembangan vegetatif *Spinacia oleracea*. Sebaliknya, jika tidak ditemukan perbedaan nyata antarperlakuan, hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa faktor perlakuan tidak dominan atau tanaman memiliki toleransi fisiologis terhadap variasi pelarut dan konsentrasi nutrisi. Konsistensi data pada setiap ulangan juga dicermati, karena data yang tidak seragam kemungkinan berkaitan dengan faktor luar seperti kondisi lingkungan, adaptasi bibit, atau perubahan kualitas nutrisi.

Implementasi dalam Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)

Hasil penelitian diimplementasikan dalam bentuk LKPD yang diintegrasikan dengan delapan dimensi profil lulusan. LKPD membantu peserta didik meningkatkan pemikiran kritis dan kreatif serta memberikan panduan untuk kegiatan belajar (Nurahmawati et al., 2025). Materi pemanfaatan limbah dan bahan alam kelas X memerlukan bahan ajar yang tidak hanya teoritis tetapi juga aplikatif sehingga peserta didik mampu menerapkan pembelajaran dalam konteks kehidupan nyata yang lebih bermakna dan menarik (Nurahmawati et al., 2025). Penyusunan LKPD menggunakan metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dengan model ADD (*Analysis, Design, Development*) karena memberikan tahapan yang sistematis (Afni et al., 2025). Tahap analisis meliputi analisis kurikulum untuk memahami capaian pembelajaran, alur tujuan pembelajaran, materi pokok, dan integrasi dengan delapan dimensi profil lulusan. Tahap desain meliputi perancangan LKPD berbasis *Project Based Learning* yang mencakup capaian dan tujuan pembelajaran, penyusunan materi, serta aktivitas berbasis proyek menggunakan aplikasi Canva dengan memperhatikan aspek isi,

bahasa, dan tampilan visual. Tahap pengembangan meliputi validasi oleh ahli materi dan ahli media menggunakan angket dengan tiga aspek penilaian berskala 1–5, yang hasilnya digunakan sebagai dasar revisi sebelum uji coba. Persentase jawaban validator dihitung menggunakan rumus berikut (Afni et al., 2025), dengan kriteria kelayakan pada Tabel 6.

Tingkat Kevalidan = (Jumlah Skor yang Diperoleh / Jumlah Skor Maksimum) × 100%

Tabel 6. Kriteria Kelayakan LKPD

Persentase	Kategori
81–100%	Sangat Layak
61–80%	Layak
41–60%	Cukup Layak
21–40%	Kurang Layak
0–20%	Tidak Layak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan air cucian beras putih dan merah sebagai bahan pengencer nutrisi AB Mix memengaruhi pertumbuhan *Spinacia oleracea* dalam sistem hidroponik *wick*, dan kombinasi konsentrasi AB Mix dengan jenis air cucian beras memberikan pengaruh yang berbeda terhadap pertumbuhan tanaman.

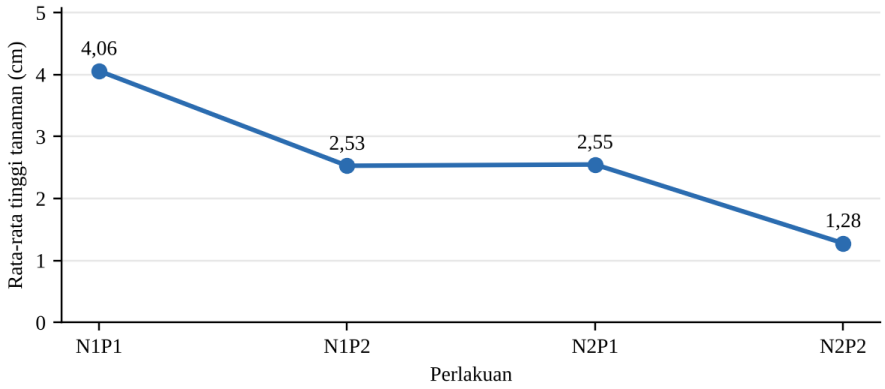
Tinggi Tanaman

Rata-rata tinggi tanaman selama lima minggu pengamatan disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 1.

Tabel 7. Rata-rata Tinggi Tanaman *Spinacia oleracea* (cm)

Perlakuan	Waktu Pengamatan Tinggi Rata-rata (cm)					Jumlah	Rata-rata
	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST		
N1P1	3,39	4,03	3,18	4,82	4,90	20,32	4,06
N1P2	3,03	3,38	1,83	2,21	2,22	12,67	2,53
N2P1	2,08	3,00	1,33	3,02	3,33	12,76	2,55
N2P2	3,02	3,38	–	–	–	6,40	1,28
Total (G)	11,52	13,79	6,34	10,36	10,45		
Rataan Umum							10,42

Keterangan: – = tanaman mati.



Gambar 1. Rata-rata Tinggi *Spinacia oleracea* (cm)

Pertumbuhan tinggi *Spinacia oleracea* menunjukkan pola yang berbeda pada setiap kombinasi perlakuan. Nilai rata-rata tertinggi selama lima minggu terdapat pada N1P1, yaitu

4,06 cm, sedangkan nilai terendah terdapat pada N2P2, yaitu 1,28 cm. Perlakuan N1P2 dan N2P1 memiliki rata-rata yang relatif sama, masing-masing sebesar 2,53 cm dan 2,55 cm. Tinggi tanaman selanjutnya dianalisis berdasarkan perbedaan konsentrasi nutrisi AB Mix, yaitu N1 (600 ppm) dan N2 (800 ppm) (Tabel 8).

Tabel 8. Rata-rata Tinggi Tanaman *Spinacia oleracea* Berdasarkan Perbedaan Konsentrasi Nutrisi AB Mix (cm)

Waktu	Konsentrasi	
	N1	N2
1 MST	3,21	2,55
2 MST	3,70	3,19
3 MST	2,50	0,66
4 MST	3,51	1,51
5 MST	3,56	1,67
Jumlah	16,48	9,58
Rata-rata	3,29	1,91

Konsentrasi N1 (600 ppm) menghasilkan tanaman yang tumbuh lebih tinggi dan lebih stabil sejak awal hingga akhir pemantauan, sedangkan konsentrasi N2 (800 ppm) menunjukkan pertumbuhan yang lebih kecil dan cenderung menurun pada tahap pertengahan. Perbedaan terbesar terjadi pada minggu ke-3, ketika konsentrasi N2 mengalami penurunan yang sangat tajam. Tinggi tanaman juga dianalisis berdasarkan jenis pelarut, yaitu P1 (air cucian beras merah) dan P2 (air cucian beras putih) (Tabel 9).

