

**EFEKTIVITAS FORMULASI CAIR DAUN GAMAL YANG DIPERKAYA NPK
TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN KALE MERAH
(BRASSICA OLERACEA VAR. PABULARIA)**

*Growth and Yield Response of Red Kale to an NPK-Enriched Fermented Gliricidia Leaf
Formulation (Brassica oleracea var. pabularia)*

**Reni Yulius Toding¹, Prisila Dita Natalia², Yusuf L. Limbongan², Sepsriyanti
Kannapadang², Adewidar M Pata'dungan², Sion Oktafianus³**

¹Program Studi Agroteknologi Universitas Kristen Indonesia Toraja

* sepsriyanti@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Kale merah (*Brassica oleracea* var. *pabularia*) merupakan sayuran fungsional yang kaya antioksidan, vitamin, dan mineral sehingga permintaannya terus meningkat. Peningkatan produktivitas tanaman ini memerlukan sistem pemupukan yang mampu menyediakan unsur hara secara efisien sekaligus mendukung budidaya berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas formulasi cair daun gamal (*Gliricidia sepium*) yang diperkaya pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil kale merah serta menganalisis kandungan haranya. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktor tunggal dengan empat taraf perlakuan, yaitu P0 (kontrol), P1 (10%), P2 (20%), dan P3 (30%), masing-masing diulang tiga kali. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, bobot segar per tanaman, dan bobot segar per plot. Data dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji BNT 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman pada 28 dan 42 HST, jumlah daun pada 35 HST, panjang daun pada 35 dan 42 HST, serta bobot segar per tanaman dan per plot. Perlakuan P2 (20%) menghasilkan pertumbuhan dan hasil terbaik, dengan bobot segar per plot berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya. Analisis laboratorium menunjukkan kandungan kalium sebesar 9,47%, sedangkan nitrogen dan fosfor masih berada di bawah standar mutu pupuk organik cair. Dengan demikian, formulasi cair daun gamal yang diperkaya NPK berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk pelengkap, dengan konsentrasi 20% sebagai perlakuan paling efektif pada kondisi penelitian ini.

Kata kunci: *Brassica oleracea* var. *pabularia*; daun gamal; formulasi cair; kale merah; NPK.

ABSTRACT

Red kale (*Brassica oleracea* var. *pabularia*) is a functional leafy vegetable rich in antioxidants, vitamins, and minerals, creating increasing market demand. This study evaluated the effectiveness of NPK-enriched fermented *Gliricidia sepium* leaf fertilizer on red kale growth, yield, and nutrient composition. The experiment used a single-factor Randomized Complete Block Design with four treatments: P0 (control), P1 (10%), P2 (20%), and P3 (30%), each replicated three times. Parameters included plant height, number of leaves, leaf length, fresh weight per plant, and fresh weight per plot. Data were analyzed using ANOVA followed by the 5% LSD test. Results showed significant effects on plant height, leaf number, leaf length, and



fresh weight. Treatment P2 (20%) consistently produced the highest growth and yield, particularly fresh weight per plot. Laboratory analysis showed potassium content of 9.47%, while nitrogen and phosphorus were below Indonesian quality standards for liquid organic fertilizers. Thus, the 20% concentration was most effective as a supplementary fertilizer for red kale.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *pabularia*; *Gliricidia sepium*; liquid formulation; NPK; red kale.

PENDAHULUAN

Subsektor hortikultura merupakan salah satu sektor strategis dalam pembangunan pertanian karena berperan dalam memenuhi kebutuhan pangan bergizi, meningkatkan pendapatan petani, serta mendukung perekonomian nasional. Seiring meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya konsumsi pangan sehat, permintaan terhadap sayuran bernilai fungsional juga terus bertambah. Salah satu komoditas yang mulai banyak diminati adalah kale merah (*Brassica oleracea* var. *pabularia*), yaitu sayuran daun yang dikenal memiliki kandungan antosianin, vitamin, mineral, dan antioksidan yang tinggi sehingga berpotensi memberikan manfaat bagi kesehatan (Waterland et al., 2019). Meskipun memiliki prospek pasar yang baik, produktivitas kale merah di tingkat budidaya masih menghadapi berbagai kendala. Salah satu permasalahan utama adalah tingginya ketergantungan petani terhadap pupuk anorganik, khususnya pupuk NPK. Penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus tanpa diimbangi bahan organik dapat menurunkan kualitas tanah, mengurangi aktivitas mikroorganisme, serta menurunkan efisiensi pemanfaatan unsur hara oleh tanaman. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengembangkan sistem pemupukan yang lebih efisien dan berkelanjutan melalui pemanfaatan pupuk organik ataupun kombinasi pupuk organik dengan pupuk anorganik (Yahaya et al., 2023).

