



Efektivitas Pemupukan KCl terhadap Pembungaan, Kejadian *Cherelle Wilt* dan Hasil Buah Tanaman Kakao di Lahan Pascatambang Kabupaten Bulungan

Rivaldi Efendi^{1*}

¹ Universitas Padjadjaran, Indonesia

email: rivaldi22002@mail.unpad.ac.id¹

Article Info :

Received:
27-03-2026
Revised:
15-04-2026
Accepted:
22-04-2026

Abstract

*This study aims to analyze the effectiveness of potassium chloride (KCl) fertilization on flowering, the incidence of Cherelle wilt, and fruit yield in cocoa plants (*Theobroma cacao* L.) on post-mining land in Bulungan Regency, North Kalimantan. The study employed a field experimental approach based on a Randomized Complete Block Design with five KCl dose treatments and five replications. The observed parameters included the number of flowers, the severity of Cherelle wilt, and the number of ripe fruits at intervals of 30, 60, and 90 days after application. The results indicated that KCl fertilization significantly influenced the generative phase of the cocoa plants. The 25 g KCl/plant treatment produced the highest number of flowers at 55.00 ± 4.41 , while increasing KCl doses tended to increase the severity of Cherelle wilt, reaching 5.73 ± 3.30 in the 100 g/plant treatment. The 100 g KCl/plant treatment yielded the highest number of ripe fruits at the end of the observation period, namely three fruits. The physiological response of the plants showed an optimal pattern, in which an increase in potassium dose did not always improve the plants' reproductive efficiency. These findings confirm that the effectiveness of fertilization on post-mining land is more influenced by the source-sink physiological balance than by a linear increase in fertilizer dose.*

Keywords: *Cocoa, Potassium Chloride, Cherelle Wilt, Post-Mining Land, Flowering.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas pemupukan kalium klorida (KCl) terhadap pembungaan, kejadian *Cherelle wilt*, dan hasil buah tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) pada lahan pascatambang Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen lapangan berbasis *Randomized Complete Block Design* dengan lima perlakuan dosis KCl dan lima ulangan. Parameter yang diamati meliputi jumlah bunga, tingkat *Cherelle wilt*, dan jumlah buah matang pada interval 30, 60, dan 90 hari setelah aplikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan KCl memberikan pengaruh signifikan terhadap fase generatif tanaman kakao. Perlakuan 25 g KCl/tanaman menghasilkan jumlah bunga tertinggi sebesar $55,00 \pm 4,41$ kuntum, sedangkan peningkatan dosis KCl cenderung meningkatkan intensitas *Cherelle wilt* hingga mencapai $5,73 \pm 3,30$ pada perlakuan 100 g/tanaman. Perlakuan 100 g KCl/tanaman menghasilkan jumlah buah matang tertinggi pada akhir pengamatan, yaitu tiga buah. Respons fisiologis tanaman memperlihatkan pola optimum, di mana peningkatan dosis kalium tidak selalu meningkatkan efisiensi reproduktif tanaman. Temuan ini menegaskan bahwa efektivitas pemupukan pada lahan pascatambang lebih dipengaruhi keseimbangan fisiologis *source-sink* dibandingkan peningkatan dosis pupuk secara linear.

Kata kunci: Kakao, Kalium Klorida, Cherelle Wilt, Lahan Pascatambang, Pembungaan.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) menempati posisi strategis dalam sistem agroindustri global karena menjadi bahan baku utama industri cokelat dunia yang terus mengalami peningkatan permintaan seiring ekspansi pasar pangan berbasis kakao, perubahan pola konsumsi masyarakat urban, dan berkembangnya industri hilir bernilai tambah tinggi di negara-negara maju maupun berkembang. Data produksi global menunjukkan bahwa negara-negara tropis penghasil kakao saat ini menghadapi tekanan simultan berupa penurunan kualitas lahan, ketidakstabilan produktivitas, dan meningkatnya kerentanan fisiologis tanaman akibat perubahan lingkungan budidaya yang semakin ekstrem (Food and Agriculture Organization, 2024; International Cocoa Organization, 2024). Intensifikasi berbasis manajemen hara menjadi salah satu pendekatan utama yang dikembangkan untuk mempertahankan produktivitas dan

kualitas hasil kakao, terutama pada wilayah yang mengalami degradasi ekologis. Kalium diposisikan sebagai unsur hara strategis karena keterlibatannya dalam regulasi osmotik, aktivasi enzim, translokasi fotosintat, dan pembentukan organ generatif tanaman, sehingga efektivitas pemupukan kalium tidak lagi dipahami semata-mata sebagai peningkatan pertumbuhan vegetatif, melainkan sebagai instrumen pengendalian efisiensi fisiologis tanaman pada fase reproduktif (Sardans & Peñuelas, 2021). Relevansi isu tersebut semakin kuat pada sistem budidaya kakao di lahan pascatambang yang secara inheren mengalami penurunan kualitas fisik dan kimia tanah akibat hilangnya topsoil, rendahnya kapasitas tukar kation, serta terbatasnya kandungan bahan organik yang berperan penting dalam penyediaan unsur hara esensial bagi tanaman (Arifin et al., 2023; Dutta & Agrawal, 2020).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengonfirmasi bahwa pemupukan kalium memiliki keterkaitan erat dengan pembentukan bunga, perkembangan buah, dan kualitas hasil kakao, meskipun respons fisiologis tanaman menunjukkan pola yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan, varietas tanaman, dan keseimbangan antarunsur hara. Aikpokpodion et al. (2020) menegaskan bahwa kebutuhan mineral tanaman kakao bersifat dinamis sepanjang fase pertumbuhan sehingga efisiensi pemupukan tidak dapat dilepaskan dari kapasitas fisiologis tanaman dalam mengalokasikan asimilat menuju organ sink. Penelitian Afoakwa et al. (2022) memperlihatkan bahwa praktik agronomis, termasuk manajemen pemupukan, berpengaruh langsung terhadap kualitas biji kakao melalui mekanisme pengaturan metabolisme karbon dan akumulasi senyawa hasil fotosintesis. Pada level yang lebih spesifik, Erwiyono et al. (2006) menunjukkan bahwa aplikasi kalium mampu meningkatkan pembungaan dan pembuahan kakao melalui peningkatan efisiensi translokasi fotosintat menuju organ generatif. Temuan serupa juga ditemukan pada tanaman hortikultura lain, di mana kombinasi KCl dan KNO₃ terbukti meningkatkan pertumbuhan generatif dan hasil panen secara signifikan melalui optimalisasi aktivitas fisiologis tanaman (Rahmawati et al., 2025). Sejumlah studi tersebut secara umum menempatkan kalium sebagai faktor peningkat produktivitas tanpa mengevaluasi secara mendalam hubungan kompleks antara peningkatan pembungaan, kompetisi source–sink, dan kejadian gugur buah muda yang justru menjadi salah satu faktor pembatas utama produksi kakao.