Tabel 9. Rata-rata Tinggi Tanaman *Spinacia oleracea* Berdasarkan Jenis Bahan Pengencer yang Digunakan (cm)

Waktu	Jenis Pelarut	
	P1	P2
1 MST	2,73	3,02
2 MST	3,51	3,38
3 MST	2,26	1,59
4 MST	3,92	1,10
5 MST	4,11	1,11
Jumlah	16,53	10,20
Rata-rata	3,30	2,04

Pada fase awal (1–2 MST), pertumbuhan P1 dan P2 relatif tidak berbeda jauh. Pada minggu ke-3, perlakuan P1 menunjukkan rata-rata pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan P2, sedangkan P2 mengalami penurunan pertumbuhan pada minggu ke-4 dan ke-5. Secara keseluruhan, P1 (air cucian beras merah) memberikan hasil pertumbuhan yang lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan P2. Hasil ANOVA RAL untuk menguji signifikansi pengaruh perlakuan terhadap tinggi tanaman disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Analisis Rancangan Acak Lengkap (RAL) Tinggi Tanaman *Spinacia oleracea*

Sumber Variasi	F Hitung	F Tabel	Keterangan
Konsentrasi	0,09	2,8	H_0 diterima (tidak berpengaruh signifikan)
Pelarut	0,08	2,8	H_0 diterima (tidak berpengaruh signifikan)
Interaksi	0,32	1,8	H_0 diterima (tidak ada interaksi signifikan)

Secara keseluruhan, faktor bahan pengencer, faktor konsentrasi, dan interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi tanaman.

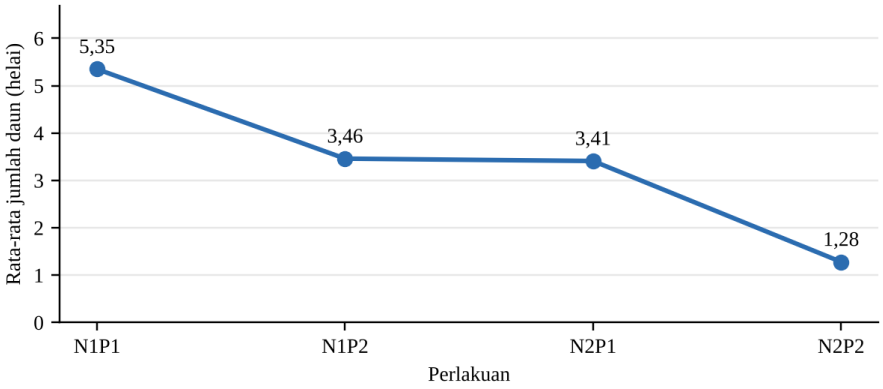
Jumlah Daun

Parameter jumlah daun diamati setiap minggu (MST), dan hasilnya disajikan pada Tabel 11 dan Gambar 2.

Tabel 11. Rata-rata Jumlah Helai Daun *Spinacia oleracea*

Perlakuan	Waktu Pengamatan Jumlah Daun (helai)					Jumlah	Rata-rata
	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST		
N1P1	2,70	4,39	2,33	10,00	7,33	26,75	5,35
N1P2	2,30	4,02	1,00	6,00	4,00	17,32	3,46
N2P1	2,40	4,16	2,17	5,00	3,33	17,06	3,41
N2P2	2,10	3,32	–	1,00	–	6,42	1,28
Total (G)	9,50	15,89	5,50	22,00	14,66		
Rataan Umum							13,48

Keterangan: – = tanaman mati/tidak terbentuk daun.



Gambar 2. Rata-rata Jumlah Daun *Spinacia oleracea* (helai)

Setiap perlakuan memberikan respons pertumbuhan jumlah daun yang berbeda. Perlakuan N1P1 menghasilkan jumlah daun tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya, terutama pada minggu keempat dan kelima, dengan rata-rata 7,33 helai pada akhir pengamatan, sehingga menunjukkan kecenderungan yang baik dalam mendukung pertumbuhan vegetatif. Perlakuan N1P2 dan N2P1 juga menunjukkan pertumbuhan jumlah daun, namun lebih rendah dibandingkan N1P1. Sementara itu, perlakuan N2P2 menghasilkan jumlah daun paling rendah dan mengalami penurunan hingga tidak terbentuk daun pada akhir pengamatan, yang menunjukkan bahwa kombinasi tersebut kurang mendukung pertumbuhan *Spinacia oleracea*. Jumlah daun selanjutnya dianalisis berdasarkan konsentrasi nutrisi AB Mix (Tabel 12).

Tabel 12. Rata-rata Jumlah Helai Daun Berdasarkan Perbedaan Konsentrasi Nutrisi AB Mix

Waktu	Konsentrasi	
	N1	N2
1 MST	2,50	2,25
2 MST	4,20	3,74
3 MST	1,67	1,08
4 MST	8,00	2,75
5 MST	5,67	1,67
Jumlah	22,04	11,49
Rata-rata	4,40	2,29

Perlakuan N1 menghasilkan rata-rata jumlah daun lebih tinggi, yaitu 4,40 helai, sedangkan N2 memiliki rata-rata 2,29 helai. Jumlah daun juga dianalisis berdasarkan jenis pengencer, yaitu P1 (air cucian beras merah) dan P2 (air cucian beras putih) (Tabel 13).