Salah satu bentuk pupuk organik yang banyak dikembangkan adalah pupuk organik cair (POC). Dibandingkan pupuk organik padat, POC memiliki keunggulan karena unsur hara berada dalam bentuk larut sehingga lebih mudah diserap oleh tanaman melalui sistem perakaran maupun aplikasi daun. Selain menyediakan unsur hara, POC juga mampu memperbaiki aktivitas biologis tanah, meningkatkan efisiensi serapan nutrisi, dan mendukung pertumbuhan tanaman secara lebih berkelanjutan (Ishfaq et al., 2022; Shahrajabian & Sun, 2022). Daun gamal (*Gliricidia sepium*) merupakan salah satu bahan lokal yang berpotensi



dimanfaatkan sebagai bahan baku POC. Tanaman ini memiliki kandungan nitrogen yang relatif tinggi, rasio C/N yang rendah, serta mudah mengalami dekomposisi sehingga banyak dimanfaatkan sebagai pupuk hijau maupun sumber bahan organik (Alamu et al., 2023). Proses fermentasi menggunakan bioaktivator EM4 mampu menghasilkan POC yang mengandung senyawa organik dan unsur hara yang dapat dimanfaatkan tanaman. Penelitian Triadiawarman dan Rudi (2019) melaporkan bahwa aplikasi POC daun gamal mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi melalui peningkatan tinggi tanaman dan jumlah daun.

Walaupun demikian, kandungan unsur hara POC daun gamal umumnya belum mampu memenuhi kebutuhan unsur makro tanaman secara optimal, terutama pada fase pertumbuhan vegetatif yang membutuhkan nitrogen, fosfor, dan kalium dalam jumlah cukup besar. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah memperkaya POC dengan pupuk majemuk NPK sehingga dihasilkan formulasi yang mampu menyediakan unsur hara cepat tersedia sekaligus mempertahankan manfaat bahan organik. Kombinasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, memperbaiki kondisi tanah, serta mendukung pertumbuhan tanaman secara lebih optimal (Geisseler et al., 2021; Ma et al., 2022). Hingga saat ini, penelitian mengenai formulasi POC daun gamal yang diperkaya NPK dan aplikasinya pada tanaman kale merah masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya mengevaluasi penggunaan POC daun gamal tanpa modifikasi formulasi atau dilakukan pada komoditas yang berbeda. Akibatnya, informasi mengenai konsentrasi formulasi yang paling efektif untuk mendukung pertumbuhan dan hasil kale merah masih belum tersedia secara memadai.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas formulasi cair daun gamal yang diperkaya pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kale merah (*Brassica oleracea* var. *pabularia*). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menganalisis kandungan hara formulasi yang dihasilkan sebagai dasar dalam menilai potensinya sebagai alternatif pupuk cair yang lebih efisien dan berkelanjutan bagi budidaya sayuran daun.



BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian (Pakea), Universitas Kristen Indonesia Toraja, pada ketinggian 873 mdpl, selama periode Maret sampai dengan Juni 2026. Bahan pembuatan POC meliputi daun gamal, EM4, gula merah/molase, air hujan, dan pupuk NPK Mutiara, sedangkan bahan uji efektivitas meliputi benih kale merah, polybag (25 × 30 cm), tanah, pupuk kandang, dan sekam lapuk.

Prosedur

Pembuatan POC Daun Gamal Plus dilakukan dengan menumbuk 40 kg daun gamal, melarutkan 2 kg gula merah dan 1 L EM4 ke dalam tong berisi 100liter air hujan, kemudian difermentasi secara anaerob selama 21 hari menggunakan tong tertutup rapat yang dilengkapi selang pengeluaran gas. Cairan hasil fermentasi disaring, kemudian ditambahkan 400 g pupuk NPK Mutiara per 100 L POC sebagai unsur "Plus", lalu diaduk hingga larut sempurna.

Analisis data

Uji efektivitas POC disusun menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktor tunggal dengan empat taraf: P0 (kontrol, 1000 ml air), P1 (10%: 100 ml POC + 900 ml air), P2 (20%: 200 ml POC + 800 ml air), dan P3 (30%: 300 ml POC + 700 ml air). Setiap perlakuan diulang tiga kali sehingga diperoleh 12 satuan percobaan, masing-masing terdiri atas 6 polybag tanaman (total 72 polybag tanaman kale merah). Media tanam merupakan campuran tanah, pupuk kandang, dan sekam lapuk dengan perbandingan 2:1:1. Larutan perlakuan diaplikasikan secara bertahap pada umur 7, 14, 21, 28, dan 35 HST (masing-masing 50, 150, 200, 250, dan 350 ml/tanaman) sehingga total volume kumulatif per tanaman sebesar 1.000 ml, dengan volume total yang sama antarperlakuan tetapi hanya konsentrasi POC yang menjadi pembeda.

Variabel pengamatan meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun (diukur pada umur 7, 14, 21, 28, 35, dan 42 HST), serta bobot per tanaman dan bobot per plot (ditimbang pada umur 51 HST/saat panen). Kandungan hara POC (pH, C-organik, N-organik, N-total, P₂O₅, dan K) dianalisis di Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air (Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian) dan Laboratorium Penguji dan Kalibrasi BBSP JIHPMM, kemudian dibandingkan dengan standar mutu pupuk organik cair berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019.



Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA); apabila perlakuan berpengaruh nyata, dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik POC Daun Gamal Plus

Hasil analisis laboratorium terhadap kandungan POC Daun Gamal Plus disajikan pada Tabel 1, dibandingkan dengan standar mutu pupuk organik cair menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019.

Tabel 1. Hasil analisis laboratorium kandungan hara POC Daun Gamal Plus

X	Satuan	Hasil	Standar Mutu Kementan
pH	-	5,57	4 – 9
C-Organik	%	0,54	> 10
N-Organik		0,30	< 0,5
N-Total	%	0,35	2 – 6
P ₂ O ₅	%	0,08	2 – 6
Kalium (K)	%	9,47	2 – 6

Hasil analisis menunjukkan bahwa pH Formulasi Cair Daun Gamal Plus sebesar 5,57 masih berada dalam kisaran standar mutu pupuk organik cair (4–9), sehingga formulasi memiliki tingkat keasaman yang sesuai untuk diaplikasikan pada lahan pertanian. Sebaliknya, kandungan C-organik (0,54%), N-total (0,35%), dan P₂O₅ (0,08%) masih berada di bawah persyaratan minimum yang ditetapkan dalam standar mutu. Rendahnya kandungan unsur-unsur tersebut diduga berkaitan dengan proses fermentasi, di mana sebagian senyawa organik mengalami dekomposisi dan dimanfaatkan oleh mikroorganisme selama aktivitas metabolisme, serta adanya efek pengenceran akibat penggunaan volume air yang relatif besar pada proses pembuatan formulasi.

Berbeda dengan unsur hara lainnya, kandungan kalium mencapai 9,47%, melebihi kisaran standar mutu pupuk organik cair (2–6%). Tingginya kadar kalium menunjukkan bahwa formulasi ini memiliki karakteristik sebagai sumber kalium yang potensial. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh penambahan pupuk NPK Mutiara pada tahap akhir formulasi, sehingga meningkatkan konsentrasi kalium dibandingkan nitrogen dan fosfor. Kalium berperan penting dalam mengatur tekanan osmotik sel, aktivasi enzim, translokasi fotosintat,



serta efisiensi penggunaan air, sehingga ketersediaannya berpotensi mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman.

Secara keseluruhan, karakteristik Formulasi Cair Daun Gamal Plus menunjukkan bahwa produk ini belum memenuhi seluruh persyaratan mutu pupuk organik cair berdasarkan kandungan nitrogen dan fosfor. Namun demikian, tingginya kandungan kalium mengindikasikan bahwa formulasi tersebut lebih tepat dimanfaatkan sebagai pupuk pelengkap (*supplementary fertilizer*) yang berfungsi menyediakan unsur kalium dalam sistem pemupukan, dibandingkan sebagai sumber utama seluruh unsur hara makro.

Efektivitas Pada Kale Merah

Tinggi Tanaman (cm)

Perlakuan POC daun gamal plus tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman pada umur 7, 14, 21, dan 35 HST, tetapi berpengaruh nyata pada umur 28 dan 42 HST.

Tabel 2. Tinggi Tanaman

Perlakuan	Tinggi Tanaman	
	28 HST	42 HST
P0 (Kontrol)	22.28 a	37.78 a
P1 (10%) (100 ml POC + 900 ml air)	26.78 ab	44.30 ab
P2 (20%) (200 ml POC + 800 ml air)	30.60 b	49.64 b
P3: 30% (300 ml POC + 700 ml air)	25.63 ab	43.74 ab
NP BNT 5%	5,43	6,96

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi Formulasi Cair Daun Gamal Plus tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman kale merah pada umur 7, 14, 21, dan 35 HST, tetapi berpengaruh nyata pada umur 28 dan 42 HST. Berdasarkan hasil uji BNT 5%, perlakuan P2 (20%) menghasilkan tinggi tanaman tertinggi, yaitu 30,60 cm pada umur 28 HST dan 49,64 cm pada umur 42 HST, berbeda nyata dengan kontrol (P0), namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1 (10%) dan P3 (30%). Hal ini menunjukkan bahwa



konsentrasi 20% merupakan tingkat aplikasi yang paling mampu mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman pada kondisi penelitian ini.

Respons yang baru terlihat nyata pada umur 28 dan 42 HST menunjukkan bahwa pengaruh formulasi cair daun gamal bersifat bertahap. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan sistem aplikasi yang dilakukan secara berulang serta proses mineralisasi unsur hara dari bahan organik yang memerlukan waktu sebelum tersedia dalam bentuk yang dapat diserap tanaman. Pada fase awal pertumbuhan, kebutuhan hara tanaman masih dapat dipenuhi oleh media tanam yang mengandung pupuk kandang, sehingga perbedaan antarperlakuan belum terlihat secara nyata. Setelah tanaman memasuki fase pertumbuhan aktif, akumulasi unsur hara dari aplikasi formulasi mulai meningkatkan aktivitas fisiologis tanaman sehingga pertumbuhan tinggi tanaman menjadi lebih responsif.

