



Analisis Sifat Fisik-Kimia Tanah terhadap Pertumbuhan Vegetatif dan Kandungan Klorofil Tanaman Lada

Analysis of Soil Physico-Chemical Properties on Vegetative Growth and Chlorophyll Content of *Piper nigrum* L

Irman ¹, Nyayu Siti Khodijah ^{*,1}, Maera Zasari ²

¹ Program Studi S2 Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Bangka, Indonesia

² Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Bangka, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: nyayukhodijah@yahoo.co.id

Abstrak. Lada (*Piper nigrum* L.) merupakan komoditas perkebunan strategis yang produktivitasnya sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, terutama sifat fisik dan kimia yang menentukan ketersediaan hara dan kemampuan tanaman melakukan fotosintesis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat fisik-kimia tanah pada lahan lada di Simpang Katis, Kabupaten Bangka Tengah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, mengevaluasi pertumbuhan vegetatif tanaman melalui jumlah daun dan lebar tajuk, serta mengkaji keterkaitannya dengan kandungan klorofil. Penelitian dilaksanakan pada lahan bertekstur pasir berlempung dengan metode pengamatan deskriptif analisis kimia tanah dan pertumbuhan tanaman. Analisis laboratorium, meliputi pengukuran pH, kandungan C-organik, N, P, K, Ca, Mg, serta kapasitas tukar kation. Sampel penelitian digunakan sebanyak 120 pohon tanaman lada akses lokal Nelunkup umur tiga tahun, kadar klorofil A, B, dan total klorofil ditentukan dengan metode spektrofotometri. Hasil analisis menunjukkan bahwa tanah memiliki pH sangat asam (4,9), kandungan C-organik (1,07%), N-total (0,15%), P-tersedia, Ca, Mg, serta KTK tergolong rendah, sehingga berpotensi membatasi pertumbuhan. Jumlah daun per cabang berkisar 92,92–112,67 helai dengan lebar tajuk 97,58–110,00 cm, dan total klorofil tercatat 21,46–25,25 mg/L. Analisis statistik menunjukkan hubungan lemah antara lebar tajuk dan jumlah daun ($R^2=0,064$), serta hubungan sedang antara jumlah daun maupun lebar tajuk dengan kandungan klorofil ($R^2=0,331$). Temuan ini walaupun masih lemah menunjukkan adanya potensi hubungan positif antara kondisi tanah dengan pertumbuhan vegetatif dan efisiensi fotosintesis tanaman lada, sehingga diperlukan strategi pengelolaan tanah seperti pengapuran, penambahan bahan organik, dan pemupukan berimbang untuk meningkatkan produktivitas.

Kata kunci: lada, klorofil, pertumbuhan vegetatif, *Piper nigrum*, sifat fisik-kimia tanah.

Abstract. Pepper (*Piper nigrum* L.) is a strategic plantation commodity whose productivity is greatly influenced by soil conditions, especially physical and chemical properties that determine nutrient availability and the ability of plants to photosynthesize. This study aims to analyze the physical-chemical properties of soil in pepper fields in Simpang Katis, Central Bangka Regency, Bangka Belitung Islands Province, evaluate plant vegetative growth through the number of leaves and canopy width, and examine its relationship with chlorophyll content. The study was conducted on sandy loamy textured land using descriptive observation methods of soil chemical analysis and

plant growth. Laboratory analysis included measuring pH, organic C, N, P, K, Ca, Mg content, and cation exchange capacity. The study sample used was 120 three-year-old local Nelungkup pepper plants, chlorophyll A, B, and total chlorophyll levels were determined using the spectrophotometric method. The analysis results showed that the soil had a very acidic pH (4.9), organic carbon (1.07%), total nitrogen (0.15%), available phosphorus, calcium, and magnesium, and low CEC, potentially limiting growth. The number of leaves per branch ranged from 92.92 to 112.67, with a crown width of 97.58 to 110.00 cm, and total chlorophyll content was recorded at 21.46 to 25.25 mg/L. Statistical analysis showed a weak relationship between crown width and leaf number ($R^2 = 0.064$), and a moderate relationship between leaf number and crown width and chlorophyll content ($R^2 = 0.331$). These findings, although still weak, indicate a potential positive relationship between soil conditions and vegetative growth and photosynthetic efficiency of pepper plants. Therefore, soil management strategies such as liming, organic matter addition, and balanced fertilization are needed to increase productivity.

Keywords: chlorophyll, pepper, physical-chemical properties of soil, *Piper nigrum*, vegetative growth

1. Pendahuluan

Lada (*Piper nigrum* L.) merupakan salah satu komoditas rempah strategis yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta menjadi ciri khas Bangka Belitung sebagai salah satu sentra penghasil lada utama di Indonesia. Produktivitas lada di wilayah ini cenderung mengalami fluktuasi dan bahkan menurun dalam satu dekade terakhir. Selama periode tahun 2018 hingga tahun 2022 produksi lada Indonesia berfluktuasi yang pada tahun 2019 mengalami peningkatan sebesar 91.000 ton, fluktuasi cenderung menurun pada tahun 2020 dan 2021 sebesar 87.400 dan 81.501 dan kembali mengalami peningkatan pada tahun 2022 dengan jumlah produksi sebesar 82.167 ton (Riani, 2023). Salah satu faktor yang paling menentukan adalah kondisi lahan, khususnya sifat fisik-kimia tanah yang memengaruhi ketersediaan unsur hara dan kemampuan tanaman melakukan fotosintesis (Kurniawati *et al.*, 2024).

Tanah merupakan media utama pertumbuhan tanaman sehingga sifat fisik dan kimianya sangat menentukan produktivitas tanaman perkebunan, termasuk lada (*Piper nigrum* L.). Karakteristik tanah seperti tekstur, kapasitas tukar kation, pH, kandungan bahan organik, serta ketersediaan unsur hara esensial berperan penting dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Sifat fisik tanah memengaruhi kapasitas simpan air dan aerasi, sedangkan sifat kimia tanah menentukan ketersediaan hara yang diperlukan tanaman untuk menunjang proses fisiologis, termasuk pembentukan klorofil (Zhiddiq *et al.*, 2021).