Tabel 13. Rata-rata Jumlah Helai Daun Berdasarkan Jenis Bahan Pengencer yang Digunakan

Waktu	Jenis Bahan Pengencer	
	P1	P2
1 MST	2,55	2,20
2 MST	4,27	3,67
3 MST	2,25	0,50
4 MST	7,50	3,25
5 MST	5,33	2,00
Jumlah	21,90	11,62
Rata-rata	4,38	2,32

Perlakuan P1 (air cucian beras merah sebagai pengencer AB Mix) menunjukkan rata-rata jumlah daun yang lebih tinggi, yaitu 4,38 helai, dibandingkan P2 (air cucian beras putih) sebesar 2,32 helai pada seluruh waktu pengamatan. Hasil ANOVA RAL jumlah daun disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Analisis Rancangan Acak Lengkap (RAL) Jumlah Daun Tanaman *Spinacia oleracea*

Sumber Variasi	F Hitung	F Tabel	Keterangan
Konsentrasi	0,116	2,8	H_0 diterima (tidak berpengaruh signifikan)
Pelarut	0,110	2,8	H_0 diterima (tidak berpengaruh signifikan)
Interaksi	0,226	1,8	H_0 diterima (tidak ada interaksi signifikan)

Secara keseluruhan, faktor bahan pengencer, faktor konsentrasi, dan interaksinya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah daun.

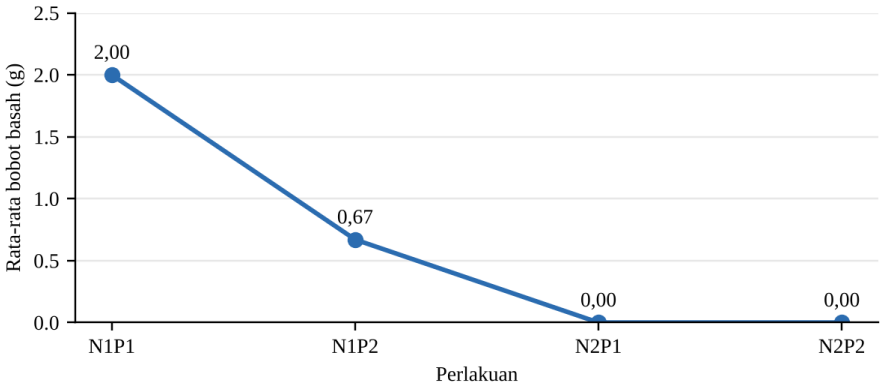
Bobot Basah

Rata-rata bobot basah tanaman dalam gram (g) disajikan pada Tabel 15 dan Gambar 3.

Tabel 15. Bobot Basah *Spinacia oleracea* (g)

Perlakuan	Jumlah	Rata-rata
N1P1	6	2,00
N1P2	2	0,67
N2P1	–	–
N2P2	–	–
Total (G)	8	
Rataan Umum		2,67

Keterangan: – = tanaman mati sehingga tidak menghasilkan bobot basah.



Gambar 3. Rata-rata Bobot Basah *Spinacia oleracea* (g)

Perlakuan N1P1 menghasilkan rata-rata bobot basah tertinggi, yaitu 2,00 g, yang menunjukkan pertumbuhan tanaman paling baik, sedangkan N1P2 menghasilkan rata-rata 0,67 g. Perlakuan N2P1 dan N2P2 tidak menghasilkan bobot basah karena tanaman mati; tingkat kepekatan nutrisi 800 ppm memicu peningkatan tekanan osmotik di area perakaran sehingga kemampuan akar untuk menyerap air dan unsur hara esensial terhambat. Berdasarkan hasil tersebut, perlakuan N1P1 merupakan perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan biomassa tanaman.

Bobot Kering

Data bobot kering dianalisis secara deskriptif. Seluruh perlakuan menunjukkan bobot kering di bawah batas deteksi alat ukur sehingga terbaca 0 gram dan tidak dapat dianalisis secara statistik. Nilai tersebut diduga disebabkan oleh pertumbuhan tanaman yang tidak optimal sehingga tanaman mengalami kerusakan atau kematian sebelum membentuk biomassa yang memadai, serta biomassa yang tersisa setelah pengeringan berada di bawah ketelitian timbangan digital. Kondisi ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan belum mampu mendukung akumulasi bahan kering selama masa penelitian, yang berkaitan dengan rendahnya proses fotosintesis dan penyerapan unsur hara. Oleh karena itu, pembahasan difokuskan pada faktor-faktor yang diduga menyebabkan tidak terbentuknya biomassa kering, seperti rendahnya pertumbuhan tanaman, ketidaksesuaian nutrisi, atau kondisi lingkungan selama penelitian.

Faktor Internal dan Eksternal

Kondisi cuaca di lokasi penelitian tergolong sangat fluktuatif. Pada sebagian besar hari pengamatan, paparan sinar matahari terik berintensitas tinggi terjadi pada pagi hingga siang hari, kemudian secara mendadak berubah menjadi hujan lebat pada sore hari, maupun sebaliknya hujan deras terjadi sejak pagi hari. Perubahan cuaca tersebut menyebabkan peningkatan suhu lingkungan hingga mencapai 30°C pada zona perakaran dan area sekitar

instalasi hidroponik. Kondisi ini melampaui kisaran suhu optimal untuk bayam Jepang subtropis (*Spinacia oleracea* varietas Mozart F1) yang idealnya tumbuh pada suhu 15–23°C. Peningkatan suhu hingga 30°C memicu peningkatan laju respirasi dan penguapan larutan nutrisi secara drastis sehingga meningkatkan tekanan osmotik di area perakaran, yang menjadi faktor utama hambatan pertumbuhan hingga kematian tanaman pada umur 21–35 hari setelah tanam.

Perubahan cuaca harian juga berpengaruh nyata terhadap aktivitas fisiologis tanaman. Pada kondisi terik, intensitas cahaya dan suhu yang terlampau tinggi memicu respons pertahanan diri tanaman untuk menghindari kehilangan air berlebih akibat transpirasi, ditandai dengan perlekukan daun dan penutupan stomata secara parsial, sehingga laju fiksasi CO_2 menurun meskipun cahaya melimpah. Sebaliknya, pada kondisi mendung atau hujan lebat, tutupan awan yang tebal membatasi masuknya energi radiasi matahari sehingga efisiensi fotosintesis menurun drastis karena tanaman kekurangan asupan foton yang dibutuhkan dalam reaksi terang fotosintesis.