Literatur mengenai fenomena *Cherelle wilt* memperlihatkan bahwa keberhasilan pembentukan buah kakao tidak hanya ditentukan oleh tingginya jumlah bunga, tetapi sangat dipengaruhi oleh kemampuan fisiologis tanaman dalam mempertahankan buah muda pada fase awal perkembangan. Prawoto (2014) menunjukkan bahwa pola flushing dan *Cherelle wilt* memiliki hubungan erat dengan dinamika distribusi asimilat pada tanaman kakao, di mana peningkatan jumlah bunga tidak selalu berkorelasi positif terhadap jumlah buah matang akibat tingginya kompetisi antarorgan generatif. Pada sisi lain, Putra et al. (2022) mengindikasikan bahwa pemberian pupuk kalium dapat meningkatkan ketahanan fisiologis tanaman terhadap gangguan perkembangan buah, namun mekanisme tersebut lebih banyak dikaitkan dengan pengendalian penyakit dibandingkan efisiensi fisiologis pembentukan buah itu sendiri. Konstelasi temuan tersebut memperlihatkan adanya inkonsistensi konseptual dalam literatur, karena sebagian penelitian memosisikan kalium sebagai faktor pemicu peningkatan produktivitas generatif, sementara studi lain menunjukkan bahwa peningkatan ketersediaan kalium belum tentu diikuti keberhasilan pembentukan buah akibat keterbatasan kapasitas source tanaman. Ketidakkonsistenan tersebut memperlihatkan bahwa hubungan antara dosis kalium, pembungaan, *Cherelle wilt*, dan hasil buah masih belum dipahami secara utuh, terutama pada kondisi lingkungan marginal yang memiliki keterbatasan hara dan tekanan ekologis tinggi.

Kesenjangan empiris menjadi semakin nyata ketika dikaitkan dengan konteks lahan pascatambang yang memiliki karakteristik sangat berbeda dibandingkan lahan pertanian konvensional. Sebagian besar penelitian pemupukan kakao dilakukan pada lahan perkebunan dengan tingkat kesuburan relatif stabil sehingga respons tanaman terhadap kalium tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi fisiologis tanaman pada lahan reklamasi tambang yang mengalami degradasi multidimensional. Arifin et al. (2023) menunjukkan bahwa lahan pascatambang di Indonesia umumnya mengalami defisiensi unsur hara makro, rendahnya aktivitas mikroorganisme tanah, dan lemahnya kapasitas retensi air yang secara langsung memengaruhi efisiensi pemanfaatan pupuk oleh tanaman. Dutta dan Agrawal (2020) juga menegaskan bahwa keberhasilan revegetasi pada lahan bekas tambang sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem budidaya dalam merekonstruksi keseimbangan ekologis tanah, bukan hanya melalui penambahan unsur hara, tetapi juga melalui pengelolaan interaksi fisiologis tanaman terhadap kondisi stres lingkungan. Penerapan dosis pupuk KCl yang bersifat linear tanpa mempertimbangkan ambang fisiologis optimum berpotensi menghasilkan respons yang kontradiktif, di mana peningkatan

pembungaan justru memicu peningkatan *Cherelle wilt* akibat ketidakseimbangan distribusi fotosintat. Situasi ini memperlihatkan bahwa efektivitas pemupukan kalium pada kakao di lahan pascatambang masih menjadi persoalan ilmiah yang belum memperoleh penjelasan empiris yang memadai.

