

Analisis Pengaruh Variasi Ketinggian Tempat terhadap Kualitas Produksi Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) di Kabupaten Tapanuli Selatan

Analysis of the Effect of Altitude Variation on the Production Quality of Sidimpuan Salak (*Salacca sumatrana* Becc.) in South Tapanuli Regency

Surya Handayani*, Siti Mardiana, Syahbuddin Hasibuan

Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Universitas Medan Area, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

*Penulis korespondensi: surya.handayani21@gmail.com

Received May 2026, Accepted June 2026, Published August 2026

ABSTRAK

Kualitas buah merupakan indikator utama dalam menentukan nilai jual Salak Sidimpuan. Salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi kualitas buah adalah ketinggian tempat tumbuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ketinggian tempat terhadap kualitas buah Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) di Kabupaten Tapanuli Selatan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain komparatif. Sampel terdiri dari 30 kebun salak yang dikelompokkan ke dalam tiga zona ketinggian, yaitu dataran rendah (0–300 mdpl), dataran sedang (300–700 mdpl), dan dataran tinggi (>700 mdpl). Parameter kualitas yang dianalisis meliputi kadar gula (°Brix), berat buah, kandungan vitamin C, total asam, warna kulit buah, dan persentase buah layak pasar. Data dianalisis menggunakan uji ANOVA dan dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf signifikansi 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh signifikan terhadap seluruh parameter kualitas buah ($p < 0,05$). Dataran sedang menghasilkan kualitas terbaik dengan kadar gula tertinggi (18,6°Brix), berat buah terbesar (62,4 g), kandungan vitamin C tertinggi (8,9 mg/100 g), serta persentase buah layak pasar tertinggi (87%). Sebaliknya, dataran rendah menunjukkan kualitas terendah, sedangkan dataran tinggi berada pada kategori sedang. Dengan demikian, ketinggian tempat merupakan faktor penting dalam menentukan kualitas Salak Sidimpuan, dengan kisaran optimal pada dataran sedang. Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia-

Kata kunci: kualitas buah; salak sidimpuan; ketinggian; brix; vitamin C

ABSTRACT

Fruit quality is a key indicator in determining the market value of Salak Sidimpuan. One environmental factor influencing fruit quality is the altitude of the growing site. This study aimed to analyze the effect of altitude variations on the quality of Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) fruit in South Tapanuli Regency. A quantitative approach with a comparative design was employed. The sample consisted of 30 *salak* orchards grouped into three altitude zones: lowlands (0–300 m asl), mid-elevations (300–700 m asl), and highlands (>700 m asl). Quality parameters analyzed included sugar content (°Brix), fruit weight, vitamin C content, total acidity, fruit skin color, and the percentage of marketable fruit. Data were analyzed using ANOVA followed by the Tukey test at a 5% significance level. The results showed that altitude significantly affected all fruit quality parameters ($p < 0.05$). Mid-elevation areas produced the best quality, yielding the highest sugar content (18.6°Brix), greatest fruit weight (62.4 g), highest vitamin C content (8.9 mg/100 g), and highest percentage of marketable fruit (87%). Conversely, lowlands exhibited the lowest quality, while highlands fell into the intermediate category. Thus, altitude is a crucial factor in determining Salak Sidimpuan quality, with the optimal range found in mid-elevation areas.

Keywords: fruit quality; salak sidimpuan; altitude; brix; vitamin C

PENDAHULUAN

Kualitas buah merupakan indikator utama dalam menentukan nilai jual Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.), baik pada pasar lokal maupun regional (Solin *et al.*, 2025). Dalam sistem agribisnis hortikultura, kualitas tidak hanya memengaruhi harga jual, tetapi juga menentukan daya saing produk, preferensi konsumen, serta keberlanjutan usaha tani (Afrida, 2022). Buah dengan kualitas tinggi umumnya memiliki karakteristik rasa manis seimbang, tekstur yang renyah, ukuran

seragam, serta tampilan visual yang menarik (Widyantari *et al.*, 2023). Oleh karena itu, kualitas menjadi aspek krusial yang harus diperhatikan dalam setiap tahap produksi, mulai dari budidaya hingga pascapanen.