Hasil Validasi LKPD

Hasil validasi oleh 2 validator menunjukkan bahwa LKPD memperoleh persentase sebesar 87,77% dari ahli materi dan 87,5% dari ahli media, yang keduanya termasuk kategori sangat layak (Tabel 16). Dengan demikian, LKPD berbasis *Project Based Learning* yang terintegrasi dengan delapan dimensi profil lulusan pada materi pemanfaatan limbah dan bahan alam dinyatakan sangat layak digunakan.

Tabel 16. Hasil Penilaian Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Setiap Validator

No	Nama Validator	Validator Ahli Materi		Validator Ahli Media		Kategori
		Jumlah Skor	Persentase	Jumlah Skor	Persentase	
1	Validator 1	36	80%	17	85%	Sangat layak
2	Validator 2	43	95,55%	18	90%	Sangat layak
Rata-rata (%)		**87,77%**		**87,5%**		**Sangat layak**

Tinggi Tanaman *Spinacia oleracea*

Perlakuan N1P1 (AB Mix 600 ppm + air cucian beras merah) merupakan perlakuan terbaik dengan rata-rata tinggi tanaman mencapai 4,90 cm di akhir pengamatan, sedangkan N2P2 (AB Mix 800 ppm + air cucian beras putih) mengalami hambatan pertumbuhan sejak pekan ke-3 hingga ke-5. AB Mix mengandung berbagai unsur hara yang dibutuhkan tanaman, baik makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan sulfur (S), maupun mikro seperti besi (Fe), seng (Zn), molibdenum (Mo), tembaga (Cu), mangan (Mn), boron (B), klor (Cl), silikon (Si), natrium (Na), dan kobalt (Co) (Agustina, 2004, dalam Simatupang et al., 2024).

Keberhasilan budidaya hidroponik sangat dipengaruhi oleh ketepatan konsentrasi nutrisi, sehingga larutan AB Mix perlu disesuaikan dengan kebutuhan tanaman agar unsur hara dapat dimanfaatkan secara optimal. Pada bayam Jepang, konsentrasi nutrisi 80%, 90%, dan 100% RDN (*Recommended Dose of Nutrients*) memberikan respons berbeda terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun; perlakuan 90% RDN memberikan bobot segar terbaik sebesar 0,832 kg/m², lebih tinggi dibandingkan 100% RDN (0,737 kg/m²) dan 80% RDN (0,492 kg/m²) (Kumar et al., 2024). Temuan ini memperlihatkan bahwa penambahan konsentrasi nutrisi tidak secara otomatis meningkatkan pertumbuhan tanaman; konsentrasi yang terlalu tinggi justru dapat menimbulkan gangguan pertumbuhan hingga kematian tanaman (Kumar et al., 2024).

Penelitian pada tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) menggunakan hidroponik *wick* dengan rancangan faktorial AB Mix dan air cucian beras menunjukkan bahwa air cucian beras

memberikan respons nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot akar, dengan kecenderungan peningkatan pertumbuhan hingga dosis 30 ml. Meskipun demikian, kombinasi AB Mix dan air cucian beras tidak menunjukkan interaksi nyata terhadap tinggi tanaman, warna daun, maupun bobot akar, sehingga efektivitas air cucian beras sebagai sumber nutrisi tambahan tetap dipengaruhi oleh dosis dan kombinasi nutrisi yang diberikan (Simatupang et al., 2024).

Air cucian beras merah (P1) menghasilkan rata-rata tinggi tanaman yang lebih tinggi, yaitu 4,11 cm pada 5 MST, dibandingkan air cucian beras putih (P2) sebesar 1,11 cm. Keberadaan fitonutrien, mineral, fosfor, serta ZPT alami dalam air cucian beras menjadi faktor pendorong laju vegetatif tanaman, sebagaimana temuan Gae Lada dan Kotouki (2024). Air cucian beras mengandung berbagai nutrien terlarut yang berpotensi menjadi sumber nutrisi tambahan bagi tanaman (Abba et al., 2021), dan baik air cucian beras merah maupun putih dapat memberikan respons terhadap pertumbuhan tanaman (Wulandari et al., 2012). Jenis beras menghasilkan perbedaan kandungan N, P, dan K pada air cucian beras (Sulfianti et al., 2021), yaitu kadar NPK (%) air cucian beras putih 0,14; 1,25; 0,02 dan beras merah 0,14; 0,44; 0,09 (As'ad et al., 2025). Dengan demikian, perbedaan pertumbuhan pada P1 dan P2 secara teoritis dapat berkaitan dengan perbedaan komposisi nutrien kedua jenis air cucian beras.

Hasil ANOVA taraf 5% menunjukkan tidak ada pengaruh nyata dari faktor nutrisi, jenis pelarut, maupun interaksinya (F hitung < F tabel). Tingginya keragaman internal antarulangan serta pengaruh variabel lingkungan yang tidak terkontrol diduga menjadi penyebab utama, sejalan dengan laporan Rukmi et al. (2017) bahwa interaksi antara konsentrasi larutan nutrisi dan jenis perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman karena kebutuhan nutrisi berbeda berdasarkan jenis tanaman, umur, fase pertumbuhan, dan kondisi lingkungan. Simatupang et al. (2024) juga melaporkan bahwa interaksi AB Mix dengan air cucian beras tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, warna daun, dan bobot akar tanaman selada.

Jumlah Daun *Spinacia oleracea*

Kombinasi N1P1 memperlihatkan pembentukan daun yang lebih baik, yakni 10,00 helai pada 4 MST dan 7,33 helai pada 5 MST, sedangkan N2P2 mencatatkan respons terendah hingga tidak mampu membentuk daun baru pada 3 hingga 5 MST. Hasil ini dapat dibandingkan dengan penelitian Setiono et al. (2025) pada sawi samhong dengan hidroponik sumbu, yang menunjukkan bahwa pemberian POC air cucian beras pada konsentrasi 400, 600, 800, dan 1.000 ppm diduga masih cukup rendah sehingga tidak memberikan efek signifikan.