Pertumbuhan tinggi tanaman erat kaitannya dengan proses pembelahan dan pemanjangan sel yang dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen dan kalium. Nitrogen berperan dalam pembentukan klorofil, protein, dan enzim yang mendukung pembentukan jaringan baru, sedangkan kalium berfungsi mengatur tekanan turgor sel, aktivasi enzim, translokasi hasil fotosintesis, serta efisiensi penggunaan air. Analisis laboratorium menunjukkan bahwa Formulasi Cair Daun Gamal Plus memiliki kandungan kalium yang tinggi (9,47%), sehingga diduga mampu meningkatkan efisiensi fotosintesis dan translokasi asimilat menuju jaringan meristem yang sedang aktif tumbuh. Sebaliknya, kandungan nitrogen yang relatif rendah kemungkinan menyebabkan peningkatan tinggi tanaman berlangsung secara bertahap, bukan secara cepat pada fase awal pertumbuhan.

Hasil terbaik pada konsentrasi 20% mengindikasikan bahwa konsentrasi tersebut mampu menyediakan unsur hara dalam jumlah yang seimbang sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal oleh tanaman. Sebaliknya, penurunan rerata tinggi tanaman pada konsentrasi 30% mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi formulasi tidak selalu diikuti oleh peningkatan pertumbuhan. Konsentrasi larutan yang lebih tinggi berpotensi meningkatkan tekanan osmotik di daerah perakaran sehingga penyerapan air dan unsur hara menjadi kurang efisien. Selain itu, kandungan kalium yang sangat tinggi dapat menimbulkan antagonisme terhadap penyerapan kalsium dan magnesium, sehingga keseimbangan nutrisi tanaman menjadi kurang optimal.



Temuan ini sejalan dengan penelitian Triadiawarman dan Rudi (2019) yang melaporkan bahwa pupuk organik cair daun gamal mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi melalui perbaikan ketersediaan unsur hara dan aktivitas biologis tanah. Demikian pula, Alamu et al. (2023) menyatakan bahwa *Gliricidia sepium* merupakan sumber bahan organik yang kaya nitrogen dan mudah terdekomposisi sehingga mampu mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Namun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efektivitas formulasi tidak hanya ditentukan oleh bahan bakunya, tetapi juga oleh konsentrasi aplikasi. Pada kondisi penelitian ini, konsentrasi 20% memberikan keseimbangan terbaik antara ketersediaan unsur hara dan kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi, sehingga menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih optimal dibandingkan konsentrasi yang lebih rendah maupun lebih tinggi.

Jumlah Daun (helai)

Perlakuan POC daun gamal plus tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun pada umur 7, 14, 21, 28, dan 42 HST, tetapi berpengaruh nyata pada umur 35 HST.

Tabel 3. Jumlah Daun

Perlakuan	Jumlah Daun
	35 HST
P0 (Kontrol)	8,39 a
P1 (10%) (100 ml POC + 900 ml air)	9,56 ab
P2 (20%) (200 ml POC + 800 ml air)	11,11 b
P3: 30% (300 ml POC + 700 ml air)	9,44 ab
NP BNT 5%	1,76

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi Formulasi Cair Daun Gamal Plus tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman kale merah pada umur 7, 14, 21, 28, dan 42 HST, tetapi memberikan pengaruh nyata pada umur 35 HST. Berdasarkan hasil uji BNT 5% (Tabel 3), perlakuan P2 (20%) menghasilkan jumlah daun terbanyak, yaitu 11,11 helai, berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (P0), tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1 (10%) dan P3 (30%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi 20% merupakan konsentrasi yang paling efektif dalam meningkatkan pembentukan daun pada fase pertumbuhan vegetatif.



Munculnya respons nyata hanya pada umur 35 HST menunjukkan bahwa pengaruh formulasi cair daun gamal berlangsung secara bertahap. Pada fase awal pertumbuhan, pembentukan daun masih sangat dipengaruhi oleh cadangan hara yang tersedia pada media tanam sehingga tambahan unsur hara dari formulasi belum memberikan respons yang nyata. Seiring bertambahnya umur tanaman, akumulasi unsur hara hasil aplikasi berulang mulai meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman sehingga pembentukan daun berlangsung lebih optimal. Namun, pada umur 42 HST perbedaan antarperlakuan kembali tidak nyata karena tanaman mulai memasuki fase pertumbuhan yang lebih stabil, sehingga laju pembentukan daun cenderung melambat dan lebih banyak diikuti oleh pembesaran daun dibandingkan penambahan jumlah daun.