Urgensi penelitian ini tidak hanya terletak pada kebutuhan peningkatan produktivitas kakao nasional, tetapi juga berkaitan dengan agenda restorasi lahan terdegradasi yang saat ini menjadi isu penting dalam pengelolaan sumber daya berkelanjutan. Kabupaten Bulungan sebagai salah satu wilayah dengan aktivitas pertambangan intensif menghadapi tantangan dalam mengembangkan sistem revegetasi produktif yang mampu memberikan manfaat ekologis sekaligus ekonomi. Pengembangan budidaya kakao pada lahan pascatambang menghadirkan peluang strategis karena kakao memiliki nilai ekonomi tinggi dan toleransi adaptif terhadap sistem agroforestri tropis, namun keberhasilan pengembangannya sangat bergantung pada formulasi manajemen hara yang tepat dan berbasis respons fisiologis tanaman. Dalam lanskap keilmuan agronomi modern, penelitian mengenai efektivitas pemupukan tidak lagi cukup berhenti pada pengukuran peningkatan hasil, melainkan harus mampu menjelaskan mekanisme fisiologis yang mendasari respons tanaman terhadap input hara dalam kondisi lingkungan spesifik. Penelitian ini diposisikan untuk mengisi ruang kosong tersebut melalui pendekatan eksperimental yang menghubungkan dosis KCl dengan dinamika pembungaan, kejadian *Cherelle wilt*, dan keberhasilan pembentukan buah pada sistem budidaya kakao di lahan pascatambang, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih integratif mengenai hubungan antara manajemen hara dan stabilitas fase generatif tanaman.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas berbagai dosis pupuk KCl terhadap pembungaan, kejadian *Cherelle wilt*, dan hasil buah tanaman kakao pada lahan pascatambang di Kabupaten Bulungan melalui pendekatan eksperimental berbasis Rancangan Acak Kelompok. Penelitian ini diproyeksikan memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan model respons fisiologis tanaman kakao terhadap kalium pada lingkungan marginal, khususnya terkait hubungan antara distribusi fotosintat, kompetisi source-sink, dan stabilitas fase generatif tanaman. Pada aspek metodologis, penelitian ini menawarkan kerangka evaluasi terpadu yang tidak hanya mengukur peningkatan pembungaan atau hasil buah secara parsial, tetapi juga menempatkan *Cherelle wilt* sebagai indikator penting dalam menilai efektivitas pemupukan kalium pada sistem budidaya kakao berkelanjutan di lahan reklamasi pascatambang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi empiris berbasis eksperimen lapangan yang dirancang untuk mengevaluasi efektivitas pemupukan kalium klorida (KCl) terhadap respons fisiologis generatif tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) pada lahan pascatambang di Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara. Penelitian dilaksanakan pada areal reklamasi tambang yang telah direvegetasi menggunakan tanaman kakao produktif berumur tiga tahun varietas Sulawesi 2 dengan kondisi kesuburan tanah yang relatif rendah sebagai karakteristik utama lingkungan marginal. Pendekatan penelitian dikembangkan melalui rancangan eksperimental berbasis *Randomized Complete Block Design* (RCBD) untuk meningkatkan reliabilitas kontrol lingkungan dan meminimalkan heterogenitas lahan pascatambang. Lima perlakuan dosis pupuk KCl diterapkan secara bertingkat, meliputi 0 g/tanaman, 25 g/tanaman, 50 g/tanaman, 75 g/tanaman, dan 100 g/tanaman dengan lima ulangan sehingga menghasilkan 25 unit percobaan independen. Aplikasi pupuk dilakukan menggunakan metode tugal pada zona perakaran aktif dengan kedalaman ± 5 cm dan radius ± 30 cm dari batang utama untuk mengoptimalkan efisiensi serapan hara dan mengurangi kehilangan unsur kalium akibat pencucian. Parameter utama yang diamati meliputi jumlah bunga, tingkat kejadian *Cherelle wilt*, dan jumlah buah matang pada interval pengamatan 30, 60, dan 90 hari setelah aplikasi, sehingga penelitian tidak hanya mengevaluasi respons pertumbuhan generatif awal, tetapi juga stabilitas fisiologis tanaman dalam mempertahankan perkembangan buah pada lingkungan terdegradasi.

Ketahanan metodologis penelitian diperkuat melalui kombinasi pendekatan kuantitatif berbasis pengukuran longitudinal dan validasi statistik inferensial untuk memastikan akurasi interpretasi respons tanaman terhadap perlakuan dosis kalium. Seluruh data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis ragam (*Analysis of Variance/ANOVA*) pada taraf signifikansi 5% untuk mengidentifikasi pengaruh perlakuan terhadap setiap parameter fisiologis tanaman, kemudian dilanjutkan menggunakan uji lanjut Tukey HSD guna mengevaluasi perbedaan nyata antarperlakuan secara lebih spesifik. Evaluasi efektivitas pemupukan tidak hanya didasarkan pada peningkatan jumlah bunga atau buah

matang, tetapi juga mempertimbangkan rasio keberhasilan fase generatif melalui analisis hubungan antara intensitas pembungaan dan kejadian *Cherelle wilt* sebagai indikator efisiensi distribusi fotosintat tanaman. Pendekatan tersebut memberikan keunikan metodologis karena menempatkan *Cherelle wilt* bukan sekadar variabel kehilangan hasil, melainkan sebagai parameter fisiologis utama dalam menilai keseimbangan *source-sink* tanaman kakao pada lahan pascatambang. Integrasi antara desain eksperimental lapangan, evaluasi fisiologis tanaman, dan validasi statistik multilevel menjadikan penelitian ini memiliki kapasitas analitis yang lebih komprehensif dibandingkan pendekatan pemupukan konvensional yang umumnya hanya berfokus pada parameter hasil akhir produksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Pemupukan KCl terhadap Pembungaan Tanaman Kakao

Fase pembungaan tanaman kakao pada lahan pascatambang menunjukkan respons fisiologis yang berbeda pada setiap tingkat aplikasi pupuk KCl. Variasi tersebut terlihat sejak awal pengamatan ketika tanaman mulai memasuki fase diferensiasi organ generatif. Hasil analisis ragam memperlihatkan bahwa dosis kalium memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah bunga pada taraf signifikansi 5%. Respons tersebut mengindikasikan bahwa kalium berperan penting dalam pengaturan aktivitas fisiologis tanaman yang berkaitan dengan pembentukan organ reproduktif (Aikpokpodion et al., 2020).

Tanaman pada perlakuan K1 dan K2 menunjukkan peningkatan jumlah bunga yang lebih stabil dibandingkan perlakuan lainnya. Pola tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan kalium pada tingkat moderat mampu meningkatkan efisiensi translokasi fotosintat menuju jaringan meristem generatif. Aktivitas translokasi asimilasi yang lebih optimal berhubungan dengan peningkatan pembentukan primordia bunga pada tanaman kakao. Sardans dan Peñuelas (2021) menjelaskan bahwa unsur kalium memiliki fungsi utama dalam regulasi tekanan turgor dan aktivasi enzim yang berkaitan dengan pembentukan organ generatif.