Tanah di lahan perkebunan lada umumnya didominasi tekstur berpasir dengan kapasitas tukar kation rendah, sehingga kemampuan menyimpan dan menyediakan unsur hara relatif terbatas. Selain itu, tingkat keasaman tanah ($\text{pH} < 5$) dilaporkan sebagai faktor pembatas utama karena dapat menurunkan ketersediaan fosfor dan meningkatkan toksisitas aluminium (Asrida, 2020). Berbagai penelitian sebelumnya telah menyoroti pentingnya pengelolaan tanah dalam budidaya lada, khususnya melalui pengapuran, pemupukan berimbang, serta penambahan bahan

organik (Van *et al.*, 2025). Namun demikian, kajian integratif yang menghubungkan antara karakteristik fisik-kimia tanah dengan indikator pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama jumlah daun, lebar tajuk, dan kandungan klorofil, masih sangat terbatas. Padahal, kandungan klorofil daun berperan sebagai respon fisiologis penting yang berkontribusi terhadap efisiensi fotosintesis dan status hara nitrogen tanaman (Suharja & Sutarno, 2009).

Pertumbuhan vegetatif lada, yang umumnya dicerminkan melalui jumlah daun, lebar tajuk, serta perkembangan batang, sangat erat kaitannya dengan kondisi tanah yang mendasarinya. Daun yang sehat dan tajuk yang optimal merupakan indikator kapasitas tanaman dalam melakukan fotosintesis. Salah satu penentu utama efisiensi fotosintesis adalah kandungan klorofil, karena pigmen ini berperan sebagai penyerap energi cahaya (Fatmawaty *et al.*, 2024). Oleh sebab itu, keterkaitan antara pertumbuhan vegetatif lada dan kandungan klorofil menjadi aspek penting yang perlu dikaji untuk memahami performa fisiologis tanaman. Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sifat fisik-kimia tanah berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif dan kandungan klorofil tanaman. Farrasati *et al.* (2019) melaporkan bahwa tanah masam dengan kandungan hara rendah menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman pada lahan tropika basah. Demikian pula, Taiz *et al.* (2015) menegaskan bahwa nitrogen, fosfor, dan magnesium berperan langsung dalam sintesis klorofil dan pertumbuhan daun. Namun, kajian yang mengintegrasikan analisis sifat tanah dengan parameter pertumbuhan vegetatif serta kandungan klorofil pada lada di lahan berpasir masam seperti di Bangka Belitung masih terbatas.

Penelitian terdahulu telah berfokus pada faktor agronomis atau manajemen pemupukan, seperti kondisi hara makro (Khodijah *et al.*, 2024); kondisi hara mikro (Irman *et al.*, 2024) dan penggunaan *Centrosema pubescens* untuk perbaikan agroekosistem tanaman lada (Kurniawati *et al.*, 2024). Sementara itu, hubungan kuantitatif antara sifat fisik dan kimia tanah, pertumbuhan vegetatif, dan kadar klorofil belum diteliti. Sehingga, kondisi ini dianggap masih menyisakan *gap* penelitian, yaitu kurangnya informasi berbasis data yang dapat menjelaskan keterkaitan langsung antara kondisi tanah dengan indikator pertumbuhan tanaman lada. Dengan demikian, diperlukan pendekatan analisis yang mampu mengukur hubungan ini secara statistik, misalnya melalui analisis regresi dan korelasi, sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis fisik-kimia tanah dengan pengukuran pertumbuhan vegetatif dan kadar klorofil sebagai indikator fisiologis tanaman lada. Penelitian ini penting dilakukan karena lada merupakan komoditas unggulan perkebunan yang bernilai ekonomi tinggi, namun produktivitasnya sering terkendala oleh degradasi lahan dan rendahnya kesuburan tanah. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis karakteristik fisik-kimia tanah pada lahan lada di Simpang Katis, mengevaluasi pertumbuhan vegetatif tanaman lada (melalui parameter jumlah

daun dan lebar tajuk), serta mengkaji keterkaitan antara sifat tanah, pertumbuhan vegetatif, dan kandungan klorofil tanaman lada. Dengan memahami hubungan ini, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam merumuskan strategi pengelolaan tanah dan pemupukan berimbang yang lebih efektif untuk peningkatan produktivitas dan keberlanjutan budidaya lada.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lahan perkebunan lada petani Desa Katis Kecamatan Simpang Katis, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi penelitian berada pada ketinggian ± 50 mdpl dengan jenis tanah dominan berpasir. Analisis tanah dilakukan di laboratorium Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology (ICBB Foundation Bogor pada September 2024 dan klorofil dilakukan di Laboratorium Tanah dan Lingkungan, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan, pada bulan September 2025.

2.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Sampel tanah dari lahan perkebunan lada (kedalaman 0–20 cm), diambil secara komposit dari beberapa titik. Tanaman Sampel Lada berasal dari populasi tanaman 1200 tanaman lada berumur 3 tahun varietas Nelungkup, dipilih 120 tanaman seragam untuk dijadikan sampel yang dibuat menjadi 6 blok, masing-masing blok terdiri dari 20 tanaman. Sampel daun lada diambil pada posisi tengah (tinggi tanaman dibagi 3 dan dibagian ke 2 diambil) sebagai pengamatan untuk diameter tajuk dan posisi penghitungan jumlah daun berasal dari 3 cabang dirata-ratakan selanjutnya daun diambil untuk dilakukan pengamatan klorofil daun. Sampel daun lada diambil pada posisi tengah tajuk, yaitu pada bagian ke-2 dari pembagian tinggi tanaman menjadi tiga bagian. Pengamatan diameter tajuk dan jumlah daun dilakukan pada tiga cabang tanaman yang kemudian dirata-ratakan, selanjutnya daun tersebut digunakan untuk pengamatan klorofil daun. Bahan kimia untuk analisis laboratorium, antara lain larutan HCl, H₂SO₄ pekat, larutan Bray I, larutan Olsen, larutan KCl 1N, serta pereaksi klorofil (80% asetona).

2.3. Alat Penelitian

Alat yang digunakan antara lain: Bor tanah untuk pengambilan sampel tanah. Timbangan analitik (ketelitian 0,001 g; merk Sartorius). pH meter (Hanna Instrument HI 2211). Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800) untuk pengukuran kadar klorofil pada panjang gelombang 663 nm (klorofil a) dan 645 nm (klorofil b). Oven pengering (Memmert) untuk pengeringan sampel tanah. Alat ukur pertumbuhan tanaman berupa meteran (untuk lebar tajuk), serta alat tulis dokumentasi.

2.4. Metode Penelitian

2.4.1. Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil pada kedalaman 0–20 cm di sekitar perakaran tanaman lada. Setiap 5 titik pengambilan digabungkan menjadi 1 sampel komposit, kemudian dianalisis di laboratorium ICBB Bogor.