Parameter kualitas buah tidak hanya terbatas pada rasa, tetapi juga mencakup berbagai aspek fisik dan kimia. Secara kimiawi, kualitas dapat diukur melalui kadar gula (total soluble solids/°Brix), kandungan vitamin, serta tingkat keasaman (total asam) (Rizalianti *et al.*, 2025). Keseimbangan antara gula dan asam sangat menentukan cita rasa buah

yang dihasilkan (Hapsari *et al.*, 2025). Sementara itu, secara fisik, kualitas buah ditentukan oleh ukuran, berat, kekerasan (*firmness*), serta warna kulit yang mencerminkan tingkat kematangan (Safira *et al.*, 2025). Selain itu, persentase buah layak pasar juga menjadi indikator penting dalam menilai kualitas secara komersial. Semakin tinggi proporsi buah yang memenuhi standar pasar, semakin tinggi pula nilai ekonominya (Miradji *et al.*, 2025).

Kualitas buah pada dasarnya merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor genetik dan faktor lingkungan. Faktor genetik menentukan potensi dasar tanaman, sedangkan faktor lingkungan mempengaruhi ekspresi potensi tersebut (Julianti *et al.*, 2026). Salah satu faktor lingkungan yang paling berpengaruh adalah ketinggian tempat (*altitude*) yang berkaitan erat dengan kondisi agroklimat, seperti suhu udara, kelembapan relatif, intensitas cahaya matahari, serta pola curah hujan (Zahra *et al.*, 2025). Variasi faktor-faktor tersebut secara langsung memengaruhi proses fisiologis tanaman, termasuk fotosintesis, respirasi, transpirasi, dan pembentukan metabolit sekunder (Sahid *et al.*, 2025).

Ketinggian tempat mempengaruhi kualitas buah melalui perubahan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya yang berdampak pada akumulasi gula, pembentukan asam organik, serta struktur jaringan buah (Adimas *et al.*, 2025). Pada daerah dengan ketinggian rendah, suhu udara cenderung lebih tinggi sehingga laju respirasi tanaman meningkat. Kondisi ini menyebabkan penggunaan energi hasil fotosintesis menjadi lebih besar untuk proses metabolisme dibandingkan untuk penyimpanan dalam bentuk gula. Akibatnya, buah cenderung memiliki kadar gula yang lebih rendah dan rasa yang kurang manis. Selain itu, suhu tinggi juga dapat mempercepat proses pematangan buah secara tidak sempurna, sehingga mempengaruhi tekstur dan daya simpan. (Somaly, 2026).

Sebaliknya, pada daerah dengan ketinggian sedang, suhu udara relatif lebih moderat dan stabil. Kondisi ini sangat mendukung proses fotosintesis yang efisien serta akumulasi hasil fotosintesis dalam bentuk gula (Nasution, 2026). Dengan demikian, buah yang dihasilkan cenderung memiliki kadar gula yang lebih tinggi dan rasa yang lebih manis. Selain itu, keseimbangan antara pembentukan gula dan asam organik juga lebih terjaga, sehingga menghasilkan cita rasa yang khas dan disukai konsumen (Xu *et al.*, 2025). Kelembapan udara yang cukup pada ketinggian sedang juga membantu menjaga turgor sel, yang berkontribusi terhadap tekstur buah yang lebih renyah dan segar (Rahmadhan *et al.*, 2025).

Pada ketinggian yang lebih tinggi, suhu udara cenderung lebih rendah dan memperlambat proses metabolisme tanaman. Meskipun kondisi ini dapat meningkatkan akumulasi beberapa senyawa tertentu, seperti vitamin C, namun pertumbuhan dan perkembangan buah seringkali menjadi lebih lambat. Hal ini berdampak pada ukuran buah yang lebih kecil serta waktu panen yang lebih lama. Selain itu, intensitas cahaya yang lebih rendah pada beberapa

kondisi ketinggian tinggi juga dapat mempengaruhi proses fotosintesis secara keseluruhan (Saputri *et al.*, 2025).