Tingkat kepekatan nutrisi N1 (600 ppm) menghasilkan rerata jumlah daun yang lebih baik di setiap pekan dibandingkan N2 (800 ppm). Penurunan jumlah daun pada 800 ppm mengindikasikan bahwa pembentukan organ vegetatif terhambat pada kondisi hara yang terlalu pekat, karena kepekatan yang melampaui ambang toleransi tanaman meningkatkan tekanan osmotik pada zona perakaran dan membatasi kemampuan akar menyerap air serta hara esensial (Resh, 2013; Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012). Penelitian E. Dewi et al. (2021) pada pakcoy hidroponik dengan nutrisi 600, 800, dan 1.000 ppm serta beberapa konsentrasi limbah air cucian beras menunjukkan bahwa konsentrasi nutrisi berpengaruh signifikan terhadap jumlah daun pada umur 20 hari setelah tanam, tetapi tidak pada umur 10 dan 30 hari, sedangkan limbah air cucian beras dan interaksinya tidak berpengaruh signifikan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa respons jumlah daun terhadap nutrisi dapat berbeda pada setiap fase pertumbuhan, sehingga peningkatan konsentrasi dari 600 ppm menjadi 800 ppm belum tentu diikuti peningkatan jumlah daun.

Air cucian beras merah (P1) memberikan rerata jumlah daun yang lebih baik (5,33 helai pada 5 MST) dibandingkan air cucian beras putih (P2; 2,00 helai). Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan aleuron, vitamin B1 (tiamin), fosfor, serta ZPT alami golongan auksin dan sitokinin pada limbah beras merah yang menstimulasi pembelahan sel pada primordia daun (Wardiah et al., 2014; Setyorini et al., 2021). Hasil ANOVA taraf 5% mengindikasikan bahwa

faktor konsentrasi, faktor pelarut, maupun interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata (H_0 diterima). Hal ini diduga disebabkan oleh tingginya variabilitas galat antarulangan serta fluktuasi mikroklimat (intensitas cahaya dan suhu) yang membatasi ekspresi maksimal perlakuan. Temuan ini sejalan dengan Rukmi et al. (2017) dan Lakitan (2012) yang menyatakan bahwa variasi dosis nutrisi hidroponik tidak senantiasa menghasilkan beda nyata secara statistik pada seluruh parameter pertumbuhan vegetatif apabila faktor lingkungan mikro turut menjadi pembatas penyerapan hara.

Bobot Basah *Spinacia oleracea*

Bobot basah mencerminkan akumulasi biomassa tanaman yang dipengaruhi oleh hasil fotosintesis dan kemampuan jaringan menyimpan air; semakin baik penyerapan unsur hara, semakin besar biomassa yang terbentuk. Perlakuan N1P1 memberikan rata-rata bobot basah terbesar, yaitu 2,00 gram, yang menunjukkan dukungan terbaik bagi pertumbuhan tanaman, sedangkan N1P2 menghasilkan 0,67 gram. N2P1 dan N2P2 tidak menghasilkan bobot basah pada setiap ulangannya karena tanaman tidak dapat tumbuh atau mengalami gangguan pertumbuhan. Walters dan Currey (2018) menunjukkan bahwa ketersediaan nutrisi yang cukup berdampak besar terhadap peningkatan berat tanaman daun, sementara Maneejantra et al. (2016) menunjukkan bahwa asupan nutrisi yang cukup pada *Spinacia oleracea* hidroponik berdampak positif pada peningkatan biomassa dan berat segar. Vandam et al. (2017) menyebutkan bahwa kualitas larutan nutrisi merupakan faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan dan hasil bayam hidroponik. Oleh karena itu, perlakuan N1P1 kemungkinan besar memberikan kondisi nutrisi yang lebih tepat sehingga menghasilkan bobot basah tertinggi.

Bobot Kering *Spinacia oleracea*

Bobot kering menunjukkan akumulasi bahan organik hasil fotosintesis setelah kandungan air dihilangkan. Menurut Rehatta et al. (2023), bobot kering merupakan ukuran pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena mencerminkan akumulasi senyawa organik yang disintesis tanaman, sekaligus status nutrisi tanaman yang erat kaitannya dengan ketersediaan hara. Seluruh perlakuan dalam penelitian ini menunjukkan bobot kering di bawah batas deteksi alat ukur, yang mengindikasikan bahwa fotosintat yang dikonversi menjadi bahan organik struktural masih sangat terbatas. Machado et al. (2020) melaporkan bahwa peningkatan ketersediaan nitrogen mampu meningkatkan bobot kering bayam secara nyata karena nitrogen berperan dalam pembentukan jaringan dan akumulasi biomassa, sedangkan Vandam et al. (2017) menyatakan bahwa kualitas larutan nutrisi memengaruhi kemampuan bayam dalam membentuk biomassa, termasuk biomassa kering.

Budidaya *Spinacia oleracea* atau bayam horenso pada ketinggian di bawah 700 mdpl dapat menyebabkan tanaman tumbuh kurang optimal karena suhu yang lebih tinggi. Faktor terpenting dalam introduksi tanaman adalah kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan di tempat baru, yang memungkinkan tanaman bertahan hidup, tumbuh, dan berkembang secara optimal (Dewanti Nur & Hartati, 2023). Varietas yang digunakan dalam penelitian ini adalah varietas introduksi Mozart F1 dari Jepang yang tidak mampu beradaptasi dengan kondisi iklim dataran rendah tropis. Suhu berfungsi mengaktifkan kerja enzim yang berperan dalam perkecambahan seperti amilase, lipase, dan protease (Sumiahadi Ade et al., 2024), serta merupakan faktor terpenting dalam dormansi dan waktu perkecambahan biji karena memengaruhi berbagai reaksi kimia selama perkecambahan (Chahtane et al., 2017; Yan & Chen, 2020). Pada fase awal pertumbuhan, tanaman belum mampu berfotosintesis secara optimal, sementara laju respirasi yang tinggi menyebabkan defisit energi sehingga tanaman perlahan mati.