2.4.2. Analisis Fisik-Kimia Tanah

pH tanah diukur menggunakan pH meter pada suspensi tanah:air (1:2,5) dan tanah:KCl (1:2,5). C-organik ditentukan dengan metode Walkley & Black. N-total dianalisis dengan metode Kjeldahl. P-tersedia diuji menggunakan metode Olsen dan Bray I. Unsur K, Ca, dan Mg dapat ditukur diukur melalui ekstraksi ammonium asetat pH 7, kemudian dianalisis dengan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer). Kapasitas Tukar Kation (KTK) ditentukan menggunakan metode pengukuran kapasitas tukar kation NH_4OAc . Tekstur tanah dianalisis dengan metode pipet (hidrometer Bouyoucos). Analisa yang dilakukan merujuk pada cara analisis Balai Penelitian Tanah 2009.

2.4.3. Pengamatan Pertumbuhan Vegetatif

Pertumbuhan tanaman lada diamati dengan parameter: Jumlah daun per cabang: dihitung secara langsung pada 3 cabang produktif tiap tanaman sampel. Lebar tajuk (diameter tanaman): diukur dengan meteran pada arah utara–selatan kemudian dirata-ratakan.

2.4.4. Analisis Kandungan Klorofil

Sampel daun segar ($\pm 0,1$ g) diekstraksi menggunakan 10 mL asetona 80%, kemudian disentrifugasi pada 3000 rpm selama 10 menit. Supernatan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 663 nm (klorofil a) dan 645 nm (klorofil b). Total klorofil dihitung dengan rumus Arnon (1949): Klorofil a (mg/L) = $12,7 (A_{663}) - 2,69 (A_{645})$, Klorofil b (mg/L) = $22,9 (A_{645}) - 4,68 (A_{663})$ dan Total klorofil (mg/L) = Klorofil a + Klorofil b

2.4.5. Analisis Statistik

Data hasil pengukuran ditabulasi dan dianalisis menggunakan regresi linier sederhana untuk mengetahui hubungan antara lebar tajuk, jumlah daun, dan kandungan klorofil. Selain itu, dihitung koefisien korelasi (r) dan koefisien determinasi (R^2) untuk menilai kekuatan dan kontribusi hubungan antarvariabel (Darma, 2021). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2019 dan SPSS 25.

1. Regresi Linier Sederhana

Hubungan antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y) dinyatakan dengan (1):

$$Y = a + bX \quad (1)$$

dengan:

Y = variabel terikat (misalnya jumlah daun atau kandungan klorofil),

X = variabel bebas (misalnya lebar tajuk),

a = intercept (nilai Y saat $X = 0$),

b = koefisien regresi (kemiringan garis, menunjukkan perubahan rata-rata Y untuk setiap 1 satuan perubahan X).

2. Koefisien Korelasi (r) Pearson

Untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel digunakan rumus (2).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})(Yi - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Yi - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

dengan: r = koefisien korelasi Pearson, n = jumlah sampel, X = nilai variabel bebas, dan Y = nilai variabel terikat. Interpretasi nilai r : $0 \leq r < 0,3 \rightarrow$ hubungan lemah, $0,3 \leq r < 0,6 \rightarrow$ hubungan sedang, $0,6 \leq r < 0,9 \rightarrow$ hubungan kuat, dan $0,9 \leq r \leq 1 \rightarrow$ hubungan sangat kuat.

3. Koefisien Determinasi (R^2)

Untuk mengetahui besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat (3):

$$R^2 = r^2 \times 100\% \quad (3)$$

dengan: R^2 = koefisien determinasi dan r^2 = koefisien korelasi. Interpretasi: R^2 menunjukkan persentase variasi Y yang dapat dijelaskan oleh X , sedangkan sisanya dijelaskan oleh faktor lain di luar model.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk data tabulasi hasil pengamatan karakteristik fisik kimia tanah (Tabel 1), pertumbuhan tanaman dicerminkan pada peubah jumlah daun percabang diameter tajuk (Tabel 2) dan kandungan klorofil (Tabel 3). Selanjutnya dibuat analisis hubungan antar peubah vegetatif, klorofil dan kondisi tanah.

3.1 Karakteristik fisik kimia tanah

Berdasarkan analisis segitiga tekstur tanah, komposisi tanah dengan kandungan pasir sebesar 66,13%, debu 30,63%, dan liat yang sangat rendah digolongkan ke dalam tanah berpasir (Tabel 1). Lahan merupakan lahan yang sudah dibudidayakan tanaman horti dan semak kemudian dilanjutkan dengan tanaman lada. Pemupukan yang dilakukan pemupukan lada dosis anjuran untuk lada masa pertumbuhan dengan NPK 2,4kg/pohon/tahun (Daras *et al.*, 2012)

Table 1. Karakteristik Fisika Tanah pada Lahan Lada di Simpang Katis

Parameter	Hasil	Status Ketersediaan / Keterangan
Tekstur Pasir	66,13%	Tanah berpasir, drainase cepat, retensi air rendah
Tekstur Debu	30,63%	Sedang
Tekstur Liat	-	Sangat rendah (tidak terdeteksi)

Tekstur tersebut dikategorikan sebagai lempung berpasir (sandy loam), atau pasir berdebu karena dominasi fraksi pasir dan debu dengan hampir tanpa liat. Tanah berpasir umumnya memiliki sifat drainase yang tinggi namun kapasitas menahan air rendah, sehingga tanah mudah mengalami kekeringan dan sulit mempertahankan kelembaban (Zega, 2024). Kondisi ini berimplikasi pada terbatasnya ketersediaan air dan unsur hara bagi tanaman lada, yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan produktivitasnya.

