

ANALISIS DISTRIBUSI KLOROFIL, NITROGEN, DAN KARAKTERISTIK DAUN SALAK SIDIMPUAN (*Salacca sumatrana* Becc.) BERDASARKAN POSISI DAUN DI KECAMATAN ANGKOLA BARAT

Jumaria Nasution¹, Suswati², Syahbudin Hasibuan³

^{1,2,3} Universitas Medan Area, Sumatera Utara

(ros.jumaria@gmail.com¹, suswati@staff.uma.ac.id²,

syahbudin@staff.uma.ac.id³)

Abstrak

Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) merupakan komoditas hortikultura unggulan kawasan Tapanuli yang umumnya dibudidayakan pada sistem agroforestri alami di bawah naungan tegakan pohon. Kandungan klorofil dan nitrogen daun merupakan indikator penting kapasitas fotosintesis dan status hara tanaman, dan nilainya dapat bervariasi menurut posisi daun. Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi klorofil, nitrogen, dan karakteristik morfologi daun salak Sidimpuan berdasarkan posisi daun (pangkal, tengah, dan ujung) pada tiga desa dengan ketinggian berbeda, yaitu Desa Sibakua (± 674 m dpl), Hutakoje (± 550 m dpl), dan Sigumuru (± 470 m dpl), Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara. Sebanyak 20 tanaman sampel diambil secara purposif sampling pada setiap lokasi. Nilai klorofil dan nitrogen diukur menggunakan SPAD pada tiga posisi daun, sedangkan luas daun dihitung dengan rumus $L = p \times l \times k$ ($k = 0,7$). Data dianalisis dengan analisis ragam dua arah dilanjutkan uji jarak berganda Duncan. Lokasi dan posisi daun berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap nilai klorofil dan nitrogen, tanpa interaksi yang nyata. Klorofil dan nitrogen tertinggi ditemukan pada pangkal daun dan menurun ke arah ujung, serta tertinggi di Sigumuru dan terendah di Hutakoje. Sebaliknya, luas daun terbesar dijumpai di Hutakoje. Pangkal daun direkomendasikan sebagai posisi pengukuran yang paling representatif bagi status klorofil dan nitrogen tanaman salak Sidimpuan.

Kata Kunci: karakteristik daun; klorofil; nitrogen; salacca Sumatera

Abstract

*Sidimpuan salak (*Salacca sumatrana* Becc.) is a leading horticultural commodity in the Tapanuli region and is commonly cultivated under natural agroforestry systems beneath tree canopies. Leaf chlorophyll and nitrogen contents are important indicators of photosynthetic capacity and plant nutritional status, and their values may vary according to leaf position. This study aimed to analyze the distribution of chlorophyll, nitrogen, and leaf morphological characteristics of Sidimpuan salak based on leaf position (basal, middle, and apical) across three villages at different elevations, namely Sibakua Village (approximately 674 m above sea level), Hutakoje Village (approximately 550 m above sea level), and Sigumuru Village (approximately 470 m above sea level) in South Tapanuli Regency, North Sumatra, Indonesia. A total of 20 sample plants were selected from each location using*



purposive sampling. Chlorophyll and nitrogen contents were measured using a SPAD meter at the three leaf positions, while leaf area was calculated using the formula $L = l \times w \times k$ ($k = 0.7$), where l represents leaf length and w represents leaf width. The data were analyzed using two-way analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT). Location and leaf position had highly significant effects ($p < 0.01$) on chlorophyll and nitrogen contents, whereas their interaction was not significant. The highest chlorophyll and nitrogen contents were observed at the basal leaf position and gradually decreased toward the leaf apex. Among the study locations, the highest chlorophyll and nitrogen contents were recorded in Sigumuru, while the lowest values were found in Hutakoje. In contrast, the largest leaf area was observed in Hutakoje. The basal leaf position is therefore recommended as the most representative sampling position for assessing the chlorophyll and nitrogen status of Sidimpuan salak plants.

Keywords: chlorophyll; leaf characteristics; nitrogen; *Salacca sumatrana*

A. Pendahuluan

Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) merupakan salah satu komoditas hortikultura endemik Sumatera Utara yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta berperan penting dalam meningkatkan pendapatan masyarakat di Kabupaten Tapanuli Selatan. Produktivitas dan kualitas buah salak dipengaruhi oleh kemampuan tanaman dalam melakukan proses fotosintesis yang berlangsung pada daun sebagai organ utama penghasil fotosintat. Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) merupakan. Keberhasilan budidaya salak tidak hanya ditentukan oleh faktor genetik, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi fisiologis tanaman yang berkaitan erat dengan kemampuan daun dalam mengintersepsi cahaya dan melakukan fotosintesis. Daun sebagai organ fotosintetik utama mengandung klorofil yang berfungsi menangkap energi cahaya sehingga kandungan klorofil sering digunakan sebagai indikator kapasitas

fotosintesis, pertumbuhan vegetatif, dan status hara tanaman (Rai et al., 2021). Oleh karena itu, evaluasi terhadap karakteristik morfologi dan fisiologi daun menjadi aspek penting dalam mendukung pengelolaan budidaya yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Daun merupakan organ utama tempat berlangsungnya fotosintesis, dan kandungan klorofil serta nitrogen daun merupakan indikator penting kapasitas fotosintesis dan status hara tanaman. Nilai kedua parameter ini tidak selalu seragam, melainkan dapat bervariasi menurut posisi daun pada tajuk maupun posisi pengukuran di sepanjang helaian, sehingga pemilihan titik pengukuran yang representatif menjadi penting agar estimasi status fisiologis tanaman menjadi akurat. Daun merupakan organ utama tempat berlangsungnya fotosintesis sekaligus lokasi akumulasi klorofil yang berperan dalam penyerapan energi cahaya. Kandungan klorofil pada daun berkaitan