Jumlah daun merupakan salah satu indikator penting pertumbuhan vegetatif karena berkaitan langsung dengan kapasitas fotosintesis tanaman. Semakin banyak daun yang terbentuk, semakin luas permukaan fotosintesis sehingga kemampuan tanaman menghasilkan fotosintat untuk mendukung pertumbuhan juga meningkat. Pembentukan daun dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen sebagai penyusun utama klorofil, asam amino, dan protein, sedangkan kalium berperan dalam mengaktifkan berbagai enzim, mengatur keseimbangan air sel, serta meningkatkan efisiensi fotosintesis melalui pengaturan buka-tutup stomata. Walaupun kandungan nitrogen pada Formulasi Cair Daun Gamal Plus relatif rendah, kandungan kalium yang tinggi (9,47%) diduga mampu meningkatkan efisiensi metabolisme tanaman sehingga pembentukan daun tetap berlangsung lebih baik pada konsentrasi optimum.

Hasil yang lebih rendah pada perlakuan P3 (30%) mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi formulasi tidak selalu diikuti oleh peningkatan jumlah daun. Konsentrasi larutan yang terlalu tinggi diduga meningkatkan tekanan osmotik di sekitar perakaran sehingga penyerapan air dan unsur hara menjadi kurang efisien. Selain itu, dominasi kalium dalam formulasi berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan serapan unsur hara lain, terutama kalsium dan magnesium, yang juga berperan dalam pembentukan jaringan daun. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan konsentrasi di atas 20% tidak lagi memberikan keuntungan terhadap pembentukan daun.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Triadiawarman dan Rudi (2019) yang melaporkan bahwa aplikasi pupuk organik cair daun gamal mampu meningkatkan jumlah daun tanaman



sawi melalui peningkatan ketersediaan unsur hara dan aktivitas biologis tanah. Alamu et al. (2023) juga menyatakan bahwa *Gliricidia sepium* merupakan sumber bahan organik yang mudah terdekomposisi sehingga mampu mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Dengan demikian, peningkatan jumlah daun pada perlakuan P2 menunjukkan bahwa kombinasi hasil fermentasi daun gamal dengan penambahan NPK mampu menyediakan lingkungan nutrisi yang lebih seimbang bagi pembentukan daun, sedangkan peningkatan konsentrasi hingga 30% belum mampu memberikan respons yang lebih baik dibandingkan konsentrasi 20%.

Panjang Daun (cm)

Hasil pengamatan dan sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan POC daun gamal plus tidak berpengaruh nyata terhadap panjang daun pada umur 7, 14, 21, dan 28 HST, namun berpengaruh nyata pada umur 35 dan 42 HST.

Tabel 4. Panjang Daun

Perlakuan	Panjang daun	
	35 HST	42 HST
P0 (Kontrol)	19,34 a	25,63 a
P1 (10%) (100 ml POC + 900 ml air)	22,42 ab	28,12 ab
P2 (20%) (200 ml POC + 800 ml air)	25,59 b	30,66 b
P3: 30% (300 ml POC + 700 ml air)	22,26 ab	27,87 ab
BNT 5%	3,23	3,04

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi Formulasi Cair Daun Gamal Plus tidak berpengaruh nyata terhadap panjang daun kale merah pada umur 7, 14, 21, dan 28 HST, namun memberikan pengaruh nyata pada umur 35 dan 42 HST. Berdasarkan hasil uji BNT 5% (Tabel 4), perlakuan P2 (20%) menghasilkan panjang daun tertinggi, yaitu 25,59 cm pada umur 35 HST dan meningkat menjadi 30,66 cm pada umur 42 HST. Nilai tersebut berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (P0), tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1 (10%) dan P3 (30%). Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi 20% merupakan konsentrasi optimum dalam mendukung pemanjangan daun tanaman kale merah pada kondisi penelitian.

Respons yang baru muncul pada umur 35 dan 42 HST menunjukkan bahwa pengaruh formulasi cair daun gamal berlangsung secara bertahap. Pada fase awal pertumbuhan, perkembangan daun masih dipengaruhi oleh cadangan hara yang tersedia pada media tanam sehingga perlakuan belum memberikan perbedaan yang nyata. Seiring bertambahnya umur tanaman, akumulasi unsur hara hasil aplikasi berulang meningkatkan aktivitas metabolisme dan fotosintesis, sehingga proses pembelahan serta pemanjangan sel daun berlangsung lebih optimal. Kondisi ini menyebabkan perbedaan panjang daun mulai terlihat nyata pada fase pertumbuhan vegetatif lanjut.

Panjang daun merupakan salah satu indikator penting pertumbuhan vegetatif karena berhubungan langsung dengan luas bidang fotosintesis tanaman. Daun yang lebih panjang umumnya memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga mampu menangkap cahaya matahari secara lebih efektif untuk mendukung pembentukan fotosintat. Proses pemanjangan daun dipengaruhi oleh aktivitas pembelahan dan pembesaran sel yang memerlukan ketersediaan unsur hara secara memadai. Kalium berperan dalam menjaga tekanan turgor sel, mengaktifkan berbagai enzim, mengatur buka-tutup stomata, serta meningkatkan translokasi hasil fotosintesis menuju jaringan yang sedang berkembang. Kandungan kalium Formulasi Cair Daun Gamal Plus yang mencapai 9,47% diduga berkontribusi terhadap peningkatan pemanjangan daun melalui peningkatan efisiensi metabolisme tanaman, meskipun kandungan nitrogen dalam formulasi relatif rendah.