Tabel 2. Hasil Karakteristik Kimia Tanah pada Lahan Lada di Simpang Katis

Parameter	Hasil	Status Ketersediaan / Keterangan	Kesesuaian dengan pertumbuhan lada
pH H ₂ O	4,9	Sangat Asam (kurang optimal untuk tanaman lada)	Belum sesuai
pH KCl	4,2	Sangat Asam	Belum sesuai
C-Organik	1,07%	Rendah	Belum sesuai
N-Total	0,15%	Rendah	Belum sesuai
Rasio C/N	7	Optimal untuk mineralisasi cepat	Sesuai, untuk penyediaan cepat
P ₂ O ₅ Tersedia (Olsen)	5,71 mg/kg	Rendah	Belum sesuai
P ₂ O ₅ Tersedia (Bray I)	8,01 mg/kg	Rendah	Belum sesuai
K ₂ O Tersedia	61 mg/kg	Cukup	Sesuai
Sulfur (S)	37 mg/kg	Relatif Tinggi	Belum sesuai
Kapasitas Tukar Kation (KTK)	8,19 cmol(+)/kg	Rendah	
Al ³⁺ Dapat Ditukar	0,57 cmol(+)/kg	Tinggi toksisitas jika pH rendah	Belum sesuai, perlu pengapuran
Ca ²⁺ Dapat Ditukar	2 cmol(+)/kg	Rendah	Belum sesuai
Mg ²⁺ Dapat Ditukar	<0,10 cmol(+)/kg	Rendah	Belum sesuai

Berdasarkan hasil analisis tanah yang dilakukan pada lahan lada di Simpang Katis (Tabel 2), diketahui bahwa tanah memiliki pH yang sangat asam, yaitu 4,9 untuk pH H₂O dan 4,2 untuk pH KCl. Kondisi tanah yang sangat asam ini kurang optimal untuk pertumbuhan tanaman lada, tanaman lada membutuhkan pH 5,0-7,0 (Danuarta *et al.*, 2023) karena pH yang rendah dapat mengurangi ketersediaan unsur hara penting seperti fosfor dan meningkatkan toksisitas aluminium (Al³⁺), yang dapat merusak akar tanaman (Nopriani *et al.*, 2023).

Kandungan karbon organik di tanah tercatat rendah, yakni 1,07%. Kandungan karbon organik yang rendah terdeteksi dapat memengaruhi kapasitas tanah dalam menyimpan unsur hara dan mendukung kehidupan mikroorganisme tanah yang esensial untuk kesuburan tanah (Soemarno *et al.*, 2021). Selain itu, kandungan nitrogen total yang hanya mencapai 0,15% juga menunjukkan kekurangan unsur hara yang penting untuk pertumbuhan tanaman, terutama dalam pembentukan daun dan klorofil. N mempunyai peranan penting dalam pembentukan klorofil (Soepriyanto *et al.*, 2021).

Rasio C/N akan berpengaruh terhadap proses mineralisasi (Hidayanto *et al.*, 2025). Rasio C/N yang tercatat sebesar 7 menunjukkan kondisi yang optimal untuk mineralisasi cepat bahan organik, namun rendahnya kandungan bahan organik tersebut membatasi proses tersebut. Kandungan fosfor dalam tanah juga sangat rendah, baik yang diukur menggunakan metode Olsen (5,71 mg/kg) maupun Bray I (8,01 mg/kg), yang mengindikasikan kekurangan unsur ini, yang penting untuk perkembangan akar dan fotosintesis. Fungsi Fosfor adalah untuk membantu perkembangan akar dan fotosintesis (Amelia *et al.*, 2021). Meskipun kandungan kalium (61 mg/kg) dan sulfur (37 mg/kg) dalam tanah ini cukup baik, kekurangan unsur hara lainnya seperti kalsium (2 cmol(+)/kg) dan magnesium (<0,10 cmol(+)/kg) dapat membatasi pertumbuhan tanaman lada. Kalsium dan magnesium berperan penting dalam pembentukan dinding sel dan proses fotosintesis tanaman (Wang *et al.*, 2019).

Selain itu, kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah, yaitu 8,19 cmol (+)/kg, menunjukkan bahwa tanah ini tidak dapat menahan dan menyediakan unsur hara secara efektif, yang dapat menghambat penyerapan hara oleh tanaman lada. Kandungan aluminium yang dapat ditukar (0,57 cmol(+)/kg) juga cukup tinggi, yang dapat menimbulkan toksisitas jika pH tanah tidak diperbaiki.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa tanah pada lahan lada di Simpang Katis memiliki banyak kekurangan yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman lada. Oleh karena itu, pengelolaan tanah yang tepat sangat diperlukan, termasuk pengapuran untuk menaikkan pH tanah, penambahan bahan organik untuk meningkatkan kesuburan tanah, dan pemupukan berimbang untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman lada secara optimal. Pengaturan pemupukan dan pengapuran belum dilakukan sesuai dosis anjuran umum pemupukan, belum dilakukan pengukuran pH dan tidak diketahui status kesuburan tanah.

3.2 Pertumbuhan jumlah daun, lebar tajuk dan klorofil

Rata-rata jumlah daun per cabang tanaman lada pada enam kelompok pengamatan berada pada kisaran 92,92–112,67 helai, sedangkan lebar tajuknya berkisar antara 97,58–110,00 cm. Kelompok pertama memiliki jumlah daun terbanyak dengan rata-rata $112,67 \pm 4,62$ helai dan lebar tajuk $110,00 \pm 15,62$ cm, sedangkan kelompok kedua memiliki jumlah daun terendah yaitu 92,92

$\pm 24,06$ helai dengan lebar tajuk $97,58 \pm 13,78$ cm. Kelompok lainnya menunjukkan nilai rata-rata jumlah daun dan lebar tajuk yang relatif berdekatan, yakni sekitar 95–105 helai untuk jumlah daun dan 99–107 cm untuk lebar tajuk, meskipun terdapat variasi (SD) yang cukup besar pada beberapa kelompok ([Tabel 3](#)).

Table 3. Pengamatan peubah pertumbuhan lada jumlah daun dan lebar tajuk

Blok	Jumlah Daun per Cabang (helai) $\pm$ SD	Lebar Tajuk (cm) $\pm$ SD
1	112,67 $\pm$ 4,62	110,00 $\pm$ 15,62
2	92,92 $\pm$ 24,06	97,58 $\pm$ 13,78
3	94,75 $\pm$ 12,92	99,33 $\pm$ 16,77
4	105,00 $\pm$ 13,53	101,33 $\pm$ 2,08
5	100,42 $\pm$ 17,02	100,75 $\pm$ 14,51
6	99,92 $\pm$ 17,45	107,25 $\pm$ 8,38
Rata-rata	100,95	102,71

Pengukuran kadar klorofil A, klorofil B, dan total klorofil yang berasal dari 120 populasi yang dikelompokkan menjadi enam (6) blok.