Selain faktor suhu, kelembapan udara juga memainkan peran penting dalam menentukan kualitas buah (Arabia & Pallarés, 2024). Kelembapan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko serangan penyakit, sedangkan kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan stres air pada tanaman (Hue *et al.*, 2025). Kedua kondisi tersebut dapat menurunkan kualitas buah, baik dari segi fisik maupun kimia. Intensitas cahaya matahari juga berpengaruh terhadap pembentukan warna kulit buah dan sintesis senyawa tertentu yang berkontribusi terhadap rasa dan aroma.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Maret 2026 di Kabupaten Tapanuli Selatan. Analisis parameter uji dilaksanakan di Laboratorium Balai Pengujian Standar Instrumen Tanaman Buah Tropika (BPSI Buah Tropika) Solok.

Metode dan Sampel

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan teknik pengambilan sampel secara *stratified random sampling* berdasarkan ketinggian tempat. Sampel penelitian terdiri dari 30 kebun salak, yang dibagi ke dalam tiga zona ketinggian, yaitu: dataran rendah (0–300 mdpl), dataran sedang (300–700 mdpl), dan dataran tinggi (>700 mdpl), dengan masing-masing zona diwakili oleh 10 kebun.

Kriteria pemilihan sampel meliputi: (1) tanaman salak dalam kondisi produktif (berumur 5–15 tahun); (2) teknik budidaya relatif seragam (meliputi pemupukan, penyiraman, dan pemeliharaan); serta (3) kebun memiliki riwayat panen yang jelas. Dari setiap kebun sampel, diambil beberapa buah secara acak sebagai unit pengamatan untuk dianalisis kualitasnya. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh representatif terhadap kondisi masing-masing zona ketinggian.

Parameter yang Diukur

Parameter kualitas buah yang dianalisis mencakup aspek fisik dan kimia, yang diukur mengacu pada Ritonga (2024) sebagai berikut:

1. Kadar gula (°Brix)

Diukur menggunakan alat hand refractometer. Sampel daging buah dihaluskan, kemudian cairannya ditetaskan pada prisma refraktometer untuk mengetahui tingkat kemanisan buah dalam satuan derajat Brix.

2. Berat buah (gram)

Diukur menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g. Setiap buah ditimbang satu per satu untuk mendapatkan rata-rata berat buah per sampel.

3. Kandungan vitamin C (mg/100 g)

Dianalisis menggunakan metode titrasi iodimetri. Sampel buah diekstrak, kemudian dititrasi

untuk menentukan kadar vitamin C yang terkandung dalam buah.

4. Total asam (%)

Diukur menggunakan metode titrasi dengan larutan NaOH, yang menunjukkan tingkat keasaman buah dan berpengaruh terhadap cita rasa.

5. Warna kulit buah (skala 1–5)

Dinilai secara visual menggunakan skala warna. Skor 1 menunjukkan warna kurang matang dan skor 5 menunjukkan warna matang optimal/menarik sesuai standar pasar.

6. Persentase buah layak pasar (%)

Dihitung berdasarkan jumlah buah yang memenuhi standar kualitas pasar (ukuran, warna, tidak cacat) dibandingkan dengan total buah yang diamati, kemudian dinyatakan dalam persentase.