erat dengan kemampuan fotosintesis tanaman sehingga sering digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi kondisi fisiologis tanaman.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengukur kandungan klorofil secara cepat dan tidak merusak adalah Soil Plant Analysis Development (SPAD) chlorophyll meter. Alat ini mengukur transmitansi cahaya merah dan inframerah dekat (near infrared) pada daun untuk menghasilkan nilai SPAD yang berkorelasi dengan kandungan klorofil. Meskipun demikian, hubungan antara nilai SPAD dan kandungan klorofil dapat dipengaruhi oleh karakteristik daun, seperti spesies, umur, ketebalan daun, dan posisi pengukuran pada helaian daun, sehingga diperlukan prosedur pengambilan sampel yang representatif agar hasil pengukuran lebih akurat (Uddling et al., 2007).

Selain berkaitan dengan kandungan klorofil, nilai SPAD juga banyak dimanfaatkan sebagai indikator tidak langsung status nitrogen tanaman. Hal ini disebabkan sebagian besar nitrogen di dalam daun terdapat pada komponen fotosintesis, termasuk klorofil dan protein yang berperan dalam proses penangkapan serta konversi energi cahaya. Padilla et al. menjelaskan bahwa sensor optik proksimal, termasuk SPAD chlorophyll meter, mampu memberikan estimasi status nitrogen tanaman secara cepat, tidak destruktif, dan praktis sehingga banyak

digunakan dalam pengelolaan pemupukan berbasis pertanian presisi. Akan tetapi, akurasi estimasi nitrogen dipengaruhi oleh teknik pengambilan sampel, umur daun, posisi daun pada tajuk, dan spesies tanaman. Oleh karena itu, penentuan posisi daun yang representatif menjadi aspek penting agar nilai SPAD dapat mencerminkan kandungan klorofil dan status nitrogen tanaman secara lebih akurat serta mendukung pengelolaan hara yang efisien dan berkelanjutan (Padilla et al., 2018).

Pada tanaman salak Sidimpuan, setiap posisi daun memiliki tingkat perkembangan fisiologis yang berbeda sehingga diduga memengaruhi distribusi panjang, lebar, dan luas daun, serta kandungan klorofil dan nitrogen. Namun, informasi mengenai distribusi karakteristik morfologi daun, kandungan klorofil yang diukur menggunakan SPAD, serta kandungan nitrogen berdasarkan posisi daun pada salak Sidimpuan di Kecamatan Angkola Barat masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi klorofil, nitrogen, serta karakteristik daun salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) berdasarkan posisi daun di Kecamatan Angkola Barat sebagai dasar dalam menentukan daun representatif untuk analisis status hara dan mendukung pengelolaan budidaya yang lebih efisien.

1. Kerangka Teori



1.1 Karakteristik Morfologi Daun dan Intersepsi Cahaya

Karakteristik morfologi daun, seperti panjang daun, lebar daun, dan luas daun, merupakan parameter yang berkaitan erat dengan kemampuan tanaman mengintersepsi radiasi matahari. Daun dengan luas permukaan yang lebih besar umumnya memiliki kapasitas penyerapan cahaya yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis dan akumulasi biomassa tanaman. Selain dipengaruhi oleh faktor genetik, karakteristik daun juga dipengaruhi oleh umur daun, posisi daun pada tajuk, serta kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh. Perbedaan posisi daun menyebabkan variasi intensitas cahaya yang diterima sehingga memengaruhi perkembangan morfologi dan aktivitas fisiologis daun (Duan et al., 2023).

1.2 Distribusi Klorofil dan Nitrogen pada Helaian Daun

Selain karakteristik morfologi, nilai klorofil dan nitrogen pada satu helaian daun tidak terdistribusi secara merata, melainkan bervariasi menurut posisi pengukuran mulai dari pangkal, tengah, hingga ujung daun. Variasi ini berpotensi memengaruhi akurasi penentuan titik pengukuran yang representatif. Tan et al. (2021) menunjukkan bahwa nilai SPAD bervariasi di sepanjang helaian daun sehingga posisi pengukuran berpengaruh

terhadap akurasi pendugaan kandungan klorofil dan nitrogen, sementara Zhang et al. (2022) menegaskan bahwa karakteristik daun dan faktor lingkungan turut memengaruhi hubungan antara pembacaan alat dan kandungan klorofil serta nitrogen.

Kandungan klorofil mencerminkan kondisi fisiologis tanaman dan sering digunakan sebagai indikator kesehatan tanaman serta produktivitas potensial. Klorofil merupakan parameter biokimia yang penting dalam pemantauan pertumbuhan tanaman karena berkaitan langsung dengan aktivitas fotosintesis, proses fisiologis, dan respons tanaman terhadap perubahan lingkungan.