Total klorofil merupakan akumulasi kandungan klorofil A dan B pada setiap sampel. Dari hasil pengukuran, kadar klorofil A cenderung lebih tinggi dibandingkan klorofil B pada sebagian besar sampel, menunjukkan dominasi klorofil A dalam proses fotosintesis tanaman lada di lokasi penelitian. Klorofil A dan B merupakan pigmen penting dalam fotosintesis yang berfungsi menangkap energi cahaya matahari untuk diubah menjadi energi kimia. Klorofil A memiliki peran utama dalam proses fotosintesis, sedangkan klorofil B berperan mendukung dengan menyerap cahaya pada spektrum yang berbeda ([Pareek, 2017](#)). [Tabel 4](#) menunjukkan total klorofil tercatat berkisar antara 21,5 mg/L hingga 25,2 mg/L, yang mengindikasikan adanya variasi kemampuan fotosintesis antarindividu tanaman. Klorofil pada dasarnya merupakan pigmen utama dalam fotosintesis, dan meskipun terdapat beberapa jenis klorofil dengan perbedaan struktur yang relatif kecil, hanya klorofil A yang berfungsi langsung sebagai katalis dalam reaksi fotosintesis, sementara klorofil lainnya berperan sebagai pigmen tambahan dalam penyerapan cahaya ([Pareek et al., 2017](#)).

Table 4. Data hasil pengamatan Klorofil A, Klorofil B dan Total Klorofil Tanaman Lada varietas Nelungkup umur 3 (tiga) tahun

Blok	Klorofil A (mg/L)	Klorofil B (mg/L)	Total Klorofil (mg/L)
1	17,18425	6,48414	23,66254
2	18,12435	7,12245	25,24680
3	16,56841	5,94021	22,50862
4	15,13045	6,32811	21,45856
5	17,29210	6,76701	24,05911
6	16,04860	6,20232	22,25092

Secara keseluruhan, data [Tabel 4](#) ini memberikan gambaran yang baik tentang kondisi fotosintesis tanaman lada di lokasi tersebut, yang berhubungan langsung dengan pertumbuhan tanaman dan kualitas daun. Kadar klorofil yang lebih tinggi pada beberapa sampel menunjukkan bahwa tanaman tersebut mampu melakukan fotosintesis lebih efisien, sementara tanaman dengan kadar klorofil lebih rendah mungkin menunjukkan tanda-tanda stres atau kekurangan unsur hara yang dibutuhkan untuk fotosintesis optimal. Hasil penelitian [Sonya et al. \(2023\)](#) menunjukkan kadar klorofil untuk tanaman lada, tanaman sehat memiliki kadar klorofil a sebesar 6,049 mg/l, kadar klorofil b sebesar 2,815 mg/l, dan klorofil total sebesar 8,865 mg/l. Tanaman sakit (menunjukkan gejala penyakit kuning) memiliki kadar klorofil a sebesar 1,466 mg/l, kadar klorofil b sebesar 1,400 mg/l, dan klorofil total sebesar 2,896 mg/l.

3.3 Nilai Regresi, Korelasi dan Koefisien determinasi peubah pertumbuhan

[Tabel 5](#) menunjukkan hubungan antara lebar tajuk dengan jumlah daun menghasilkan persamaan regresi $Y = 66,76 + 0,33X$ dengan koefisien korelasi sebesar 0,25. Nilai ini menunjukkan adanya hubungan positif yang lemah, di mana setiap penambahan lebar tajuk cenderung diikuti peningkatan jumlah daun, tetapi pengaruhnya relatif kecil. Koefisien determinasi sebesar 0,064 mengindikasikan bahwa hanya 6,4 persen variasi jumlah daun yang dapat dijelaskan oleh lebar tajuk, sedangkan sisanya dipengaruhi faktor lain.

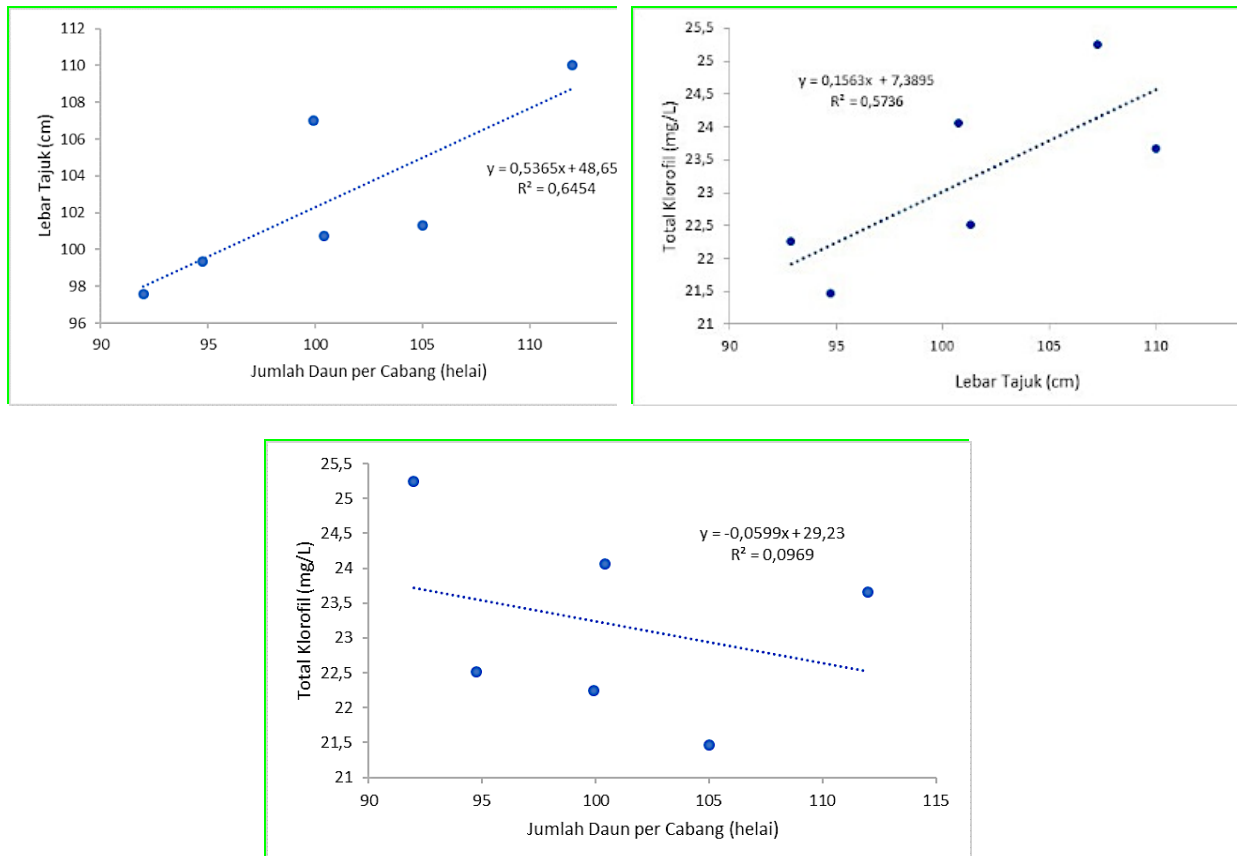
Table 5. Hasil Regresi, Korelasi, dan Koefisien Determinasi antar peubah lebar tajuk, jumlah daun rata-rata per cabang dan klorofil daun.