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan pendekatan statistik kuantitatif. Tahapan analisis meliputi:

1. Statistik deskriptif, untuk menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, serta distribusi data pada setiap parameter kualitas di masing-masing zona ketinggian.
2. Uji ANOVA (Analysis of Variance) satu arah, digunakan untuk menguji pengaruh pada parameter kualitas buah antar tiga kelompok ketinggian. Uji ini dilakukan pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$.
3. Uji lanjut Tukey (Tukey HSD), dilakukan apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan untuk mengetahui pasangan kelompok mana yang memiliki perbedaan nyata secara statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Gula ($^{\circ}$ Brix)

Kadar gula merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas buah salak karena berhubungan langsung dengan tingkat kemanisan dan penerimaan konsumen terhadap buah (Wardana & Wrasati, 2025). Kandungan gula pada buah dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti suhu, intensitas cahaya, ketersediaan air, dan kondisi tanah yang berbeda pada setiap ketinggian tempat (Efandri & Vauzia, 2025). Oleh karena itu, pengukuran kadar gula dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi ketinggian tempat terhadap kualitas buah Salak Sidimpuan yang dihasilkan menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) satu arah.

Berdasarkan hasil ANOVA diperoleh nilai F hitung sebesar 12,45 dengan p-value sebesar 0,002. Nilai p-value yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh nyata terhadap kadar gula buah Salak Sidimpuan pada taraf kepercayaan 95%. Hasil ANOVA juga mengindikasikan bahwa variasi akibat ketinggian jauh lebih besar dibandingkan variasi acak.

Hasil uji lanjut Tukey HSD yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar gula buah pada

masing-masing ketinggian berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor ketinggian tempat memberikan pengaruh signifikan terhadap akumulasi gula dalam buah Salak Sidimpuan. Hasil Pengukuran Rata-rata Kadar Gula Salak Sidimpuan pada Berbagai Ketinggian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Rata-rata Kadar Gula Salak Sidimpuan pada Berbagai Ketinggian

Ketinggian	Kadar Gula ($^{\circ}$ Brix)
Rendah	$14,2 \pm 0,85$ c
Sedang	$18,6 \pm 1,02$ a
Tinggi	$16,8 \pm 0,91$ b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf 5%.

Berdasarkan Tabel 1, kadar gula buah Salak Sidimpuan menunjukkan perbedaan yang nyata pada berbagai ketinggian tempat. Nilai kadar gula tertinggi diperoleh pada lokasi dengan ketinggian sedang yaitu sebesar $18,6 \pm 1,02$ $^{\circ}$ Brix, diikuti oleh ketinggian tinggi sebesar $16,8 \pm 0,91$ $^{\circ}$ Brix, sedangkan kadar gula terendah ditemukan pada ketinggian rendah yaitu sebesar $14,2 \pm 0,85$ $^{\circ}$ Brix. Hasil uji lanjut Tukey HSD menunjukkan bahwa kadar gula buah Salak Sidimpuan pada ketiga ketinggian tempat berbeda nyata satu sama lain.

Perbedaan notasi huruf yang diperoleh menunjukkan bahwa setiap tingkat ketinggian memberikan pengaruh yang berbeda terhadap akumulasi gula dalam buah. Kondisi lingkungan pada ketinggian sedang diduga lebih optimal untuk proses fotosintesis dan translokasi hasil fotosintesis ke buah, sehingga menghasilkan tingkat kemanisan yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketinggian rendah menghasilkan kadar gula terendah, sedangkan ketinggian tinggi menunjukkan nilai yang berada di antara keduanya.

Tingginya kadar gula pada daerah ketinggian sedang diduga disebabkan oleh kondisi lingkungan yang lebih optimal bagi proses fotosintesis dan translokasi hasil fotosintesis ke dalam buah. Suhu yang tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah memungkinkan pembentukan dan penyimpanan karbohidrat berlangsung lebih efektif sehingga menghasilkan buah dengan tingkat kemanisan yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada ketinggian rendah, suhu yang relatif lebih tinggi dapat meningkatkan laju respirasi tanaman sehingga sebagian hasil fotosintesis digunakan untuk kebutuhan metabolisme, yang pada akhirnya menurunkan akumulasi gula dalam buah.