Cahaya juga berperan penting sebagai sumber energi utama fotosintesis. Intensitas cahaya yang sesuai meningkatkan fotosintat untuk pembentukan jaringan baru, pertambahan tinggi, jumlah daun, dan akumulasi biomassa, sedangkan cahaya yang tidak mencukupi

menurunkan laju fotosintesis. Gao et al. (2020) menunjukkan bahwa *Daily Light Integral* (DLI) sebesar 17,3 mol m^{-2} $hari^{-1}$ dengan lampu LED berasio merah : biru 1,2 menghasilkan pertumbuhan terbaik, meningkatkan jumlah daun, luas daun, berat segar, berat kering, serta laju fotosintesis tanaman. Dengan demikian, bobot kering sebesar 0 gram dalam penelitian ini diduga tidak hanya dipengaruhi oleh perlakuan nutrisi, tetapi juga oleh faktor lingkungan, terutama suhu dan ketersediaan cahaya, sehingga tanaman terhambat bahkan mati sebelum mampu mengakumulasi bahan kering yang dapat diukur.

Implementasi Hasil Penelitian dalam LKPD Materi Pemanfaatan Limbah dan Bahan Alam

Hasil penelitian diimplementasikan ke dalam perangkat pembelajaran biologi berupa LKPD berbasis *Project Based Learning* (PjBL) untuk SMA/SMK fase E (kelas X) pada materi pemanfaatan limbah dan bahan alam. Implementasi ini didasarkan pada kebutuhan untuk menjembatani teori sains di kelas dengan permasalahan kontekstual di lingkungan peserta didik, khususnya limbah rumah tangga berupa air cucian beras yang sering terbuang sia-sia. LKPD mendorong partisipasi aktif peserta didik dan mengembangkan keterampilan proses ilmiah (Almansyur et al., 2024), serta dapat menjadi alat pembelajaran yang efektif jika dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan peserta didik dan kondisi lingkungan nyata (Rianto et al., 2025). Fungsi utama LKPD adalah mempermudah pemahaman materi, melatih kemandirian, meningkatkan aktivitas peserta didik, serta mendukung diskusi kelompok dan investigasi mandiri (Almansyur et al., 2024).

LKPD yang dikembangkan dinyatakan sangat layak digunakan. Hal ini sejalan dengan penelitian Afni et al. (2025) yang merekomendasikan LKPD sebagai alternatif bahan ajar untuk meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran berbasis proyek. LKPD ini diintegrasikan dengan delapan dimensi profil lulusan dan mencapai empat dimensi, yaitu: (a) keimanan dan ketakwaan terhadap Tuhan Yang Maha Esa, melalui kegiatan diawali doa serta mensyukuri keanekaragaman hayati dan sumber daya alam dengan mengoptimalkan limbah lokal seperti air cucian beras sebagai solusi pangan yang ramah lingkungan; (b) penalaran kritis, melalui analisis data eksperimen, evaluasi pengaruh faktor lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya terhadap fotosintesis, serta desain produk inovatif dari bahan sederhana (botol bekas dan kain flanel); (c) komunikasi, melalui penyajian dan presentasi hasil kerja kelompok menggunakan bahasa ilmiah yang komunikatif dan sistematis; serta (d) kolaborasi, melalui sikap kerja sama, gotong royong, dan tanggung jawab bersama selama eksperimen hingga penyusunan laporan proyek.

Pembelajaran biologi memiliki tujuan untuk menanamkan keyakinan terhadap Tuhan Yang Maha Esa berdasarkan keberadaan, keindahan, dan keteraturan alam ciptaan-Nya, termasuk nilai tauhid rububiyah, yaitu memanfaatkan potensi manusia untuk memelihara dan melestarikan alam semesta sebagai bentuk ibadah (Basith, 2021). Kemampuan komunikasi diperlukan dalam diskusi dan kerja sama kelompok untuk menyatukan pendapat sehingga tercapai kesepakatan bersama, dan presentasi sebagai produk pembelajaran berbasis proyek dapat berjalan multiarah sehingga mengembangkan kemampuan komunikasi dan keterlibatan peserta didik (Novitasary, 2023). *Project Based Learning* mendorong peserta didik untuk merencanakan aktivitas, bekerja sama, mengambil keputusan, dan melakukan refleksi sehingga efektif mengembangkan keterampilan kolaborasi dan berpikir kritis; kolaborasi merupakan kemampuan bekerja dalam kelompok secara efektif melalui komunikasi, koordinasi, dan kontribusi yang bertanggung jawab, sedangkan penalaran kritis berkaitan dengan kemampuan mengolah informasi, mengevaluasi data, dan menggunakan bukti sebagai dasar pengambilan keputusan (Akbar et al., 2025). Melalui integrasi tersebut, LKPD berbasis proyek ini mampu menjembatani teori sains dengan konteks kehidupan nyata sehingga pembelajaran biologi menjadi lebih bermakna, aplikatif, dan berorientasi pada pembentukan karakter peserta didik yang kompeten dan peduli lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa pemberian variasi konsentrasi AB Mix, jenis air cucian beras sebagai bahan pengencer, maupun interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi tanaman dan jumlah helai daun bayam Jepang (*Spinacia oleracea*) pada hidroponik *wick system*. Meskipun demikian, secara deskriptif perlakuan N1P1 (AB Mix 600 ppm + air cucian beras merah) menghasilkan rerata tinggi tanaman terbaik, yaitu 4,90 cm pada akhir pengamatan, pembentukan daun yang lebih baik, yakni 10,00 helai pada 4 MST dan 7,33 helai pada 5 MST, serta bobot basah tertinggi sebesar 2,00 g, sehingga dapat direkomendasikan sebagai kombinasi nutrisi yang efisien dan ekonomis dengan konsentrasi AB Mix yang lebih rendah. Fluktuasi cuaca yang ekstrem menyebabkan suhu lingkungan mencapai 30°C dan melampaui kisaran suhu optimal bayam Jepang varietas Mozart F1 (15–23°C), sehingga memicu peningkatan laju respirasi, penguapan larutan nutrisi, serta tekanan osmotik di area perakaran yang berakibat pada hambatan pertumbuhan hingga kematian tanaman pada umur 21–35 hari setelah tanam. Hasil penelitian diimplementasikan ke dalam LKPD berbasis *Project Based Learning* untuk SMA/SMK fase E (kelas X) pada materi pemanfaatan limbah dan bahan alam yang dinyatakan sangat layak dengan persentase 87,77% dari ahli materi dan 87,5% dari ahli media. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan *Spinacia oleracea* varietas Kiara F1 dan Okezo 009 pada lingkungan dengan karakteristik suhu dan intensitas cahaya yang berbeda, serta mengkaji proses fermentasi air cucian beras sebelum digunakan sebagai pengencer AB Mix untuk mengetahui dampaknya terhadap ketersediaan nutrisi, pembentukan endapan, dan kelancaran penyerapan larutan melalui sumbu.