Perlakuan P3 (30%) tidak menghasilkan panjang daun yang lebih tinggi dibandingkan P2, mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi formulasi di atas tingkat optimum tidak selalu meningkatkan pertumbuhan. Konsentrasi larutan yang lebih tinggi diduga meningkatkan tekanan osmotik di sekitar perakaran sehingga penyerapan air dan unsur hara menjadi kurang efisien. Selain itu, dominasi kalium dalam formulasi dapat menyebabkan ketidakseimbangan serapan unsur hara lain, terutama kalsium dan magnesium, yang juga berperan dalam pembentukan serta pemanjangan jaringan daun. Oleh karena itu, konsentrasi 20% memberikan keseimbangan terbaik antara ketersediaan unsur hara dan kemampuan tanaman dalam memanfaatkannya.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Triadiawarman dan Rudi (2019), yang melaporkan bahwa pupuk organik cair daun gamal mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman



Brassicaceae melalui peningkatan aktivitas fisiologis tanaman. Alamu et al. (2023) juga menyatakan bahwa *Gliricidia sepium* merupakan sumber bahan organik yang mudah terdekomposisi sehingga mampu menyediakan unsur hara secara bertahap dan mendukung perkembangan tajuk tanaman. Dengan demikian, peningkatan panjang daun pada perlakuan P2 menunjukkan bahwa kombinasi hasil fermentasi daun gamal dengan penambahan NPK mampu menyediakan kondisi nutrisi yang lebih optimal untuk mendukung ekspansi daun, sehingga meningkatkan potensi fotosintesis dan pertumbuhan tanaman kale merah secara keseluruhan.

Bobot Per Tanaman

Hasil pengamatan dan sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan POC daun gamal plus berpengaruh nyata terhadap bobot per tanaman.

Tabel 5. Bobot Segar Per Tanaman (g)

Perlakuan	Bobot Per Tanaman
P0 (Kontrol)	150.72 a
P1 (10%) (100 ml POC + 900 ml air)	193.83 ab
P2 (20%) (200 ml POC + 800 ml air)	227.50 b
P3: 30% (300 ml POC + 700 ml air)	190.61 ab
NP BNT 5%	48.21

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi Formulasi Cair Daun Gamal Plus memberikan pengaruh nyata terhadap bobot segar per tanaman kale merah. Berdasarkan hasil uji BNT 5% (Tabel 5), perlakuan P2 (20%) menghasilkan bobot segar per tanaman tertinggi, yaitu 227,50 g, berbeda nyata dibandingkan perlakuan kontrol (P0), tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1 (10%) dan P3 (30%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian formulasi cair pada konsentrasi 20% mampu meningkatkan akumulasi biomassa tanaman secara lebih optimal dibandingkan perlakuan lainnya.

Bobot segar tanaman merupakan indikator keberhasilan pertumbuhan vegetatif karena mencerminkan akumulasi hasil fotosintesis, pembentukan jaringan baru, serta kandungan air dalam jaringan tanaman. Semakin tinggi bobot segar yang dihasilkan, semakin besar biomassa yang berhasil dibentuk sebagai hasil dari proses fotosintesis dan penyerapan unsur hara. Tingginya bobot segar pada perlakuan P2 diduga merupakan akumulasi dari peningkatan tinggi



tanaman, jumlah daun, dan panjang daun yang juga menunjukkan nilai tertinggi pada perlakuan tersebut. Luas tajuk yang lebih berkembang memungkinkan tanaman menangkap cahaya lebih efektif sehingga laju fotosintesis meningkat dan menghasilkan lebih banyak fotosintat yang selanjutnya diakumulasikan sebagai biomassa.

Peningkatan bobot segar pada perlakuan P2 juga berkaitan dengan ketersediaan unsur hara, terutama kalium, yang berperan penting dalam translokasi hasil fotosintesis, pengaturan tekanan turgor sel, aktivasi enzim, serta efisiensi penggunaan air. Analisis laboratorium menunjukkan bahwa Formulasi Cair Daun Gamal Plus mengandung kalium sebesar 9,47%, sehingga diduga mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan fotosintat untuk pembentukan jaringan tanaman. Meskipun kandungan nitrogen dan fosfor relatif rendah, ketersediaan kalium yang tinggi serta aplikasi formulasi secara bertahap diduga mampu menjaga aktivitas fisiologis tanaman selama fase pertumbuhan vegetatif.