Sementara itu, kadar gula pada ketinggian tinggi meskipun lebih rendah dibandingkan ketinggian sedang, masih menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada ketinggian rendah. Kondisi suhu yang lebih rendah pada daerah dataran tinggi dapat memperlambat proses pematangan buah dan memengaruhi pembentukan gula, sehingga kandungan gula yang dihasilkan tidak setinggi pada daerah ketinggian sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa ketinggian sedang merupakan kondisi yang

paling sesuai untuk menghasilkan buah Salak Sidimpuan dengan tingkat kemanisan yang optimal.

Temuan ini memperkuat pendapat Nasution (2026) yang menyatakan bahwa kondisi suhu pada daerah dengan ketinggian sedang mampu meningkatkan efisiensi fotosintesis dan akumulasi hasil fotosintesis dalam bentuk gula sehingga menghasilkan buah dengan tingkat kemanisan yang lebih tinggi. Selain itu, Xu *et al.* (2025) menjelaskan bahwa keseimbangan metabolisme gula dan asam organik merupakan faktor utama pembentuk cita rasa buah. Oleh karena itu, kadar gula tertinggi pada ketinggian sedang dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi agroklimat pada zona tersebut mendukung proses metabolisme karbohidrat secara optimal.

Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menyatakan bahwa faktor agroklimat, khususnya ketinggian tempat, berperan penting dalam menentukan kualitas buah melalui pengaruhnya terhadap proses fisiologis tanaman dan akumulasi senyawa terlarut, termasuk gula. Dengan demikian, variasi ketinggian tempat perlu dipertimbangkan dalam upaya meningkatkan mutu dan daya saing buah Salak Sidimpuan di pasaran.

Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan kondisi lingkungan pada setiap ketinggian, seperti suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan karakteristik tanah, memberikan pengaruh terhadap proses pembentukan dan akumulasi gula dalam buah. Oleh karena itu, ketinggian tempat merupakan faktor penting yang menentukan tingkat kemanisan buah Salak Sidimpuan.

Berat Buah

Berat buah merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas dan produktivitas tanaman salak (Lenga *et al.*, 2022). Ukuran berat buah tidak hanya dipengaruhi oleh faktor genetik tanaman, tetapi juga oleh kondisi lingkungan tumbuh, seperti suhu, curah hujan, ketersediaan unsur hara, dan ketinggian tempat. Perbedaan kondisi agroekologi pada berbagai ketinggian dapat memengaruhi proses pembentukan dan perkembangan buah, sehingga menghasilkan variasi berat buah yang berbeda (Irfan *et al.*, 2026).

Berdasarkan hasil ANOVA, diperoleh nilai F hitung sebesar 15,72 dengan p-value sebesar 0,001. Nilai p-value yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh sangat nyata terhadap berat buah Salak Sidimpuan.

Nilai Kuadrat Tengah (KT) ketinggian sebesar 62,88 lebih besar dibandingkan KT galat sebesar 4,00, sehingga menghasilkan nilai F hitung yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa variasi berat buah yang disebabkan oleh perbedaan ketinggian jauh lebih besar dibandingkan variasi yang terjadi secara acak.

Hasil ANOVA memperlihatkan bahwa kondisi lingkungan pada berbagai ketinggian memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan dan perkembangan buah. Faktor-faktor seperti suhu,

kelembapan udara, intensitas cahaya, dan ketersediaan unsur hara pada masing-masing ketinggian diduga memengaruhi proses fotosintesis dan distribusi hasil fotosintesis ke buah, sehingga menyebabkan perbedaan berat buah yang dihasilkan. Adapun hasil pengukuran rata-rata berat buah pada berbagai ketinggian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Rata-rata Berat Buah pada Berbagai Ketinggian

Ketinggian	Berat Buah (g)
Rendah	48,5 ± 3,21 c
Sedang	62,4 ± 4,10 a
Tinggi	55,2 ± 3,78 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%.

Berdasarkan Tabel 2, berat buah Salak Sidimpuan menunjukkan perbedaan yang nyata pada berbagai ketinggian tempat. Berat buah tertinggi diperoleh pada ketinggian sedang dengan rata-rata 62,4 ± 4,10 g, diikuti oleh ketinggian tinggi sebesar 55,2 ± 3,78 g, sedangkan berat buah terendah ditemukan pada ketinggian rendah yaitu 48,5 ± 3,21 g.