1.3 Pengukuran Klorofil dengan SPAD

Pengukuran kandungan klorofil saat ini banyak dilakukan menggunakan Soil Plant Analysis Development (SPAD) karena metode ini bersifat cepat, praktis, tidak merusak jaringan tanaman, serta mampu memberikan estimasi kandungan klorofil secara langsung di lapangan. Nilai SPAD mempunyai hubungan yang sangat kuat dengan kandungan klorofil yang diukur menggunakan metode spektrofotometri (Kautsar et al., 2024) sehingga dapat digunakan sebagai metode non-destruktif yang andal dalam mengevaluasi status fisiologis tanaman. Selain berkaitan dengan kandungan klorofil, nilai SPAD juga berkorelasi

dengan kandungan pigmen fotosintetik dan nitrogen daun (Wicharuck et al., 2024).

Keakuratan pengukuran menggunakan SPAD dipengaruhi oleh karakteristik daun dan jenis tanaman. Lhotáková et al. (2025) menjelaskan bahwa alat SPAD memberikan estimasi kandungan klorofil yang sangat baik pada daun bertipe lamina, namun kalibrasi spesifik spesies tetap diperlukan untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran. Oleh karena itu, penggunaan SPAD pada tanaman salak memerlukan informasi mengenai distribusi klorofil berdasarkan posisi daun sehingga interpretasi hasil pengukuran menjadi lebih tepat.

1.4 Nitrogen dan Hubungannya dengan Nilai SPAD

Nitrogen merupakan unsur hara makro yang berperan penting dalam pembentukan klorofil, protein, enzim, dan berbagai senyawa metabolisme yang mendukung proses fotosintesis. Kekurangan nitrogen menyebabkan penurunan sintesis klorofil sehingga daun mengalami klorosis, penurunan luas daun, serta berkurangnya laju fotosintesis. Wang et al. (2022) menjelaskan bahwa nilai SPAD memiliki hubungan yang erat dengan kandungan nitrogen daun sehingga dapat digunakan sebagai indikator cepat dalam diagnosis status nitrogen tanaman dan sebagai dasar pengelolaan pemupukan yang lebih efisien.

Hubungan antara kandungan nitrogen dan nilai SPAD juga telah dibuktikan oleh Behera et al. (2022) yang menunjukkan bahwa peningkatan ketersediaan nitrogen mampu meningkatkan kandungan klorofil serta nilai SPAD secara nyata. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai SPAD dapat digunakan sebagai indikator tidak langsung untuk mengestimasi kandungan klorofil maupun status nitrogen daun pada berbagai fase pertumbuhan tanaman.

Pengelolaan nitrogen secara presisi melalui pemanfaatan pengukuran SPAD menjadi salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan produktivitas tanaman. Ali et al. (2024) menyatakan bahwa chlorophyll meter, termasuk SPAD, merupakan teknologi yang efektif dalam menentukan kebutuhan nitrogen secara spesifik lokasi sehingga mampu meningkatkan efisiensi pemupukan sekaligus mengurangi kehilangan nitrogen ke lingkungan. Sejalan dengan itu, Fernandes et al. (2021) menunjukkan bahwa pengelolaan nitrogen berbasis pembacaan klorofilmeter (SPAD) mampu menurunkan dosis pupuk nitrogen secara nyata tanpa menurunkan hasil, sehingga mendukung penerapan pemupukan presisi.

B. Metode Penelitian

1. Waktu dan Lokasi Penelitian



Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2026 di tiga lokasi pertanaman salak Sidimpuan pada sistem agroforestri alami di Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara, yaitu Desa Sibakua (1°25'12" LU; 99°11'23" BT; ±674 m dpl), Desa Hutakoje (1°24'32" LU; 99°12'46" BT; ±550 m dpl), dan Desa Sigumuru (1°23'54" LU; 99°10'48" BT; ±470 m dpl)

2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi klorofilmeter portabel yang secara simultan menampilkan nilai klorofil (unit SPAD) dan pendugaan kandungan nitrogen daun, penggaris/meteran untuk mengukur panjang dan lebar daun, alat penentu titik koordinat dan ketinggian tempat berbasis Global Positioning System (GPS), alat tulis, dan kamera. Bahan utama adalah daun tanaman salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) yang berasal dari pertanaman pada ketiga lokasi.

3. Pengambilan Sampel

Penentuan tanaman sampel dilakukan secara purposif (purposive sampling) dengan kriteria tanaman sehat, telah berproduksi, dan relatif seragam umurnya. Pada setiap lokasi dipilih 20 tanaman sampel sehingga seluruhnya berjumlah 60 tanaman. Pada masing-masing tanaman dipilih satu pelepah daun yang telah membuka sempurna (daun ke-3 sampai ke-4 dari pucuk) sebagai unit pengamatan.

4. Pengukuran Klorofil dan Nitrogen Daun

Nilai klorofil dan kandungan nitrogen diukur secara tidak merusak menggunakan klorofilmeter pada tiga posisi daun di sepanjang pelepah, yaitu posisi pangkal (dekat batang, $\approx 0\%$ dari pangkal), tengah ($\approx 50\%$), dan ujung ($\approx 100\%$ menuju ujung pelepah). Pada setiap posisi, pengukuran dilakukan pada bagian tengah helaian anak daun dan nilai yang dicatat merupakan rerata tiga kali ulangan pembacaan. Pengukuran dilakukan pada kondisi cuaca cerah pada pagi hingga siang hari untuk meminimalkan pengaruh fluktuasi cahaya.