Bobot segar yang lebih rendah pada perlakuan P3 (30%) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi formulasi di atas tingkat optimum tidak selalu meningkatkan produksi biomassa. Konsentrasi larutan yang lebih tinggi diduga meningkatkan tekanan osmotik di sekitar perakaran sehingga penyerapan air menjadi kurang efisien. Selain itu, kandungan kalium yang sangat tinggi berpotensi menimbulkan antagonisme terhadap penyerapan unsur hara lain, terutama kalsium dan magnesium, yang juga berperan dalam pembentukan dinding sel dan perkembangan jaringan tanaman. Akibatnya, efisiensi pertumbuhan vegetatif menjadi lebih rendah dibandingkan perlakuan P2.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Triadiawarman dan Rudi (2019) yang melaporkan bahwa aplikasi pupuk organik cair daun gamal mampu meningkatkan pertumbuhan dan biomassa tanaman sawi. Alamu et al. (2023) juga menyatakan bahwa *Gliricidia sepium* merupakan sumber bahan organik yang mampu memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. Selain itu, Geisseler et al. (2021) menjelaskan bahwa pupuk organik memberikan suplai unsur hara secara bertahap sehingga mampu mempertahankan pertumbuhan tanaman dalam periode yang lebih lama. Dengan demikian, peningkatan bobot segar per tanaman pada perlakuan P2 menunjukkan bahwa kombinasi hasil fermentasi daun gamal dengan penambahan NPK mampu menyediakan keseimbangan unsur hara yang mendukung pembentukan biomassa secara optimal pada tanaman kale merah.



Bobot Segar Per Plot (g)

Hasil pengamatan dan sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan POC daun gamal plus berpengaruh sangat nyata terhadap bobot per plot.

Tabel 6. Bobot Segar Per Plot (g)

Perlakuan	Bobot Per Plot
P0 (Kontrol)	933.00 a
P1 (10%) (100 ml POC + 900 ml air)	1133.00 a
P2 (20%) (200 ml POC + 800 ml air)	1431.67 b
P3: 30% (300 ml POC + 700 ml air)	1127.00 a
NP BNT 5%	201.58

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi Formulasi Cair Daun Gamal Plus memberikan pengaruh sangat nyata terhadap bobot segar per plot tanaman kale merah. Berdasarkan hasil uji BNT 5% (Tabel 6), perlakuan P2 (20%) menghasilkan bobot segar per plot tertinggi, yaitu 1.431,67 g, dan berbeda nyata dibandingkan seluruh perlakuan lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi 20% merupakan konsentrasi yang paling efektif dalam meningkatkan produktivitas kale merah pada skala plot.

Bobot segar per plot merupakan parameter yang menggambarkan produktivitas tanaman secara keseluruhan karena dipengaruhi oleh akumulasi biomassa setiap tanaman dalam satu satuan percobaan. Tingginya bobot segar per plot pada perlakuan P2 mencerminkan bahwa konsentrasi tersebut mampu menghasilkan pertumbuhan vegetatif yang lebih seragam pada seluruh tanaman, sebagaimana terlihat dari peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, dan bobot segar per tanaman. Pertumbuhan vegetatif yang optimal meningkatkan luas bidang fotosintesis sehingga produksi fotosintat menjadi lebih besar dan selanjutnya diakumulasikan dalam bentuk biomassa tanaman.

Peningkatan bobot segar per plot pada perlakuan P2 juga diduga berkaitan dengan karakteristik Formulasi Cair Daun Gamal Plus yang memiliki kandungan kalium tinggi (9,47%). Kalium berperan penting dalam mengatur keseimbangan air sel, aktivasi berbagai enzim metabolisme, translokasi hasil fotosintesis, serta efisiensi penggunaan air. Fungsi tersebut memungkinkan tanaman memanfaatkan hasil fotosintesis secara lebih efisien untuk



pembentukan jaringan vegetatif sehingga menghasilkan biomassa yang lebih tinggi. Selain itu, aplikasi formulasi secara bertahap selama masa pertumbuhan diduga mampu menyediakan unsur hara secara berkesinambungan, sehingga kebutuhan nutrisi tanaman tetap terpenuhi hingga menjelang panen.

Sebaliknya, penurunan bobot segar per plot pada konsentrasi 30% menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi formulasi di atas tingkat optimum tidak selalu meningkatkan hasil. Konsentrasi larutan yang terlalu tinggi diduga meningkatkan tekanan osmotik di daerah perakaran sehingga efisiensi penyerapan air dan unsur hara menurun. Selain itu, kandungan kalium yang dominan berpotensi menimbulkan antagonisme terhadap penyerapan unsur hara lain, seperti kalsium dan magnesium, yang berperan penting dalam pembentukan jaringan tanaman. Akibatnya, pertumbuhan vegetatif tidak berlangsung secara optimal meskipun unsur hara tersedia dalam jumlah lebih tinggi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Triadiawarman dan Rudi (2019), yang melaporkan bahwa aplikasi pupuk organik cair daun gamal mampu meningkatkan produksi biomassa tanaman Brassicaceae melalui perbaikan ketersediaan unsur hara dan aktivitas mikroorganisme tanah. Alamu et al. (2023) juga menyatakan bahwa *Gliricidia sepium* berpotensi meningkatkan kesuburan tanah karena mudah terdekomposisi dan menyediakan unsur hara secara bertahap. Sementara itu, Geisseler et al. (2021) menjelaskan bahwa pupuk organik berperan dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara serta mempertahankan pertumbuhan tanaman melalui pelepasan nutrisi secara berkelanjutan. Dengan demikian, tingginya bobot segar per plot pada perlakuan P2 menunjukkan bahwa kombinasi hasil fermentasi daun gamal dengan penambahan NPK mampu menciptakan keseimbangan ketersediaan unsur hara yang optimal, sehingga menghasilkan produktivitas kale merah yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi lainnya.