PENDANAAN

Penelitian ini dilaksanakan secara mandiri oleh penulis, tanpa adanya dukungan finansial, hibah, maupun pembiayaan dalam bentuk apa pun dari lembaga, organisasi, atau pihak manapun selama proses penelitian dan penulisan naskah berlangsung.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini. Penulis juga tidak memiliki hubungan komersial, finansial, maupun hubungan lain dengan pihak tertentu yang berpotensi memengaruhi pelaksanaan penelitian, interpretasi hasil, atau penyajian temuan dalam naskah ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis bertanggung jawab penuh atas seluruh tahapan dalam naskah ini, mulai dari penyusunan gagasan dan kerangka penelitian, pengumpulan dan analisis data, hingga penulisan dan penyempurnaan naskah.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI

Dalam penyusunan naskah ini, penulis memanfaatkan bantuan *Artificial Intelligence* (AI) secara terbatas, yaitu hanya untuk memperbaiki tata bahasa serta memeriksa ketepatan penggunaan bahasa. AI tidak digunakan untuk menghasilkan gagasan, menganalisis data, atau menyusun temuan penelitian. Seluruh isi dan substansi naskah tetap menjadi tanggung jawab penulis.

REFERENSI

Amrah, Barul, B., Rais, M., Puspitasari, D., & Danial, Mohamad Ikbal Riski A, Z. A. (2026). Pengaruh Dosis Pupuk Organik Cair Air Cucian Beras Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam Hijau (Amaranthus hybridus L.). *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, *12*(2), 55–69.

Abba, N., Boon, C., Teh, S., Kee, A., Tan, Z., & Tan, P. (2023). Fermentasi Air Beras Putih dan Beras Cokelat Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Nutrisi dan Mikroba yang Menguntungkan. 46(1), 49–65.

Afni, K., Mardiati, & Misliyana. (2025). Kelayakan LKPD Matematika Berbasis STEAM-PjBL : Tinjauan Validitas dan Praktikalitas. 6(2), 127–137.

Afriera, R., Manalu, K., & Rahmadina. (2024). Pengaruh Pemberian Air Cucian Beras Dan Serbuk Cangkan Keong Mas Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Selada (Lactuca sativa L) Pada Hidroponik Wick. 11(1), 1–14.

Akbar, A., Maftuh, B., Ruyadi, Y., Ganeswara, G. M., & Gumelar, A. (2025). Implementasi Project-Based Learning dalam Market Day untuk Meningkatkan Kolaborasi dan Berpikir Kritis Siswa Kelas V. 5(6), 1640–1648.

Almansyur, A. K., Sujarwanta, A., & Santoso, H. (2024). Pengembangan LKPD IPA Berbasis PBL (Problem Based Learning) Pada Materi Pencemaran Lingkungan SMP Kelas VII. : : Jurnal Pendidikan dan bahasa, 1(4).

Arimah, S., & Dewi, L. R. (2025). Studi Literature : Potensi Jenis Air Leri Terhadap Pertumbuhan Tanaman Sayuran. Jurnal Biologi dan Pembelajarannya, 12, 75–82. https://doi.org/10.29407/jbp.v12i1.25021

Ariyanti, M. (2021). Air Cucian Beras sebagai Sumber Nutrisi Alternatif bagi Tanaman Perkebunan. 5(1), 223–227.

Astija, A., & Anita, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Limbah Air Cucian Beras terhadap Pertumbuhan Tanaman Seledri (Apium graveolens L.) dengan Sistem Penanaman Hidroponik. Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi, 9(1), 105. https://doi.org/10.33394/bjib.v9i1.3622

Aulia, E., & Arsih, F. (2026). Efektivitas LKPD Berbasis Project-Based Learning (PjBL) Terintegrasi Kearifan Lokal Payakumbuh Terhadap Kinerja Ilmiah Peserta Didik Pada Materi Bioteknologi Fase E SMA Pengetahuan lokal bisa. 5(1), 339–346.

Bahari, A. (2025). PENGARUH AIR CUCIAN BERAS TERHADAP PERTUMBUHAN JUMLAH DAUN PADA TANAMAN BAYAM (Amaranthus spp.). 5(2), 75–81.

Basith, Y. (2021). NILAI-NILAI TAUHID DALAM MATA PELAJARAN BIOLOGI. 11(1), 52–75.

Bhattarai, G., & Shi, A. (2021). Advances in spinach research: Breeding, genetics, and genomics. Vegetable Research, 1(9). https://doi.org/10.48130/VR-2021-0009.

Dewi, E., Agustina, R., & Nuzulina. (2021). POTENSI LIMBAH AIR CUCIAN BERAS SEBAGAI PUPUK ORGANIK CAIR (POC) PADA PERTUMBUHAN SAWI HIJAU (Brassica juncea L .). 4, 40–46.

Dewi, L. R., Juniarti, L. W., & Rahayu, P. (2026). AIR CUCIAN BERAS SEBAGAI ZPT HIDROPONIK. Biocaster: Jurnal Kajian Biologi, 6(1), 508–514.

Fernandes, D. J., Fevria, R., Putri, S. D., & Amelia, K. (2025). Pengaruh Pemberian Limbah Air Cucian Beras Sebagai Nutrisi Tanaman Microgreen Pakcoy (brassica rapa l.) yang Dibudidayakan secara Hidroponik. Agroplasma, 11(1), 1–14. https://doi.org/10.36987/agroplasma.v12i1.7388

Gae Lada, Y., & Kotouki, N. (2024). Studi pemanfaatan limbah air cucian beras terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabe merah (Capsicum annuum L.). Folium: Jurnal Ilmu Pertanian, 8(2), 70–79. https://doi.org/10.33474/folium.v8i2.22306.