Peningkatan pembungaan pada dosis kalium tertentu juga memperlihatkan adanya adaptasi fisiologis tanaman terhadap kondisi tanah marginal pada lahan reklamasi tambang. Kandungan bahan organik yang rendah menyebabkan tanaman sangat bergantung pada ketersediaan hara eksternal untuk mempertahankan aktivitas metabolisme. Kondisi tersebut menjadikan efisiensi penyerapan kalium sebagai faktor penting dalam menjaga kestabilan perkembangan reproduktif tanaman. Arifin et al. (2023) menyatakan bahwa rendahnya kapasitas retensi hara pada lahan pascatambang sering menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi yang berdampak langsung terhadap produktivitas tanaman perkebunan.

Hasil pengamatan jumlah bunga pada seluruh perlakuan disajikan pada Tabel 1. Data menunjukkan bahwa perlakuan K1 menghasilkan rata-rata jumlah bunga tertinggi sebesar $55,00 \pm 4,41$ kuntum, sedangkan perlakuan K3 menunjukkan jumlah bunga terendah sebesar $24,20 \pm 2,38$ kuntum. Perbedaan tersebut memperlihatkan adanya pola respons optimum terhadap pemberian kalium pada tanaman kakao. Erwiyono et al. (2006) melaporkan bahwa efektivitas kalium pada tanaman kakao cenderung meningkat pada kisaran dosis tertentu sebelum akhirnya mengalami penurunan akibat ketidakseimbangan fisiologis tanaman.

Tabel 1. Pengaruh Pemupukan KCl terhadap Jumlah Bunga Tanaman Kakao

Perlakuan Jumlah Bunga (Mean \pm SD)	
K0	$39,20 \pm 3,70$ b
K1	$55,00 \pm 4,41$ c
K2	$52,00 \pm 2,91$ c
K3	$24,20 \pm 2,38$ a
K4	$41,40 \pm 2,40$ b

Penurunan jumlah bunga pada perlakuan K3 menunjukkan bahwa peningkatan dosis kalium tidak selalu diikuti peningkatan aktivitas generatif tanaman. Konsentrasi ion kalium yang terlalu tinggi diduga menyebabkan gangguan keseimbangan hara lain, terutama magnesium dan kalsium yang berperan dalam stabilitas jaringan tanaman. Ketidakseimbangan tersebut dapat menghambat

pembentukan energi metabolik yang diperlukan dalam proses inisiasi bunga. Lestari et al. (2025) menjelaskan bahwa peningkatan dosis KCl pada beberapa tanaman hortikultura dapat menurunkan efisiensi fisiologis apabila melampaui kapasitas toleransi tanaman terhadap tekanan ionik.

Fenomena respons optimum juga terlihat pada perlakuan K4 yang tidak mampu melampaui efektivitas perlakuan K1 dalam meningkatkan pembungaan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dosis pupuk tidak selalu menghasilkan peningkatan aktivitas fisiologis secara linear. Kapasitas metabolik tanaman kakao pada lahan pascatambang cenderung terbatas akibat rendahnya kualitas media tumbuh dan aktivitas biologis tanah. Dutta dan Agrawal (2020) menyebutkan bahwa tanah pascatambang memiliki keterbatasan ekologis yang memengaruhi efisiensi pemanfaatan unsur hara oleh tanaman revegetasi.

Perbedaan respons pembungaan antarperlakuan juga berkaitan dengan karakteristik fisiologi varietas Sulawesi 2 yang digunakan pada penelitian ini. Varietas tersebut dikenal memiliki kemampuan pembungaan tinggi tetapi sensitif terhadap perubahan keseimbangan nutrisi pada fase generatif. Respons fisiologis tanaman kakao terhadap kalium tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah unsur yang tersedia, tetapi juga dipengaruhi oleh kemampuan tanaman dalam mengalokasikan asimilat menuju organ reproduktif. Prawoto (2014) menjelaskan bahwa dinamika flushing dan pembentukan bunga kakao sangat dipengaruhi oleh kestabilan distribusi fotosintat selama fase pertumbuhan aktif.

Kondisi lingkungan mikro pada lahan reklamasi tambang turut memengaruhi efektivitas pemupukan KCl terhadap pembungaan tanaman kakao. Intensitas cahaya yang tinggi dan rendahnya kelembapan tanah pada beberapa blok pengamatan menyebabkan variasi respons fisiologis antarulangan percobaan. Faktor lingkungan tersebut berinteraksi dengan ketersediaan kalium dalam menentukan tingkat keberhasilan pembentukan bunga. Afoakwa et al. (2022) menjelaskan bahwa praktik agronomis dan kondisi lingkungan memiliki hubungan erat dalam menentukan kualitas pertumbuhan generatif tanaman kakao.

Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah bunga belum tentu mencerminkan peningkatan efisiensi produksi tanaman secara keseluruhan. Pembentukan bunga yang terlalu tinggi berpotensi meningkatkan kompetisi asimilat antarorgan generatif sehingga dapat memicu kegagalan perkembangan buah pada fase berikutnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi efektivitas pemupukan tidak cukup dilakukan melalui pengukuran pembungaan secara tunggal. Tutiliana (2022) menjelaskan bahwa stabilitas fase generatif tanaman kakao dipengaruhi oleh keseimbangan fisiologis antara pembentukan bunga dan kemampuan mempertahankan buah muda.

Pola respons pembungaan pada penelitian ini memperlihatkan bahwa aplikasi KCl dosis rendah hingga moderat lebih efektif dibandingkan dosis tinggi pada kondisi lahan pascatambang. Efektivitas tersebut menunjukkan adanya hubungan nonlinier antara ketersediaan kalium dan aktivitas reproduktif tanaman kakao. Pendekatan pemupukan berbasis dosis optimum menjadi lebih relevan dibandingkan strategi peningkatan dosis secara progresif pada lingkungan marginal. Rahmawati et al. (2025) dan Wulandari et al. (2025) menunjukkan bahwa efisiensi pupuk KCl pada berbagai tanaman budidaya lebih dipengaruhi oleh keseimbangan fisiologis tanaman dibandingkan jumlah pupuk yang diaplikasikan secara absolut.