No.	Hubungan	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (r)	Koefisien Determinasi (R^2)
1	Lebar Tajuk (Diameter) vs Jumlah Daun	$(Y = 66,76 + 0,33X)$	0,25	0,064
2	Lebar Tajuk (Diameter) vs Total Klorofil	$(Y = -8,27 + 0,12X)$	0,58	0,331
3	Jumlah Daun vs Total Klorofil	$(Y = -8,27 + 0,12X)$	0,58	0,331

Sementara itu, hubungan antara lebar tajuk dengan total klorofil ditunjukkan oleh persamaan regresi $Y = -8,27 + 0,12X$ dengan nilai korelasi 0,58 yang termasuk kategori sedang, serta koefisien determinasi 0,331 atau 33,1 persen. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar lebar tajuk, semakin tinggi kandungan klorofil yang dimiliki tanaman lada. Hubungan antara jumlah daun dengan total klorofil menunjukkan hasil yang sama dengan persamaan $Y = -8,27 + 0,12X$, nilai korelasi 0,58, dan koefisien determinasi 0,331. Artinya, sekitar sepertiga variasi total klorofil dapat dijelaskan oleh jumlah daun, sedangkan dua pertiga sisanya dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak diteliti dalam penelitian ini.

[Gambar 1](#) memperlihatkan hubungan antara beberapa parameter pertumbuhan vegetatif lada dengan kandungan klorofil. Hubungan antara lebar tajuk dengan jumlah daun ditunjukkan oleh

persamaan $y = 0,5365x + 48,654$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6454, yang berarti hanya 6,4 persen variasi jumlah daun dapat dijelaskan oleh lebar tajuk. Hasil penelitian [Shuttleworth and Gurney \(1990\)](#) kanopi (*canopy*) dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor internal (daun) dan eksternal (substrat/tanah). Lebar tajuk dapat merupakan manifestasi hasil pertumbuhan, terutama pertumbuhan vegetatif. Daun sebagai faktor internal akan mendukung pertumbuhan lebar tajuk melalui aktivitas daun sebagai tempat fotosintesis.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara lebar tajuk dengan jumlah daun, lebar tajuk dengan kandungan klorofil, serta jumlah daun dengan kandungan klorofil pada tanaman lada.

Sementara itu, hubungan antara lebar tajuk dengan total klorofil menghasilkan persamaan $y = 0,1563x + 7,3895$ dengan nilai R^2 sebesar 0,5736 atau 57,3 persen, menunjukkan adanya pengaruh yang lebih kuat dibandingkan hubungan sebelumnya. Demikian pula, hubungan antara jumlah daun dengan total klorofil mengikuti persamaan $y = -0,0599x + 29,23$ yang sama dengan nilai R^2 sebesar 0,0969 atau 0,9 persen, yang mengindikasikan bahwa kurang dari satu persen variasi kandungan klorofil dapat dijelaskan oleh jumlah daun, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar penelitian ini. Adanya faktor internal (bentuk daun) dan eksternal (hara nitrogen) yang memengaruhi klorofil dinyatakan oleh ([Coops et al., 2003](#)).

Berdasarkan hasil analisis tanah ([Tabel 1](#) dan [Tabel 2](#)), pertumbuhan tanaman lada ([Tabel 3](#)) dan kandungan klorofil ([Tabel 4](#)), terlihat bahwa ada hubungan antara faktor eksternal berupa kondisi tanah dan internal tanaman (tajuk dan klorofil daun). Kandungan nitrogen yang rendah

(0,15%) diduga menjadi faktor pembatas utama, mengingat nitrogen berperan penting dalam pembentukan asam amino, protein, dan klorofil (Filstrup & Downing, 2017). Selain itu menurut Coops *et al.* (2003) terdapat Hubungan antara kandungan klorofil dan daun (atau kanopi) sangat bergantung pada ukuran dan bentuk daun (*size and shape*), permukaan daun (*leaf surface*), dan struktur internal daun (*internal structure*).

Kekurangan nitrogen dapat menurunkan luas daun dan kadar klorofil, sehingga mengurangi kapasitas fotosintesis tanaman. Selain itu, fosfor yang sangat rendah (5,71 mg/kg) menghambat perkembangan akar dan pembentukan jaringan daun, padahal fosfor diperlukan dalam metabolisme energi (ATP) dan proses fotosintesis (Rychter & Rao, 2005). Meskipun kalium tersedia pada kadar cukup (61 mg/kg), unsur ini tetap krusial dalam regulasi osmotik, stabilitas membran sel, serta aktivasi enzim yang berhubungan dengan fotosintesis (Marschner, 2012). Kekurangan kalium akan berdampak pada penurunan efisiensi fotosintesis dan akumulasi klorofil. Demikian pula, kalsium dan magnesium yang rendah membatasi pertumbuhan karena kalsium berperan dalam pembentukan dinding sel, sedangkan magnesium merupakan unsur inti klorofil yang mutlak dibutuhkan dalam fotosintesis (Mengel & Kirkby, 2001).

Kondisi pH tanah yang sangat asam (pH H₂O 4,9) juga menjadi kendala penting. Tanah masam menurunkan ketersediaan fosfor dan meningkatkan kelarutan aluminium (Al³⁺), yang bersifat toksik terhadap akar tanaman (Prasetyo & Suriadikarta, 2006). Selain itu, karakter tanah berpasir dengan proporsi 66,13% menyebabkan kemampuan tanah menyimpan air dan hara sangat rendah, sehingga memperbesar risiko cekaman kekeringan dan defisiensi nutrisi (Weil & Brady, 2017). Nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah (8,19 cmol(+)/kg) semakin memperburuk keadaan, karena tanah tidak mampu menahan kation hara dalam jumlah yang memadai. Harefa and Zebua (2024) menyatakan peran kapasitas tukar kation (KTK) dalam menjaga kesuburan tanah terletak pada kemampuannya menyerap dan menukar kation esensial yang dibutuhkan tanaman, di mana besar kecilnya kemampuan tersebut sangat bergantung pada jenis mineral liat dan kandungan bahan organik dalam tanah.