Hasil uji Tukey HSD menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata antar seluruh kelompok ketinggian. Hal ini mengindikasikan bahwa ketinggian tempat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap berat buah Salak Sidimpuan.

Tingginya berat buah pada ketinggian sedang diduga berkaitan dengan kondisi lingkungan yang lebih mendukung proses fotosintesis, penyerapan unsur hara, dan pembentukan biomassa tanaman. Kondisi suhu dan kelembapan yang relatif optimal memungkinkan tanaman menghasilkan fotosintat dalam jumlah yang cukup untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan buah secara maksimal.

Sebaliknya, berat buah yang lebih rendah pada ketinggian rendah diduga disebabkan oleh suhu lingkungan yang lebih tinggi sehingga meningkatkan laju respirasi tanaman. Kondisi tersebut dapat mengurangi akumulasi hasil fotosintesis yang seharusnya dialokasikan untuk pertumbuhan buah. Sementara itu, pada ketinggian tinggi, suhu yang lebih rendah dapat memperlambat beberapa proses fisiologis tanaman sehingga perkembangan buah tidak seoptimal pada ketinggian sedang.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan Irfan *et al.* (2026) yang melaporkan bahwa variasi topografi dan kondisi lingkungan memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman melalui perbedaan suhu, kelembapan, dan ketersediaan sumber daya bagi tanaman. Kondisi lingkungan yang lebih seimbang pada ketinggian sedang memungkinkan distribusi fotosintat menuju buah berlangsung lebih efektif sehingga meningkatkan ukuran dan berat buah.

Ketinggian sedang merupakan kondisi lingkungan yang paling sesuai untuk menghasilkan buah Salak Sidimpuan dengan ukuran dan berat yang lebih besar. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor

ketinggian tempat memiliki peran penting dalam menentukan kualitas fisik buah, khususnya berat buah yang menjadi salah satu indikator utama nilai ekonomi komoditas salak.

Kandungan Vitamin C

Vitamin C merupakan salah satu komponen gizi penting yang terkandung dalam buah salak, berperan sebagai antioksidan alami, serta menjadi salah satu indikator kualitas nutrisi buah (Sari *et al.*, 2021). Kadar vitamin C dalam buah dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk ketinggian tempat, yang berkaitan dengan perbedaan suhu, intensitas cahaya, dan kondisi pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan hasil ANOVA diperoleh nilai F hitung sebesar 14,11 dengan p-value sebesar 0,001. Nilai p-value yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan vitamin C buah Salak Sidimpunan.

Hasil ini mengindikasikan bahwa perbedaan kondisi lingkungan pada setiap ketinggian memengaruhi proses metabolisme tanaman yang berhubungan dengan sintesis dan akumulasi vitamin C dalam buah. Faktor-faktor seperti suhu udara, intensitas cahaya matahari, kelembapan, dan ketersediaan unsur hara berperan dalam pembentukan senyawa antioksidan, termasuk vitamin C. Hasil Pengukuran Rata-rata Vitamin C pada Berbagai Ketinggian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Rata-rata Vitamin C pada Berbagai Ketinggian

Ketinggian	Vitamin C (mg/100 g)
Rendah	5,6 ± 0,42 c
Sedang	8,9 ± 0,56 a
Tinggi	7,2 ± 0,51 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%

Berdasarkan Tabel 3, kandungan vitamin C buah Salak Sidimpunan berbeda pada setiap ketinggian tempat. Kandungan vitamin C tertinggi diperoleh pada ketinggian sedang yaitu 8,9 ± 0,56 mg/100 g, diikuti oleh ketinggian tinggi sebesar 7,2 ± 0,51 mg/100 g, sedangkan kandungan vitamin C terendah ditemukan pada ketinggian rendah yaitu 5,6 ± 0,42 mg/100 g.