Pengaruh Pemupukan KCl terhadap Kejadian *Cherelle Wilt* pada Tanaman Kakao

Kejadian *Cherelle wilt* pada tanaman kakao menunjukkan variasi respons yang cukup nyata pada setiap perlakuan pemupukan KCl selama periode pengamatan. Fenomena tersebut ditandai dengan meningkatnya gugur buah muda pada perlakuan dengan dosis kalium tinggi dibandingkan perlakuan kontrol dan dosis rendah. Analisis statistik memperlihatkan bahwa peningkatan dosis KCl memberikan pengaruh signifikan terhadap intensitas *Cherelle wilt* pada taraf kepercayaan 95%. Pola tersebut memperlihatkan bahwa keberhasilan fase generatif tanaman kakao tidak hanya ditentukan oleh peningkatan pembungaan, tetapi juga oleh kemampuan fisiologis tanaman dalam mempertahankan perkembangan buah muda (Prawoto, 2014).

Perlakuan K1 menunjukkan tingkat *Cherelle wilt* yang relatif lebih rendah dibandingkan perlakuan K2, K3, dan K4. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pemberian kalium dalam jumlah moderat masih mampu menjaga keseimbangan distribusi fotosintat antara organ vegetatif dan generatif tanaman. Pada dosis yang lebih tinggi, tanaman diduga mengalami peningkatan kompetisi asimilat akibat tingginya pembentukan organ reproduktif. Sardans dan Peñuelas (2021) menjelaskan bahwa

kalium berperan dalam pengaturan translokasi karbohidrat, namun ketidakseimbangan distribusi assimilate dapat memicu kegagalan perkembangan organ sink pada tanaman.

Fenomena peningkatan *Cherelle wilt* pada perlakuan dosis tinggi menunjukkan adanya keterbatasan fisiologis tanaman kakao di lingkungan lahan pascatambang. Kondisi tanah dengan kandungan bahan organik rendah menyebabkan kemampuan tanaman dalam mempertahankan suplai assimilate menjadi lebih terbatas selama fase perkembangan buah muda. Situasi tersebut memperbesar kemungkinan terjadinya aborsi fisiologis pada buah muda ketika kebutuhan metabolik tanaman meningkat secara bersamaan. Arifin et al. (2023) menyebutkan bahwa tanah pascatambang memiliki kapasitas penyangga hara yang rendah sehingga efisiensi metabolisme tanaman menjadi lebih rentan terhadap tekanan lingkungan.

Hasil pengamatan tingkat *Cherelle wilt* pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel 2. Data menunjukkan bahwa perlakuan K4 menghasilkan nilai *Cherelle wilt* tertinggi sebesar $5,73 \pm 3,30$, sedangkan perlakuan kontrol menunjukkan nilai terendah sebesar $1,87 \pm 1,12$. Pola tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan gugur buah muda seiring peningkatan dosis KCl yang diaplikasikan pada tanaman kakao. Dewi HS et al. (2023) menjelaskan bahwa peningkatan tekanan fisiologis selama fase perkembangan buah muda dapat memperbesar intensitas *Cherelle wilt* apabila tidak diimbangi keseimbangan nutrisi dan distribusi assimilate yang memadai.

Tabel 2. Pengaruh Pemupukan KCl terhadap Tingkat *Cherelle Wilt*

Perlakuan	Rata-rata \pm SD
K0	$1,87 \pm 1,12$ a
K1	$4,00 \pm 1,13$ ab
K2	$5,40 \pm 3,39$ b
K3	$5,53 \pm 3,92$ b
K4	$5,73 \pm 3,30$ b

Peningkatan kejadian *Cherelle wilt* pada dosis KCl tinggi menunjukkan bahwa pembungaan yang intensif tidak selalu diikuti keberhasilan pembentukan buah matang. Tanaman kakao memiliki keterbatasan kapasitas fisiologis dalam mendukung perkembangan seluruh buah muda yang terbentuk selama fase generatif aktif. Ketika jumlah bunga meningkat secara berlebihan, kompetisi antarbuah terhadap assimilate menjadi semakin tinggi sehingga sebagian buah muda mengalami gugur fisiologis. Tutiliana (2022) menyatakan bahwa *Cherelle wilt* merupakan bentuk penyesuaian fisiologis tanaman terhadap ketidakseimbangan kebutuhan energi selama perkembangan buah.

Perbedaan tingkat *Cherelle wilt* antarperlakuan juga berkaitan dengan efektivitas translokasi karbohidrat menuju organ sink pada kondisi lingkungan marginal. Peningkatan konsentrasi ion kalium pada jaringan tanaman dapat meningkatkan aktivitas fisiologis tertentu, tetapi pada kondisi tertentu juga memicu tekanan osmotik yang mengganggu stabilitas metabolisme tanaman. Gangguan tersebut berpotensi menurunkan efisiensi pemanfaatan hasil fotosintesis selama perkembangan buah muda. Aikpokpodion et al. (2020) menjelaskan bahwa respons tanaman kakao terhadap pemupukan kalium sangat dipengaruhi oleh kapasitas fisiologis tanaman dalam mengatur keseimbangan metabolik internal.

Variabilitas data pada perlakuan K2, K3, dan K4 menunjukkan bahwa respons *Cherelle wilt* memiliki sensitivitas tinggi terhadap faktor lingkungan mikro. Perbedaan intensitas cahaya, kelembapan tanah, dan kondisi aerasi pada area reklamasi tambang menyebabkan respons tanaman tidak sepenuhnya seragam meskipun memperoleh dosis pupuk yang sama. Interaksi antara faktor lingkungan dan status hara tanaman menjadi faktor penting dalam menentukan keberhasilan perkembangan buah kakao. Dutta dan Agrawal (2020) menjelaskan bahwa sistem revegetasi pada lahan tambang memiliki kompleksitas ekologis tinggi yang memengaruhi stabilitas pertumbuhan tanaman budidaya.