5. Pengukuran Karakteristik Morfologi Daun

Karakteristik morfologi daun yang diamati meliputi panjang (p), lebar (l), dan luas daun. Panjang dan lebar diukur menggunakan meteran (cm). Luas daun (LD) dihitung dengan pendekatan rumus faktor koreksi sebagai berikut:

$$LD = p \times l \times k \quad (1)$$

dengan LD = luas daun (cm²), p = panjang daun (cm), l = lebar daun (cm), dan k = faktor koreksi bentuk daun sebesar 0,7. Pengukuran dilakukan pada 20 daun pada setiap lokasi.

6. Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif (rerata $\pm$ simpangan baku) serta dengan analisis ragam (ANOVA). Pengaruh lokasi

(ketinggian tempat) dan posisi daun beserta interaksinya terhadap nilai klorofil dan nitrogen diuji dengan ANOVA dua arah, sedangkan pengaruh lokasi terhadap karakteristik morfologi daun diuji dengan ANOVA satu arah, pada taraf nyata 5%. Apabila terdapat pengaruh nyata, dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan (DMRT). Pola distribusi klorofil dan nitrogen sepanjang posisi daun digambarkan terhadap jarak proporsional dari pangkal daun. Seluruh analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak statistika.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Distribusi Klorofil dan Nitrogen Daun

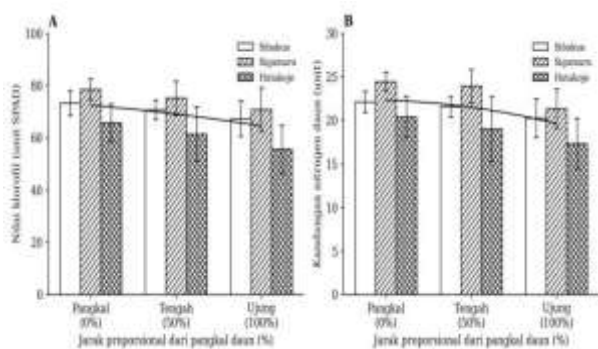
Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa lokasi dan posisi daun berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap nilai klorofil dan kandungan nitrogen daun, sedangkan interaksi keduanya tidak nyata ($p > 0,05$) (Tabel 1, Tabel 2). Nilai klorofil dan nitrogen tertinggi konsisten ditemukan pada bagian pangkal daun dan menurun secara berurutan menuju bagian tengah dan ujung daun (Gambar 1). Rerata nilai klorofil menurut posisi adalah pangkal 72,32 (a), tengah 69,07 (b), dan ujung 64,48 (c) unit SPAD, sementara kandungan nitrogen berturut-turut 22,32 (a), 21,49 (a), dan 19,63 (b) unit. Hasil pada Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa kandungan klorofil dan nitrogen daun salak Sidimpuan cenderung menurun dari pangkal menuju ujung daun pada seluruh lokasi penelitian.

Pola tersebut mengindikasikan adanya perbedaan aktivitas fisiologis sepanjang helaian daun yang berkaitan dengan tingkat kematangan jaringan dan distribusi nitrogen sebagai penyusun utama molekul klorofil. Selain itu, tingginya kandungan klorofil dan nitrogen di Sigumuru dibandingkan lokasi lainnya menunjukkan bahwa kondisi agroekologi, seperti intensitas cahaya, kesuburan tanah, dan ketersediaan air, lebih berperan dalam menentukan status fisiologis daun dibandingkan ketinggian tempat secara langsung. Temuan ini memperkuat bahwa variasi kandungan klorofil merupakan hasil interaksi antara faktor genetik dan lingkungan, sehingga interpretasi nilai SPAD perlu mempertimbangkan kondisi tumbuh tanaman secara menyeluruh. Hasil serupa juga dilaporkan pada berbagai tanaman perkebunan dan hortikultura, di mana distribusi klorofil dan nitrogen dipengaruhi oleh umur daun, posisi daun, serta kondisi lingkungan yang menentukan efisiensi fotosintesis dan produktivitas tanaman (Foyer et al., 2023).

Antarlokasi, nilai klorofil dan nitrogen tertinggi diperoleh di Sigumuru (klorofil 74,72 unit SPAD; nitrogen 23,23 unit), diikuti Sibakua (70,42; 21,29), dan terendah di Hutakoje (60,86; 18,90); ketiganya berbeda nyata satu sama lain. Dengan demikian, urutan kandungan klorofil dan nitrogen antarlokasi tidak mengikuti gradien ketinggian tempat secara linear.

Tabel 1. Rerata ($\pm$ simpangan baku) nilai klorofil dan kandungan nitrogen daun salak Sidimpuan pada tiga lokasi dan tiga posisi daun

Lokasi	Posisi daun	Klorofil (unit SPAD)	Nitrogen daun (unit)
Sibakua	Pangkal	73,19 $\pm$ 4,77	22,12 $\pm$ 1,21
	Tengah	70,66 $\pm$ 3,63	21,56 $\pm$ 1,14
	Ujung	67,25 $\pm$ 6,74	20,24 $\pm$ 2,21
Sigumuru	Pangkal	78,41 $\pm$ 4,13	24,43 $\pm$ 1,10
	Tengah	75,17 $\pm$ 6,51	23,93 $\pm$ 1,93
	Ujung	70,77 $\pm$ 8,46	21,32 $\pm$ 2,23
Hutakoje	Pangkal	65,66 $\pm$ 7,34	20,39 $\pm$ 2,34
	Tengah	61,38 $\pm$ 10,38	18,98 $\pm$ 3,71
	Ujung	55,55 $\pm$ 9,25	17,32 $\pm$ 2,89



Gambar 1. Distribusi nilai klorofil (A) dan kandungan nitrogen daun (B) salak Sidimpuan menurut posisi daun (jarak proporsional dari pangkal daun) pada tiga lokasi desa di Kecamatan Angkola Barat. Batang galat menunjukkan simpangan baku.