Selain faktor tanah, pertumbuhan lada juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya yang kurang optimal, serta praktik pengelolaan lahan, termasuk pemupukan dan irigasi. Kombinasi faktor edafik dan iklim tersebut berkontribusi terhadap rendahnya pertumbuhan vegetatif dan kadar klorofil pada tanaman (Ali *et al.*, 2020), hal ini diduga sejalan dengan penemuan pada tanaman lada di lokasi penelitian. Oleh karena itu, upaya perbaikan kesuburan tanah melalui pengapuran, penambahan bahan organik, dan pemupukan berimbang sangat diperlukan untuk mendukung produktivitas lada di lahan pasir berdebu.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan tanah bertekstur pasir berlempung dengan sifat kimia tanah yang belum optimal sebgaiian besar (pH KCl sebesar 4,2 kandungan C-organik = 1,07%, N-Total=0,15%, P₂O₅ Tersedia (Bray I)=8,01 mg/kg, Ca²⁺ Dapat Ditukar =2 cmol(+)/kg, Ca²⁺ Dapat Ditukar 2 cmol(+)/kg, Mg²⁺ Dapat Ditukar =<0,10 cmol(+)/kg dan KTK=8,19 cmol(+)/kg) dalam kategori rendah, tetapi kondisi C/N rasio dan K menunjukkan adanya potensi penyediaan hara cepat, dan belum terlihat gangguan pada klorofil daun. Analisis statistik mengindikasikan hubungan yang lemah antara lebar tajuk dan jumlah daun ($R^2 = 0,064$) dan hubungan sedang antara jumlah daun dan lebar tajuk dengan kandungan klorofil ($R^2 = 0,331$). Klorofil dipengaruhi factor internal dan eksternal, sehingga meskipun masih lemah, temuan ini mengindikasikan potensi hubungan positif antara kondisi tanah dan pertumbuhan vegetatif yang disupprot oleh klorofil, sehingga strategi pengelolaan tanah seperti pengapuran (*liming*), penambahan bahan organik, dan pemupukan berimbang diperlukan untuk meningkatkan produktivitas.

Singkatan yang Digunakan

Tidak ada singkatan yang digunakan.

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Irman: kurasi data, persiapan, investigasi, sumber daya, dan penulisan draf awal. **Nyayu Siti Khodijah:** investigasi, kurasi data, dan sumber daya, pengawasan, sumber daya, konseptualisasi, dan metodologi. **Maera Zasari:** pengawasan, konseptualisasi, dan sumber daya.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan finansial yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi penelitian dalam naskah ini.

Ucapan Terima Kasih

Tulisan digunakan sebagai syarat lulus dari Program Studi S2 Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan Universitas Bangka Belitung. Terimakasih disampaikan kepada dosen Pembimbing, Pembahas, ketua Program Studi dan Staf Program Studi, Laboran Agroteknologi dan Kebun Percobaan yang sudah memberikan bantuan moril dan administrasi terhadap selesainya penelitian ini.

Daftar Pustaka

Ali, A., Sanaei, A., Li, M., Nalivan, O. A., Ahmadaali, K., Pour, M. J., ... & Askari, Y. (2020). Impacts of climatic and edaphic factors on the diversity, structure and biomass of species-poor and structurally-complex forests. *Science of the Total Environment*, 706, 135719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135719>