Peningkatan *Cherelle wilt* pada penelitian ini juga berpotensi dipengaruhi oleh tekanan biotik pada buah muda kakao. Aktivitas serangga penghisap buah seperti *Helopeltis* sp. dapat memperbesar kerusakan jaringan muda sehingga mempercepat proses gugur buah pada tanaman yang mengalami tekanan fisiologis tinggi. Intensitas serangan organisme pengganggu cenderung meningkat pada kondisi

kelembapan lingkungan yang fluktuatif dan struktur tajuk tanaman yang kurang stabil. Reza et al. (2023) menjelaskan bahwa gangguan hama penghisap buah memiliki hubungan erat dengan penurunan kualitas perkembangan generatif tanaman kakao.

Pendekatan fisiologis dalam memahami *Cherelle wilt* menjadi penting karena fenomena tersebut tidak dapat dijelaskan hanya melalui faktor nutrisi secara parsial. Stabilitas hormon pertumbuhan, distribusi assimilate, dan aktivitas metabolik jaringan muda menjadi komponen yang saling berinteraksi selama perkembangan buah kakao. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pengendalian *Cherelle wilt* dapat dilakukan melalui pengaturan keseimbangan fisiologis tanaman menggunakan pendekatan hormonal dan nutrisi terpadu. Saputra et al. (2025) melaporkan bahwa aplikasi fitohormon kaya giberelin mampu menekan intensitas *Cherelle wilt* melalui peningkatan stabilitas perkembangan jaringan generatif.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa peningkatan dosis KCl memiliki implikasi kompleks terhadap kestabilan fase generatif tanaman kakao pada lahan pascatambang. Efektivitas pemupukan tidak dapat diukur hanya berdasarkan peningkatan jumlah bunga tanpa mempertimbangkan kemampuan tanaman mempertahankan buah muda selama fase perkembangan awal. Evaluasi terhadap *Cherelle wilt* memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai efisiensi distribusi assimilate dan kapasitas adaptif tanaman pada lingkungan terdegradasi. Heri dan Irfan (2023) serta Sri Dewi HS et al. (2023) menegaskan bahwa pendekatan diagnosis fisiologis dan keseimbangan nutrisi menjadi komponen penting dalam pengelolaan produktivitas kakao modern pada kondisi lingkungan yang kompleks.

Pengaruh Pemupukan KCl terhadap Hasil Buah Tanaman Kakao

Hasil pengamatan terhadap jumlah buah matang menunjukkan bahwa pemupukan KCl memberikan respons yang berbeda pada setiap fase perkembangan buah tanaman kakao. Variasi tersebut mulai terlihat pada pengamatan 60 hari setelah aplikasi ketika beberapa perlakuan mulai menghasilkan buah matang dalam jumlah terbatas. Perbedaan respons antarperlakuan menunjukkan bahwa keberhasilan pembentukan buah dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara ketersediaan hara, stabilitas fisiologis tanaman, dan kondisi lingkungan lahan pascatambang. Afoakwa et al. (2022) menjelaskan bahwa produktivitas kakao tidak hanya ditentukan oleh pembentukan bunga, tetapi juga oleh efisiensi pengisian dan pematangan buah selama fase generatif.

Perlakuan K4 menghasilkan jumlah buah matang tertinggi pada akhir pengamatan meskipun tidak menghasilkan jumlah bunga tertinggi pada fase awal penelitian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pembentukan buah matang tidak selalu berkorelasi langsung dengan tingginya intensitas pembungaan tanaman. Tanaman pada perlakuan dosis tinggi diduga memiliki kapasitas translokasi assimilate yang lebih besar menuju buah yang berhasil bertahan setelah fase seleksi fisiologis. Sardans dan Peñuelas (2021) menyatakan bahwa kalium berperan penting dalam mekanisme translokasi karbohidrat melalui jaringan floem sehingga mendukung pengisian buah pada fase pematangan.

Perbedaan jumlah buah matang antarperlakuan menunjukkan bahwa keberhasilan produksi buah kakao sangat dipengaruhi oleh keseimbangan hubungan *source-sink* selama perkembangan generatif. Tanaman dengan pembungaan tinggi tetapi mengalami *Cherelle wilt* intensif cenderung menghasilkan jumlah buah matang yang lebih rendah dibandingkan tanaman dengan stabilitas perkembangan buah yang lebih baik. Situasi tersebut memperlihatkan bahwa keberhasilan reproduktif tanaman kakao lebih bergantung pada efisiensi distribusi assimilate daripada jumlah bunga yang terbentuk pada fase awal. Prawoto (2014) menjelaskan bahwa sinkronisasi antara flushing, pembentukan buah, dan distribusi fotosintat merupakan faktor utama yang menentukan produktivitas kakao.

Hasil pengamatan jumlah buah matang pada setiap interval pengamatan disajikan pada Tabel 3. Data menunjukkan bahwa seluruh perlakuan belum menghasilkan buah matang pada 30 hari setelah aplikasi, sedangkan peningkatan jumlah buah mulai terlihat pada pengamatan 60 dan 90 hari setelah aplikasi. Perlakuan K4 menghasilkan jumlah buah matang tertinggi sebesar 3 buah pada pengamatan 90 hari setelah aplikasi, sementara perlakuan K2 dan K3 hanya menghasilkan 1 buah matang. International Cocoa Organization (2024) menjelaskan bahwa produktivitas kakao sangat dipengaruhi oleh stabilitas perkembangan buah selama fase pengisian hingga pematangan akhir.