Penurunan kandungan klorofil dan nitrogen dari pangkal menuju ujung daun menunjukkan adanya redistribusi nitrogen dan perbedaan tingkat kematangan jaringan daun. Fenomena ini telah banyak dilaporkan pada berbagai spesies tanaman, di mana bagian daun yang lebih matang

umumnya memiliki kandungan nitrogen dan aktivitas fotosintesis lebih tinggi dibandingkan bagian daun yang lebih muda (Niinemets, 2022). Konsistensi pola distribusi klorofil pada ketiga lokasi mengindikasikan bahwa karakter fisiologis daun memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan variasi lingkungan terhadap pola distribusi internal klorofil. Oleh karena itu, penggunaan posisi pangkal daun sebagai titik pengukuran SPAD merupakan pendekatan yang lebih representatif untuk mengevaluasi status nitrogen tanaman pada berbagai kondisi agroekologi (He et al., 2024)

Tabel 2. Ringkasan analisis ragam dua arah pengaruh lokasi dan posisi daun terhadap klorofil dan nitrogen daun

Sumber keragaman	Db	F (klorofil)	p (klorofil)	F (nitrogen)	p (nitrogen)
Lokasi	2	55,51	< 0,001	53,07	< 0,001
Posisi daun	2	16,94	< 0,001	21,28	< 0,001
Lokasi $\times$ posisi	4	0,55	0,700	0,75	0,559

Keterangan: db = derajat bebas; galat klorofil db = 169, galat nitrogen db = 170.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa lokasi dan posisi daun berpengaruh sangat nyata ($p < 0,001$) terhadap kandungan klorofil dan nitrogen daun salak Sidimpuan, sedangkan interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$). Perbedaan kandungan klorofil dan nitrogen antarlokasi menunjukkan bahwa kondisi lingkungan tumbuh memengaruhi

status fisiologis tanaman. Pada tanaman salak, perbedaan intensitas cahaya, kesuburan tanah, dan ketersediaan nitrogen berpengaruh terhadap pembentukan klorofil yang berperan langsung dalam proses fotosintesis. Menariknya, kandungan klorofil dan nitrogen tertinggi tidak dijumpai pada lokasi dengan ketinggian tertinggi (Sibakua, ± 674 m dpl), melainkan di Sigumuru (± 470 m dpl), sehingga urutan antarlokasi tidak mengikuti gradien ketinggian secara linear. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor lokal seperti kesuburan tanah, ketersediaan nitrogen, dan tingkat naungan lebih menentukan status klorofil-nitrogen dibandingkan ketinggian tempat semata. Li et al. (2022) menunjukkan bahwa laju pemupukan nitrogen memengaruhi variasi spasial-temporal nilai SPAD pada kanopi, sehingga interpretasi nilai SPAD antarlokasi perlu mempertimbangkan kondisi agroekologi dan status hara setempat. Pada pertumbuhan salak kondisi agroekologi memengaruhi pertumbuhan vegetatif dan kualitas fisiologis tanaman salak. Selain itu, Wang et al. (2022) menyatakan bahwa kandungan nitrogen daun berkorelasi positif dengan kandungan klorofil sehingga keduanya dapat digunakan sebagai indikator kapasitas fotosintesis tanaman.

Posisi daun juga berpengaruh nyata terhadap kandungan klorofil dan nitrogen, di mana bagian pangkal memiliki nilai

tertinggi dibandingkan bagian tengah dan ujung. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi klorofil dan nitrogen pada daun salak Sidimpuan tidak merata di sepanjang pelepah. Pola ini diduga berkaitan dengan tingkat kematangan jaringan, di mana anak daun di bagian pangkal yang lebih matang dan ternaungi memiliki kandungan klorofil dan nitrogen lebih tinggi, sedangkan bagian ujung yang lebih muda dan lebih terpapar cahaya cenderung mengalami penurunan akibat fotodegradasi klorofil dan redistribusi nitrogen. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Tan et al. (2021) yang menunjukkan bahwa nilai SPAD bervariasi di sepanjang helaian daun, serta Chen et al. (2023) yang melaporkan distribusi nilai SPAD yang tidak seragam di dalam kanopi tanaman. Zhang et al. (2022) juga menjelaskan bahwa distribusi klorofil dipengaruhi oleh karakteristik daun sehingga diperlukan posisi pengukuran yang seragam untuk memperoleh hasil yang akurat. Pola serupa dilaporkan Zhang et al. (2021) dan Duan et al. (2023), yang menemukan bahwa kandungan klorofil dan nitrogen daun berbeda menurut posisi pada tajuk maupun helaian. Wang et al. (2024) menambahkan bahwa pemanfaatan nilai SPAD dari beberapa posisi/helaian daun meningkatkan akurasi pendugaan indeks nutrisi nitrogen, sehingga penetapan satu posisi baku yang representatif menjadi penting agar hasil pemantauan dapat dibandingkan antarwaktu dan antarlokasi. Tidak adanya

interaksi antara lokasi dan posisi daun menunjukkan bahwa pola distribusi klorofil dan nitrogen pada salak Sidimpuan relatif konsisten di seluruh lokasi penelitian. Temuan ini didukung oleh Lhotáková et al. (2025) yang menyatakan bahwa distribusi klorofil lebih dipengaruhi oleh karakter fisiologis daun dibandingkan faktor lingkungan, sedangkan lingkungan terutama memengaruhi besarnya kandungan klorofil dan nitrogen.