Gulo, H., Waruwu, T., & Zega, N. A. (2024). Potensi Pemanfaatan Air Cucian Beras terhadap Pertumbuhan Tanaman Budidaya. 7, 9052–9057.

Islami, S., Wardani, L. G., & Zalfa, K. (2026). ANALISIS KETERCAPAIAN PROFIL LULUSAN MELALUI PEMBELAJARAN IPS BERBASIS DEEP LEARNING. 6, 254–265.

Kumar, R., Singh, J., Kumar, R., Kumar, S., & Pandey, A. K. (2024). Optimizing growth and nutrient uptake of spinach (Spinacia oleracea) in hydroponic systems through varied fertilizer concentrations. International Journal of Advanced Biochemistry Research, 8(8S), 690–694. https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i8Sj.1911.

Kureshi. A, A., Ghoshal, S., Adsare, S., Saste, G., Mirgal, A., Girme, A., & Hingorani, L. (2023). Ciri Morfologi dan Analisis yang Berbeda dari Spinacia oleracea yang Membedakannya dari Tanaman Bayam Konvensional. https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00300.

Lakitan, B. (2012). Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada.

Laoli, D. E. (2025). PERBANDINGAN LAMA PERENDAMAN BENIH KANGKUNG (IPOMOEA REPTANS) 6 JAM DAN 12 JAM TERHADAP KECEPATAN TUMBUH. 02, 213–218.

Lema, Y., Nurwahyunani, A., Hayat, M. S., & Rachmawati, F. (2023). Pembelajaran Berdiferensiasi Dengan Model PJBL Materi Bioteknologi Untuk Mengembangkan Ketrampilan Kreativitas Dan Inovasi Siswa SMP. 3, 7229–7243.

Machado, R. M. A., Alves-Pereira, I., Lourenço, D., & Ferreira, R. (2020). Effect of organic compost and inorganic nitrogen fertigation on spinach growth, phytochemical accumulation and antioxidant activity. Heliyon, 6(9), e05085. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05085.

Malabadi, R. B., Kolkar, K. P., & Chalannavar, R. K. (2022). BERAS PUTIH DAN BERAS COKELAT - NILAI GIZI DAN MANFAAT KESEHATAN: KERACUNAN ARSENIK DI TANAMAN PADI. 04, 3065–3082.

Maneejantra, N., Tsukagoshi, S., Lu, N., Supaibulwatana, 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), 170. https://doi.org/10.4172/2471-2728.1000170.

Manurung, I., Putri, F. V., Afrila, M., Hafizd, M. A. Al, Haditya, R., Gusni, J., & Miswarti. (2023). Penerapan Sistem Hidroponik Budidaya Tanaman Tanpa Tanah untuk Pertanian Masa Depan. Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN), 4(4), 5140–5145. https://doi.org/10.55338/jpkmn.v4i4.1892

Minangsari, R. P., Rachmawati, R. C., & Wardani, S. (2025). Penerapan Model PjBL Berbasis Kearifan Lokal Berbantuan Media Pembelajaran Literasi Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa di SMK Negeri Bawen. 1–10.

Novitasary, R. R. (2023). PENERAPAN PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN KOMUNIKASI PESERTA DIDIK. 4(2), 100–112.

Nurahmawati, D., Sophian, S. K., Aliyah, S. R., Magdalena, S. E., Safitri, D., & Pusparini, F. (2025). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Biologi Materi Komponen Ekosistem dan Interaksinya pada Siswa kelas X. 10(April), 27–35.

Prawira, Bintang Eka Haryana (2018). Kajian Perbedaan Media Tanam dan Umur Transplanting pada Tanaman Bayam Horenzo (Spinacia oleracea) dengan Hidroponik Sistem Wick. Malang: Universitas Brawijaya Fakultas Pertanian

Rao, G. N., Rao, P. G. P., Sulochanamma, G., & Satyanarayana, A. (2015). Komposisi asam amino fisikokimia, profil asam lemak, sifat fungsional dan antioksidan daun Spinacia oleracea L. 3, 27–35.

Rejeki, S., & Azis, A. A. (2022). LKPD Berorientasi HOTS Pada Materi Biologi kelas X di SMA Kristen Rantepao. 218–231. https://doi.org/10.32528/bioma.v7i2.7775

Rianto, M. F., Rachmawati, R. C., & Wardani, S. (2025). Efektivitas Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Terhadap Pemahaman Proses Penanaman Edamame pada Siswa SMK. 19(1), 183–189.

Ribera, A., Lingbai, Y., Wolters. A, A.-M., Treuren van, R., & Kik, C. (2020). Tinjauan Mengenai Sumber Daya Genetik , Domestikasi , dan Sejarah Pemuliaan Bayam (Spinacia oleracea L .). 0123456789.

Rukmi, S. S., Aiyen, & Rauf, A. (2017). GROWTH OF SPINACH (AMARANTHUS TRICOLOR L.) UNDER VARIOUS APPLICATIONS OF NUTRIENT CONCENTRATIONS IN HYDROPONIC SYSTEM OF NUTRIENT FILM TECHNIQUE. 4(2), 75–82.

Sarker, U., & Oba, S. (2020). Nutritional and antioxidant components in Amaranthus. Scientific Reports, 10, 1–10.

Setiono, C., Anggorowati, D., & Abdurrahman, T. (2025). RESPON PERTUMBUHAN DAN HASIL SAWI SAMHONG DENGAN POC AIR CUCIAN BERAS DAN AB MIX SISTEM HIDROPONIK SUMBU. 828–835.

Setyorini, E., Fitriani, A., & Purwanti, E. (2021). Efektivitas Pemberian Air Cucian Beras Merah terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Hortikultura. Jurnal Inovasi Pertanian, 10(1), 45–52.

Simatupang, J, U. C., Samosir, O. M., & Alfizar, R. (2024). Analisa AB-Mix Dan Air Cucian Beras Pada Pertumbuhan Tanaman Selada (Lactuca Sativa, L.) Dengan Wick System Hidroponik. OrchidAgro, 4(2), 1–15. https://doi.org/10.35138/orchidagro.v4i2.785

Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponics. In Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches (pp. 1-22). IntechOpen.