Tabel 3. Pengaruh Pemupukan KCl terhadap Jumlah Buah Matang Tanaman Kakao

	Perlakuan 30 HSA	60 HSA	90 HSA
K0	0	1	2
K1	0	0	2
K2	0	0	1
K3	0	0	1
K4	0	1	3

Peningkatan hasil buah pada perlakuan K4 menunjukkan bahwa tanaman yang mampu mempertahankan buah muda memiliki peluang lebih besar menghasilkan buah matang pada fase akhir pengamatan. Kalium berperan dalam meningkatkan efisiensi transportasi asimilat dan menjaga kestabilan tekanan osmotik jaringan buah selama proses pengisian berlangsung. Stabilitas metabolisme tersebut mendukung pembentukan ukuran dan kualitas buah yang lebih baik pada tanaman kakao. Erwiyono et al. (2006) melaporkan bahwa kecukupan kalium dapat meningkatkan efisiensi pembuahan kakao melalui optimalisasi distribusi hasil fotosintesis menuju organ sink.

Meskipun perlakuan K4 menghasilkan jumlah buah matang tertinggi, peningkatan dosis kalium tetap menunjukkan keterbatasan efektivitas pada kondisi tertentu. Perlakuan K2 dan K3 memperlihatkan jumlah buah matang yang relatif rendah meskipun memperoleh suplai kalium lebih tinggi dibandingkan perlakuan kontrol. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pemanfaatan kalium sangat dipengaruhi oleh kapasitas adaptasi fisiologis tanaman terhadap lingkungan tumbuh marginal. Lestari et al. (2025) menyatakan bahwa peningkatan dosis KCl pada beberapa tanaman budidaya dapat menghasilkan respons fisiologis yang tidak stabil apabila melampaui kebutuhan optimum tanaman.

Lingkungan lahan pascatambang memberikan tekanan ekologis yang memengaruhi efektivitas pembentukan buah pada tanaman kakao. Rendahnya kandungan bahan organik dan kapasitas retensi air menyebabkan proses penyerapan unsur hara berlangsung kurang optimal selama fase perkembangan buah. Kondisi tersebut memperbesar risiko gangguan fisiologis pada tanaman ketika kebutuhan energi metabolik meningkat selama pengisian buah. Dutta dan Agrawal (2020) menjelaskan bahwa tanaman pada lahan reklamasi tambang menghadapi keterbatasan ekologis yang memengaruhi efisiensi pertumbuhan dan produktivitas jangka panjang.

Variasi hasil buah antarperlakuan juga berkaitan dengan kemampuan tanaman dalam mempertahankan keseimbangan nutrisi selama fase generatif. Interaksi antara kalium dengan unsur lain seperti nitrogen, fosfor, dan boron berperan penting dalam mendukung perkembangan jaringan buah secara optimal. Ketidakseimbangan nutrisi dapat menyebabkan penurunan efisiensi metabolisme dan menghambat perkembangan buah hingga fase pematangan. Melon (2023) serta Mubarak dan Sanusi (2024) menjelaskan bahwa efektivitas pupuk KCl sangat dipengaruhi oleh keseimbangan unsur hara lain pada media tanam.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa produktivitas buah kakao pada lahan pascatambang tidak hanya ditentukan oleh dosis pupuk yang tinggi, tetapi lebih dipengaruhi oleh kemampuan tanaman dalam mempertahankan kestabilan fisiologis selama perkembangan reproduktif. Pendekatan pemupukan berbasis dosis optimum menjadi lebih relevan dibandingkan peningkatan dosis secara progresif tanpa mempertimbangkan kapasitas fisiologis tanaman. Strategi pengelolaan hara yang adaptif diperlukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk pada lingkungan marginal dengan keterbatasan ekologis tinggi. Food and Agriculture Organization (2024) menjelaskan bahwa keberlanjutan produksi kakao global sangat bergantung pada inovasi pengelolaan nutrisi yang mampu meningkatkan efisiensi produktivitas tanaman pada lahan terdegradasi.

Karakteristik respons hasil buah pada penelitian ini menunjukkan bahwa kalium memiliki peran penting dalam menjaga keberlanjutan fase generatif tanaman kakao pada sistem revegetasi pascatambang. Respons fisiologis tanaman memperlihatkan pola optimum di mana peningkatan dosis kalium tidak selalu menghasilkan peningkatan produksi secara linear. Evaluasi berbasis hubungan antara pembungaan, *Cherelle wilt*, dan hasil buah memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam menilai efektivitas pemupukan pada tanaman kakao. Putra et al. (2022) dan Dewi HS (2021)

menjelaskan bahwa stabilitas fisiologis tanaman selama perkembangan buah menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan produksi kakao pada lingkungan dengan tekanan ekologis tinggi.

KESIMPULAN

Pemupukan KCl memberikan pengaruh nyata terhadap dinamika fisiologis fase generatif tanaman kakao pada lahan pascatambang Kabupaten Bulungan, terutama pada pembentukan bunga, kejadian *Cherelle wilt*, dan keberhasilan pembentukan buah matang. Dosis 25 g KCl/tanaman menunjukkan efektivitas tertinggi dalam meningkatkan pembungaan melalui optimalisasi translokasi fotosintat dan aktivitas metabolik generatif, sedangkan peningkatan dosis hingga 75–100 g/tanaman cenderung meningkatkan intensitas *Cherelle wilt* akibat meningkatnya kompetisi asimilat antarorgan reproduktif. Respons tersebut memperlihatkan bahwa produktivitas kakao pada lingkungan marginal tidak ditentukan secara linear oleh peningkatan dosis kalium, tetapi lebih dipengaruhi oleh kemampuan tanaman mempertahankan keseimbangan fisiologis *source-sink* selama perkembangan buah. Perlakuan 100 g KCl/tanaman menghasilkan jumlah buah matang tertinggi pada akhir pengamatan, namun tidak menunjukkan efisiensi fisiologis terbaik karena disertai peningkatan gugur buah muda yang relatif tinggi. Pola respons tersebut menegaskan bahwa efektivitas pemupukan pada lahan pascatambang harus diarahkan pada pencapaian dosis optimum yang mampu menjaga stabilitas perkembangan generatif tanaman secara berkelanjutan, bukan sekadar meningkatkan intensitas pembungaan atau jumlah buah secara parsial.