Penentuan posisi pengukuran yang konsisten yakni pada pangkal daun penting untuk memperoleh estimasi status fisiologis salak Sidimpuan yang akurat. Temuan ini menunjukkan bahwa variasi kandungan klorofil dan nitrogen antarlokasi lebih dipengaruhi oleh kondisi agroekologi setempat dibandingkan oleh ketinggian tempat secara langsung. Kondisi seperti intensitas cahaya, tingkat naungan, ketersediaan air, dan status hara tanah diduga berinteraksi dalam mengatur sintesis klorofil serta efisiensi fotosintesis tanaman. Pendapat ini sejalan dengan Yong et al. (2024) yang menjelaskan bahwa metabolisme klorofil pada tumbuhan dipengaruhi secara simultan oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk cahaya, suhu, ketersediaan air, dan kondisi tumbuh, sehingga respons fisiologis tanaman tidak selalu mengikuti gradien elevasi.

Selain itu, He et al. (2024) melaporkan bahwa respons fotosintesis terhadap peningkatan nitrogen sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan,

terutama ketersediaan air, sehingga efisiensi pemanfaatan nitrogen dapat berbeda meskipun tanaman berada pada kondisi hara yang relatif sama. Hal ini memperkuat dugaan bahwa tingginya kandungan klorofil dan nitrogen di Sigumuru merupakan hasil interaksi beberapa faktor lingkungan yang lebih menguntungkan bagi aktivitas fotosintesis dibandingkan pengaruh ketinggian tempat.

2. Karakteristik Morfologi Daun

Tabel 3. Rerata ($\pm$ simpangan baku) karakteristik morfologi daun salak Sidimpuan pada tiga lokasi

Lokasi	Panjang daun (cm)	Lebar daun (cm)	Luas daun (cm ²)
Sibakua	69,3 $\pm$ 9,1 ^a	6,3 $\pm$ 1,1 ^b	308,3 $\pm$ 71,7 ^b
bSigumuru	61,5 $\pm$ 8,4 ^b	7,1 $\pm$ 1,5 ^a	326,8 $\pm$ 93,1 ^b
Hutakoje	75,7 $\pm$ 15,2 ^a	7,5 $\pm$ 1,1 ^a	399,5 $\pm$ 95,5 ^a

Keterangan: angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf 5% (n = 20).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap panjang daun, lebar daun, dan luas daun salak Sidimpuan (Tabel 3). Tanaman di Hutakoje memiliki panjang

daun ($75,7 \pm 15,2$ cm) dan luas daun ($399,5 \pm 95,5$ cm²) tertinggi, sedangkan *Sigumuru* memiliki panjang daun terendah ($61,5 \pm 8,4$ cm). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakter morfologi daun dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tumbuh yang berbeda pada setiap lokasi.

Panjang, lebar, dan luas daun merupakan karakter morfologi yang sangat responsif terhadap perubahan lingkungan. Ukuran daun merupakan hasil interaksi antara faktor genetik dan lingkungan, terutama suhu, ketersediaan air, dan kesuburan tanah, sehingga variasi ukuran daun mencerminkan kemampuan tanaman dalam beradaptasi terhadap lingkungan. Sejalan dengan itu, Baird et al. (2021) menyatakan bahwa perkembangan ukuran daun dikendalikan oleh proses pembelahan dan pembesaran sel yang dipengaruhi oleh kondisi biofisik lingkungan, sehingga tanaman pada habitat yang berbeda dapat menunjukkan ukuran daun yang berbeda meskipun berasal dari spesies yang sama. Daun yang lebih panjang dan luas di Hutakoje diduga merupakan bentuk adaptasi morfologi terhadap intensitas cahaya yang lebih rendah pada sistem agroforestri bernaungan, yaitu dengan memperluas permukaan tangkapan cahaya untuk mengimbangi keterbatasan radiasi yang diterima tajuk.

Panjang, lebar, dan luas daun merupakan karakter morfologi yang sangat responsif terhadap perubahan lingkungan. Ukuran daun merupakan hasil interaksi

antara faktor genetik dan lingkungan, terutama suhu, intensitas cahaya, ketersediaan air, kelembapan, dan kesuburan tanah, sehingga variasi ukuran daun mencerminkan kemampuan tanaman dalam beradaptasi terhadap kondisi habitatnya. Sejalan dengan itu, Baird et al. (2021) menyatakan bahwa perkembangan ukuran daun dikendalikan oleh proses pembelahan dan pembesaran sel yang dipengaruhi oleh kondisi biofisik lingkungan, sehingga tanaman pada habitat yang berbeda dapat menunjukkan ukuran daun yang berbeda meskipun berasal dari spesies yang sama. plastisitas morfologi daun merupakan salah satu mekanisme utama tanaman dalam mempertahankan efisiensi fotosintesis di bawah kondisi lingkungan yang bervariasi (Poorter et al., 2022). Menurut Wang et al. (2022), perubahan ukuran daun merupakan respons adaptif terhadap variasi intensitas cahaya dan ketersediaan air yang memengaruhi keseimbangan antara penyerapan cahaya dan kehilangan air melalui transpirasi. Selain itu, Dong et al. (2023) menjelaskan bahwa tanaman yang tumbuh pada kondisi ternaungi umumnya membentuk daun yang lebih panjang dan lebih lebar untuk meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya. Hasil serupa dilaporkan oleh Zhang et al. (2023) yang menemukan bahwa peningkatan luas daun pada tanaman di lingkungan berintensitas cahaya rendah merupakan strategi adaptif