KESIMPULAN

Formulasi Cair Daun Gamal Plus memiliki karakteristik hara yang ditandai dengan kandungan kalium yang tinggi (9,47%) dan pH yang memenuhi standar mutu pupuk organik cair, meskipun kandungan nitrogen dan fosfor masih berada di bawah persyaratan minimal. Aplikasi formulasi tersebut berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman pada umur 28 dan 42 HST, jumlah daun pada 35 HST, panjang daun pada 35 dan 42 HST, bobot segar per tanaman,



serta berpengaruh sangat nyata terhadap bobot segar per plot tanaman kale merah (*Brassica oleracea* var. *pabularia*). Konsentrasi 20% (P2) secara konsisten menghasilkan pertumbuhan vegetatif dan hasil terbaik, ditunjukkan oleh tinggi tanaman 30,60 cm dan 49,64 cm, jumlah daun 11,11 helai, panjang daun 25,59 cm dan 30,66 cm, bobot segar per tanaman 227,50 g, serta bobot segar per plot 1.431,67 g. Dengan demikian, Formulasi Cair Daun Gamal Plus berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk pelengkap untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman kale merah, dengan konsentrasi 20% sebagai konsentrasi yang paling efektif pada kondisi penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Alamu, E.O., Adesokan, M., Fawole, S., Maziya-Dixon, B., Mehreteab, T., & Chikoye, D. 2023. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp Applications for Enhancing Soil Fertility and Crop Nutritional Qualities: A Review. *Forests*, 14(3), 635. <https://doi.org/10.3390/f14030635>
- Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R.K., & Tuteja, N. 2014. Biofertilizers Function as Key Players in Sustainable Agriculture by Improving Soil Fertility, Plant Tolerance and Crop Productivity. *Microbial Cell Factories*, 13, 66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- Blanco-Canqui, H., Lal, R., Owens, L.B., Post, W.M., & Izaurrealde, R.C. 2016. Soil Organic Carbon Influences on Soil Structure and Water Retention. *Geoderma*, 260, 63–75.
- Cakmak, I. 2005. The Role of Potassium in Alleviating Detrimental Effects of Abiotic Stresses in Plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 521–530.
- Geisseler, D., Linquist, B.A., & Lazicki, P.A. 2021. Effect of Fertilization on Soil Microorganisms and Nutrient Availability: A Review. *Soil Systems*, 5(2), 28. <https://doi.org/10.3390/soilsystems5020028>
- Gomez, K.A., & Gomez, A.A. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Hartatik, W., Husnain, & Widowati, L.R. 2015. Peranan Pupuk Organik dalam Peningkatan Produktivitas Tanah dan Tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(2), 107–120.
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., & Beaton, J.D. 2014. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* (8th ed.). Pearson Education.



- Ishfaq, M., Ali, S., Khan, I., et al. 2022. Organic Fertilizers Improve Soil Fertility, Nutrient Uptake and Crop Productivity: A Review. *Agronomy*, 12(8), 1902. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081902>
- Lal, R. 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895.
- Ma, Y., Oliveira, R.S., Freitas, H., & Zhang, C. 2022. Synergistic Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Fertility and Crop Productivity: A Review. *Agronomy*, 12(5), 1120. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051120>
- Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Mengel, K., & Kirkby, E.A. 2001. *Principles of Plant Nutrition* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia. 2019. Peraturan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah. Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Jakarta.
- Rannu, N., Wartanti, Limbongan, Y.L., Kannapadang, S., Pata'dungan, A.M., & Tandirerung, W.Y. 2025. Pemanfaatan Pupuk Organik Cair Daun Gamal dan Pengaplikasiannya terhadap Pertumbuhan Tanaman Mentimun Jepang (*Cucumis sativus* L. var. Japanese). *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman*, 4(2). <https://doi.org/10.55606/jurrit.v4i2.6746>
- Shahrajabian, M.H., & Sun, W. 2022. Application of Organic Fertilizers to Improve Sustainable Agriculture: A Review. *Agriculture*, 12(8), 1224. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081224>
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. 2004. A History of Research on the Link Between Aggregates, Soil Biota, and Soil Organic Matter Dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7–31.
- Vessey, J.K. 2003. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571–586.
- Waterland, N.L., Moon, Y., Tou, J.C., Kim, M.J., & Pena-Yewtukhiw, E.M. 2019. Characterization of Red Kale for Phytochemical Content and Antioxidant Capacity. *Horticulturae*, 5(3), 47. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5030047>
- Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. 2014. Potassium in Agriculture: Status and Perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656–669.