DAFTAR PUSTAKA

- Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, J., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2022). Influence of agronomic practices on cocoa (*Theobroma cacao* L.) bean quality. *Journal of Food Science and Technology*, 59(3), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05000-0>
- Aikpokpodion, P. O., Motamayor, J. C., & Eskes, A. B. (2020). Mineral nutrient requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.) and implications for productivity. *Agricultural Sciences*, 11(4), 345–356. <https://doi.org/10.4236/as.2020.114022>
- Arifin, M., Nugroho, A., & Prasetyo, B. (2023). Soil fertility status and nutrient management on post-mining land in Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(2), 3501–3510. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.102.3501>
- Dewi HS, E. S. (2021). Tingkat Layu Pentil (Cherelle Wilt) Pada Berbagai Klon kakao (*Theobroma cacao* L.). *Agropet*, 18(2), 1-13. <http://dx.doi.org/10.71127/2828-9250.354>
- Dewi HS, E. S., Yudono, P., Putra, E. T. S., Purwanto, B. H., & Toyip, T. (2023). Pengaruh dosis dan jenis aplikasi boron terhadap tingkat layu pentil (Cherelle wilt) tanaman kakao. *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.36423/agroscript.v5i1.1219>
- Dutta, R. K., & Agrawal, M. (2020). Restoration of opencast coal mine spoil by planting vegetation: A review. *Ecological Engineering*, 38(2), 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.024>
- Erwiyono, R., Suchahyo, A., & Winarso, S. (2006). Effectiveness of Foliar Application of Potassium on Flowering and Fruiting of Cocoa. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 22(1). <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v22i1.26>
- Food and Agriculture Organization. (2024). *FAOSTAT statistical database*. Rome: FAO. <https://www.fao.org/faostat/>
- Heri, A., & Irfan, A. P. (2023). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Pada Tanaman Kakao Menggunakan Metode Dempster Shafer. *Journal of Computer and Information System (J-CIS)*, 6(2), 9-18. <https://doi.org/10.31605/jcis.v6i2.3428>
- International Cocoa Organization. (2024). *Quarterly bulletin of cocoa statistics*. London: ICCO. <https://www.icco.org/>
- Lestari, D., Krismiratsih, F., Napitupulu, T. S., & Firmansyah, A. M. (2025). Respons Fisiologis dan Agronomis Semangka Non Biji (*Citrullus lanatus*) terhadap Peningkatan Dosis Pupuk Kalium Klorida (KCl). *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 25(3), 190-196. <https://doi.org/10.25047/jii.v25i3.5253>
- Melon, P. D. P. T. (2023). Pengaruh Takaran Pupuk Urea, SP36 Dan KCL Terhadap. *Jurnal Ilmiah Fakultas Pertanian Vol*, 4(2). <https://doi.org/10.54895/lansium.v4i2>

- Mubarok, M. S., & Sanusi, S. (2024). Pengaruh Dosis Pupuk KCl dan Pupuk Kandang Sapi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah Di Tanah Podsolik Merah Kuning Kalimantan Barat. *Jurnal Pertanian Agros*, 26(1), 4368-4377. <http://dx.doi.org/10.37159/jpa.v26i1.3741>.
- Prawoto, A. (2014). Pattern of flushing, cherelle wilt, and accuracy of yield forecasting of some cocoa clones. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 30(2), 100-114. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelita.perkebunan.v30i2.4>.
- Putra, S., Ferry, Y., & Harni, R. (2022). Pengendalian penyakit busuk buah kakao menggunakan Trichoderma dan pupuk Kalium. *Jurnal Kultivasi*, 21(2), 7. <http://dx.doi.org/10.24198/kultivasi.v21i2.36807>.
- Rahmawati, R. F., Istiqlal, M. R. A., Sugeru, H., & Warip, W. (2025). Effectiveness of KCL and KNO₃ Fertilization on Growth and Results of Two Melon Varieties (Cucumis melo L.). *Jurnal Biologi Tropis*, 25(1), 133-141. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i1.8209>.
- Reza, S. D. L., Rahayu, D. S., Windriyanti, W. W. W., & Wiyatiningsih, S. (2023). Aktivitas kunjungan serangga hama penghisap buah kakao (*Helopeltis* sp.) pada tanaman kakao. *Jurnal Pertanian Agros*, 25(2), 1575-1583. <http://dx.doi.org/10.37159/jpa.v25i2.2815>.
- Saputra, B. F., Anggara, M. T., Prinandra, R., & Avianto, Y. (2025). The Influence of Gibberellin-Rich Phytohormones in Monkey Fern (*Cibotium barometz*) Extract on Mitigating Cherelle Wilt in Cocoa Plants. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(1), 901-910. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i1.8496>.
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2), 419. <https://doi.org/10.3390/plants10020419>.
- Sri Dewi HS, E., Yudono, P., Putra, E. T. S., Purwanto, B. H., & Toyip, T. (2023). Pengaruh Dosis dan Jenis Aplikasi Boron terhadap Tingkat Layu Pentil (Cherelle wilt) Tanaman Kakao. *Agroscript: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.36423/agroscript.v5i1.1219>.
- Tutiliana, T. Aplikasi Zpt Auksin, Seng Dan Boron Untuk Mengendalikan Layu Pentil (Cherelle Wilt) Pada Tanaman Kakao (*Theobroma Cacao* L.). *Jurnal Edukasi dan Sains Biologi*, 3(1), 77452.
- Wulandari, K. P., Rahhutami, R., Darma, W. A., Ali, F., & Salsabila, V. A. (2025). Aplikasi Pupuk KCl dan Waktu Pemangkasan Pucuk terhadap Pertumbuhan dan Hasil Terung Ungu (*Solanum melongena* L.). *Journal of Horticulture Production Technology*, 3(1), 27-37. <https://doi.org/10.25181/jhpt.v3i1.4562>.