untuk memaksimalkan intersepsi radiasi fotosintetik.

Karakter morfologi daun, terutama luas daun, merupakan indikator penting kemampuan tanaman beradaptasi terhadap perubahan mikroklimat karena berkaitan langsung dengan efisiensi fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, daun yang lebih panjang dan luas pada tanaman salak di Hutakoje diduga merupakan bentuk adaptasi morfologi terhadap intensitas cahaya yang lebih rendah pada sistem agroforestri bernaungan, yaitu dengan memperluas permukaan tangkapan cahaya sehingga efisiensi penyerapan radiasi tetap optimal untuk mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan.

D. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi kandungan klorofil dan nitrogen daun salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) dipengaruhi secara sangat nyata oleh lokasi tumbuh dan posisi daun, sedangkan interaksi antara kedua faktor tersebut tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Pola distribusi yang konsisten pada seluruh lokasi memperlihatkan bahwa kandungan klorofil dan nitrogen tertinggi terdapat pada bagian pangkal daun, kemudian menurun secara bertahap pada bagian tengah hingga ujung daun. Temuan ini mengindikasikan bahwa distribusi fisiologis klorofil dan nitrogen pada helaian daun tidak bersifat homogen, tetapi

mengikuti tingkat kematangan jaringan daun dan proses redistribusi nitrogen yang berhubungan dengan aktivitas fotosintesis.

Perbedaan kandungan klorofil dan nitrogen antarlokasi menunjukkan bahwa kondisi agroekologi setempat lebih berpengaruh terhadap status fisiologis tanaman dibandingkan faktor ketinggian tempat semata. Lokasi Sigumuru memiliki kandungan klorofil dan nitrogen tertinggi, sedangkan Hutakoje menunjukkan nilai terendah, sehingga pola tersebut tidak mengikuti gradien elevasi secara linear. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor-faktor seperti intensitas cahaya, tingkat naungan, ketersediaan air, kesuburan tanah, dan status hara kemungkinan berperan lebih besar dalam menentukan pembentukan klorofil dan efisiensi fotosintesis tanaman salak.

Karakteristik morfologi daun juga berbeda nyata antarlokasi. Tanaman di Hutakoje memiliki luas daun terbesar meskipun kandungan klorofil dan nitrogennya relatif lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan adanya plastisitas morfologi sebagai bentuk adaptasi tanaman terhadap lingkungan yang lebih ternaungi melalui peningkatan luas permukaan daun untuk mengoptimalkan penangkapan cahaya. Dengan demikian, ukuran daun yang lebih besar tidak selalu mencerminkan kandungan klorofil maupun status nitrogen yang lebih tinggi.

Secara praktis, hasil penelitian ini merekomendasikan bagian pangkal daun

sebagai posisi pengukuran yang paling representatif dalam evaluasi kandungan klorofil dan nitrogen menggunakan alat SPAD pada tanaman salak Sidimpuan. Standardisasi posisi pengukuran tersebut diharapkan dapat meningkatkan akurasi pemantauan status fisiologis tanaman, mendukung diagnosis hara yang lebih tepat, serta menjadi dasar dalam penyusunan strategi pengelolaan nutrisi dan budidaya salak Sidimpuan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan pengukuran SPAD dengan analisis sifat kimia tanah, intensitas cahaya, tingkat naungan, serta produktivitas dan kualitas buah untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai faktor-faktor yang memengaruhi performa fisiologis tanaman salak Sidimpuan.

E. Daftar Pustaka

- Ali, A.M., Salem, H.M., Bijay Singh, 2024. Site-specific nitrogen fertilizer management using canopy reflectance sensors, chlorophyll meters and leaf color charts: A review. *Nitrogen* 5(4), 828–856.
- Baird, A.S., Taylor, S.H., Pasquet-Kok, J., et al., 2021. Developmental and biophysical determinants of grass leaf size worldwide. *Nature* 592, 242–247.
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03370-3>
- Behera, S.D., Garnayak, L.M., Behera, B., Panda, R.K., 2022. Chlorophyll content and SPAD value relationships between varying nitrogen application and cultivar in rice. *Journal of the Indian Society of Coastal Agricultural Research* 40(1), 23–30.
<https://epubs.icar.org.in/index.php/JISCAR>
- Chen, B., Huang, G., Lu, X., Gu, S., Wen, W., Wang, G., Chang, W., Guo, X., Zhao, C., 2023. Prediction of vertical distribution of SPAD values within maize canopy based on unmanned aerial vehicles multispectral imagery. *Frontiers in Plant Science* 14, 1253536.
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03370-3>
- Duan, D., Chen, L., Zhao, C., Wang, F., Cao, Q., 2023. Multi-angle detection of spatial differences in tea physiological parameters. *Remote Sensing* 15(4), 935.
<https://doi.org/10.3390/rs15040935>
- Dong, N., Prentice, I. C., Evans, B. J., et al. (2023). Environmental controls on leaf morphology and plant adaptation across contrasting habitats. *Plant, Cell & Environment*, 46(5), 1738–1752.
- Fernandes, F.M., Soratto, R.P., Fernandes, A.M., et al., 2021. Chlorophyll meter-based leaf nitrogen status to manage nitrogen in tropical potato