- Amelia, E., Setyawati, E. R., & Putra, D. P. (2021). Pengaruh pemberian pupuk fosfor dan dolomit terhadap pertumbuhan legum *Mucuna bracteata*. *Jurnal Agromast*, 6(2). <http://journal.instiperjogja.ac.id/index.php/JAI/article/view/993/945>
- Asrida, A. (2020). *Karakteristik dan klasifikasi tanah pada area perkebunan tanaman lada di Kabupaten Luwu Timur Sulawesi Selatan* (Doctoral dissertation). Universitas Hasanuddin Institutional epository. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/3511/>
- Coops, N. C., Stone, C., Culvenor, D. S., Chisholm, L. A., & Merton, R. N. (2003). Chlorophyll content in eucalypt vegetation at the leaf and canopy scales as derived from high resolution spectral data. *Tree Physiology*, 23. <https://academic.oup.com/treephys/article-abstract/23/1/23/1728258>
- Danuartha, D., Santi, R., Pratama, D., & Setiawan, F. (2023). Evaluasi Kesesuaian Lahan Tanaman Lada di Kabupaten Bangka Selatan. *Agrisaintifika*, 7(2), 53–65. <https://journal.univetbantara.ac.id/index.php/agrisaintifika/article/view/4348>
- Daras, U., Tjahjana, B. E. & Herwan. (2012). Status Hara Tanaman Lada Bangka Belitung. *Buletin RISTRI*, 3(1), 23–32. <https://media.neliti.com/media/publications/133555-ID-status-hara-tanaman-lada-bangka-belitung.pdf>
- Darma, B. (2021). *Statistika penelitian menggunakan SPSS (Uji validitas, uji reliabilitas, regresi linier sederhana, regresi linier berganda, uji t, uji F, R²)*. Guepedia. https://books.google.co.id/books/about/STATISTIKA_PENELITIAN_MENGGUNAKAN_SPSS_U.html?id=acpLEAAQBAJ&redir_esc=y
- Farrasati, R., Pradiko, I., Rahutomo, S., Sutarta, E. S., Santoso, H., & Hidayat, F. (2019). C-organik tanah di perkebunan kelapa sawit Sumatera Utara: Status dan hubungan dengan beberapa sifat kimia tanah. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43(2), 157–165. <https://doi.org/10.21082/jti.v43n2.2019.157-165>
<https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/jti/article/view/3244>
- Fatmawaty, A. A., Nurmawuliy, Susiyanti, & Sodik, A. H. (2024). Pengaruh intensitas cahaya terhadap jumlah klorofil dan laju fotosintesis pada berbagai usia bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Agroekoteknologi*, 16(2), 88–98. <https://doi.org/10.21107/agroekoteknologi.v16i2.20166>
<https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jav/article/view/22363>
- Filstrup, C. T., & Downing, J. A. (2017). Relationship of chlorophyll to phosphorus and nitrogen in nutrient-rich lakes. *Inland Waters*, 7(4), 385-400. <https://doi.org/10.1080/20442041.2017.1375176>
- Harefa, D. F. C., & Zebua, M. (2024). Peran Kapasitas Tukar Kation Dalam Mempertahankan Kesuburan Tanah Pada Berbagai Jenis Tekstur Tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 1(1), 165-170. <https://sihojournal.com/index.php/penarik/article/view/88>
- Hidayanto, F., Purnamasari, R. T., Utami, S. W., & Handayani, M. (2025). Perbandingan Proses Mineralisasi Karbon dan Nitrogen serta Humifikasi Pada Sistem Pertanian yang Berbeda di Tanah Andisol. *Acta Solum*, 3(3), 117-124. <https://jtam.ulm.ac.id/index.php/actasolum/article/view/3128>
- Irman, Khodijah, N. S., Inonu, I., Muntoro, & Setiawan, I. (2024). Visual Daun dan Identifikasi Hara Mikro pada Tanaman Lada dengan Kriteria Pertumbuhan Baik. *Journal Galung Tropika*, 13(1), 27-34. <https://jurnalpertanianumpar.com/index.php/jgt/article/view/1162>
- Khodijah, N. S., Muntoro, Setiawan, I., Nabila, Irman, & Vania. (2024). NPK Nutrient Status In Soil and Leaves Of *Piper nigrum* L Under Different Growth Criteria. *Biodivers*, 3(1), 37–43. <https://doi.org/10.56060/bdv.2024.3.1.2167>
- Kurniawati, A., Aini, S. N., Khodijah, N. S., & Gusta, A. R. (2024). Enhancing agroecology in pepper (*Piper nigrum* L.) cultivation with *Centrosema pubescens* ground cover: A study from Central Bangka, Indonesia. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 39(2), 451–464. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v39i2.90003>
- 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.
- Nopriani, L. S., Hanuf, A. A., & Albarki, G. K. (2023). *Pengelolaan keasaman tanah dan pengapuran*. Universitas Brawijaya Press. https://books.google.co.id/books/about/Pengelolaan_Keasaman_Tanah_dan_Pengapura.html?id=-CO2EAAAQBAJ&redir_esc=y
- Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., Kumar, V., Agarwal, T., González-Aguilar, G. A., & Yahia, E. M. (2017). Chlorophylls: Chemistry and biological functions. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health, 2nd Edition*, 269-284. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119158042.ch14>
- Prasetyo, B. H., & Suriadikarta, D. A. (2006). Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), 39–47. <https://www.semanticscholar.org/paper/KARAKTERISTIK%2C-POTENSI%2C-DAN-TEKNOLOGI-PENGELOLAAN-Tanah/25e676313de428a708662347af41d367674951a1>
- Riani, N. (2023). Daya Saing Komoditas Lada Di Indonesia Tahun 2018-2022. *Margin: Jurnal Bisnis Islam dan Perbankan Syariah*, 2(2), 115-129. <https://journal.staimaarifkalirejo.ac.id/index.php/margin/article/view/98/72>
- Rychter, A. M., & Rao, I. M. (2005). 7 Role of phosphorus in photosynthetic carbon metabolism. *Handbook of photosynthesis*, 2, 123-148. https://www.researchgate.net/publication/266213987_7_Role_of_Phosphorus_in_Photosynthetic_Carbon_Metabolism
- Shuttleworth, W. J., & Gurney, R. J. (1990). The theoretical relationship between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 116(492), 497-519. <https://doi.org/10.1002/qj.49711649213>
- Soemarno, Ifadah, N. F., Syarof, Z. N., Al Jauhary, M. R., & Musyaffa, H. J. (2021). *Dasar-dasar manajemen kesuburan tanah*. Universitas Brawijaya Press. https://books.google.co.id/books/about/Dasar_Dasar_Manajemen_Kesuburan_Tanah.html?id=DvxLEAAAQBAJ&redir_esc=y
- Soepriyanto, S., Sulistyawati, S., & Purnamasari, R. T. (2021). Pengaruh pemberian berbagai jenis pupuk nitrogen terhadap jumlah klorofil daun kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, 5(1), 23-31. <https://jamp-jurnal.unmerpas.ac.id/index.php/jamppertanian/article/view/54>
- Sonya, P., Robika, & Ropalia. (2023). Perbandingan Struktur Anatomi dan Kadar Klorofil antara Daun Terinfeksi dan Tidak Terinfeksi Penyakit Kuning pada Tanaman Lada. *Jurnal Agrikultura*, 34(1), 58–65. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v34i1.42182>
- Suharja, S., & Sutarno, S. (2009). Biomassa, kandungan klorofil dan nitrogen daun dua varietas cabai (*Capsicum annum*) pada berbagai perlakuan pemupukan. *Asian Journal of Tropical Biotechnology*, 6(1), 9–16. <https://smujo.id/bbs/article/download/1546/1493>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates. <https://biologywala.com/wp-content/uploads/2021/06/compressed-6th-ed.-Plant-Physiology-by-Lincoln-Taiz-Eduardo-Zeiger-biologywala.com-compressed.pdf>
- Van, L. N., Herrmann, L., Le Dinh, T., Van, C. N., Van, L. N., Enez, A., & Lesueur, D. (2025). Liming effect on soil chemical and biological properties, pests and diseases, and crop yields in robusta coffee and black pepper in Vietnam. *Soil Research*, 63(3), 213–225. <https://doi.org/10.1071/SR24143>
- Wang, Q., Yang, S., Wan, S., & Li, X. (2019). The significance of calcium in photosynthesis. *International journal of molecular sciences*, 20(6), 1353. <https://doi.org/10.3390/ijms20061353>

- Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
https://www.researchgate.net/profile/Raymond-Weil/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition/links/570bda8808aea660813b16f6/The-Nature-and-Properties-of-Soils-15th-edition.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Zega, N. D. (2024). Pengaruh tekstur dan struktur tanah terhadap distribusi air dan udara di profil tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 1(2), 1-6.
<https://doi.org/10.70134/penarik.v1i2.52>
<https://sihojurnal.com/index.php/penarik/article/view/52>
- Zhiddiq, S., Badwi, N., & Haeril, A. K. A. (2021). Evaluation of land suitability for pepper plants (*Piper nigrum* Linn) in Kindang District, Bulukumba Regency. *LaGeografia: Jurnal Program Studi Pendidikan Geografi*, 20(1).
<https://doi.org/10.35580/lageografia.v20i1.23084>