- production. *Agronomy Journal* 113(2), 1733–1746.
<https://doi.org/10.1002/agj2.20563>
- Flexas, J., Carriquí, M., Coopman, R. E., Gago, J., Galmés, J., Martorell, S., Morales, F., Diaz-Espejo, A., & Escalona, J. M. (2021). Stomatal and mesophyll conductances to CO₂ in different plant groups: Undervalued opportunities for improving photosynthesis. *Plant Science*, 308, 110914.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110914>
- He, Y., Geng, Y., Han, B., Shi, L., Shao, X., & Liu, K. (2024). *Water controls the divergent responses of terrestrial plant photosynthesis under nitrogen enrichment*. *Journal of Ecology*, 112, 2638–2651.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.14409>
- Kautsar, V., Faizah, K., Uktoro, A.I., Khasanah, L., Filiphus, F., 2024. Estimating SPAD, nitrogen concentration, and chlorophyll content in rice leaves using calibrated smartphone digital image. *Planta Tropika* 12(2), 127–138. 138.
<https://journal.umy.ac.id/index.php/pt>
- Lhotáková, Z., Neuwirthová, E., Potůčková, M., et al., 2025. Mind the leaf anatomy while taking ground truth with portable chlorophyll meters. *Scientific Reports* 15, 1855.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-85411-z>
- Li, Y. Y., Ming, B., Fan, P. P., Liu, Y., Wang, K. R., Hou, P., Li, S. K., & Xie, R. Z. (2022). *Effects of nitrogen application rates on the spatio-temporal variation of leaf SPAD readings on the maize canopy*. *The Journal of Agricultural Science*, 160(1–2), 32–44.
<https://doi.org/10.1017/S0021859621001052>
- Niinemets, U., Keenan, T. F., & Hallik, L. (2015). A worldwide analysis of within-canopy variations in leaf structural, chemical and physiological traits across plant functional types. *New Phytologist*, 205(3), 973–993.
<https://doi.org/10.1111/nph.13096>
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Ntagkas, N., et al. (2022). A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*, 233(4), 1565–1582.
<https://doi.org/10.1111/nph.17854>
- Padilla, F. M., Gallardo, M., Peña-Fleitas, M. T., De Souza, R., & Thompson, R. B. (2018). *Proximal Optical Sensors for Nitrogen Management of Vegetable Crops: A Review*. *Sensors*, 18(7), 2083.
<https://doi.org/10.3390/s18072083>
- Tan, L., Zhou, L., Zhao, N., He, Y., Qiu, Z., 2021. Development of a low-cost portable device for pixel-wise leaf SPAD estimation and blade-level

- SPAD distribution visualization using color sensing. *Computers and Electronics in Agriculture* 190, 106487.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106487>
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., & Pleijel, H. (2007). *Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings*. *Photosynthesis Research*, 91, 37–46.
<https://doi.org/10.1007/s11120-006-9077-5>
- Wang, L., Lu, Y., Bai, Y., Li, X., Zhang, Y., Chen, F., 2022. Research progress on nitrogen nutrition diagnosis method based on SPAD for main grain crops. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers* 28(3), 546–554.
<https://zwfy.magtech.com.cn>
- Wang, Y., Shi, P., Qian, Y., et al., 2024. Enhancing nitrogen nutrition index estimation in rice using multi-leaf SPAD values and machine learning approaches. *Frontiers in Plant Science* 15, 1492528.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1492528>
- Wicharuck, S., Suang, S., Chaichana, C., Chromkaew, Y., Mawan, N., Soilueang, P., Khongdee, N., 2024. The implementation of the SPAD-502 chlorophyll meter for the quantification of nitrogen content in Arabica coffee leaves. *MethodsX* 12, 102566.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102566>
- Yong, S., Chen, Q., Xu, F., Fu, H., Liang, G., & Guo, Q. (2024). *Exploring the interplay between angiosperm chlorophyll metabolism and environmental factors*. *Planta*, 260, 25.
<https://doi.org/10.1007/s00425-024-04437-8>
- Zhang, J., Wan, L., Igathinathane, C., Zhang, Z., Guo, Y., Sun, D., Cen, H., 2021. Spatiotemporal heterogeneity of chlorophyll content and fluorescence response within rice (*Oryza sativa* L.) canopies under different nitrogen treatments. *Frontiers in Plant Science* 12, 645977.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.645977>
- Zhang, R., Zhou, Y., Yue, Z., Chen, X., Wang, Y., Cao, W., 2022. Evaluation of the methods for estimating leaf chlorophyll content with SPAD chlorophyll meters. *Remote Sensing* 14(20), 5144.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/14/20/5144>
- Zhang, Y., Chen, X., Liu, H., et al. (2023). Leaf morphological plasticity improves light interception under shaded environments. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1182745.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1182745>