Hasil uji Tukey HSD menunjukkan bahwa seluruh perlakuan terdapat perbedaan nyata kandungan vitamin C antar ketiga tingkat ketinggian. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian tempat memberikan pengaruh terhadap akumulasi vitamin C pada buah Salak Sidimpunan.

Kandungan vitamin C tertinggi yang ditemukan pada ketinggian sedang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan pada lokasi tersebut lebih mendukung pembentukan vitamin C dibandingkan ketinggian rendah maupun tinggi. Suhu yang relatif optimal dan keseimbangan faktor lingkungan lainnya diduga meningkatkan aktivitas fisiologis tanaman sehingga

sintesis vitamin C berlangsung lebih efektif. Temuan ini mendukung hasil penelitian Julianti *et al.* (2026) yang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan selama proses pertumbuhan buah memengaruhi karakteristik fisik maupun kimia buah, termasuk kandungan senyawa bioaktif. Selain itu, Arabia dan Pallarés (2024) menjelaskan bahwa kondisi mikroklimat seperti suhu dan kelembapan memiliki pengaruh terhadap kualitas buah melalui perubahan aktivitas metabolisme tanaman. Dengan demikian, kandungan vitamin C yang lebih tinggi pada ketinggian sedang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan tersebut lebih mendukung pembentukan senyawa antioksidan.

Sebaliknya, kandungan vitamin C yang lebih rendah pada ketinggian rendah dapat disebabkan oleh suhu yang lebih tinggi sehingga mempercepat proses degradasi vitamin C selama perkembangan buah. Pada ketinggian tinggi, meskipun kandungan vitamin C lebih tinggi dibandingkan ketinggian rendah, kondisi suhu yang lebih rendah dapat memengaruhi laju metabolisme tanaman sehingga akumulasi vitamin C tidak setinggi pada ketinggian sedang.

Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian tempat merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kualitas nutrisi buah Salak Sidimpunan, khususnya kandungan vitamin C. Ketinggian sedang memberikan kondisi yang paling optimal untuk menghasilkan buah dengan kandungan vitamin C yang lebih tinggi.

Total Asam

Total asam merupakan salah satu parameter kimia yang berpengaruh terhadap cita rasa buah. Kandungan asam organik dalam buah berperan dalam menentukan keseimbangan rasa antara manis dan asam, sehingga menjadi salah satu indikator penting dalam penilaian kualitas buah. Kandungan total asam dapat dipengaruhi oleh faktor genetik maupun kondisi lingkungan tumbuh, termasuk ketinggian tempat yang berkaitan dengan perbedaan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya (Safnowandi, 2022).

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA), diperoleh nilai F hitung sebesar 9,27 dengan p-value sebesar 0,004. Nilai p-value yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh nyata terhadap kandungan total asam buah Salak Sidimpunan. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan kondisi lingkungan pada masing-masing ketinggian memengaruhi metabolisme asam organik selama pertumbuhan dan pematangan buah. Hasil pengukuran rata-rata total asam pada berbagai ketinggian dan uji Tukey HSD dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata kandungan total asam antara seluruh tingkat ketinggian. Total asam tertinggi diperoleh pada ketinggian rendah yaitu 0,42 ± 0,03%, diikuti oleh ketinggian tinggi sebesar 0,38 ± 0,02%, sedangkan total asam terendah ditemukan pada ketinggian sedang yaitu 0,35 ± 0,02%.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Rata-rata Total Asam pada Berbagai Ketinggian

Ketinggian	Total Asam (%)
Rendah	0,42 ± 0,03 a
Sedang	0,35 ± 0,02 c
Tinggi	0,38 ± 0,02 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%.

Kandungan total asam yang lebih tinggi pada ketinggian rendah mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan di daerah tersebut mendukung akumulasi asam organik yang lebih besar dibandingkan ketinggian sedang dan tinggi. Sebaliknya, kandungan total asam terendah pada ketinggian sedang menunjukkan bahwa sebagian asam organik kemungkinan telah digunakan dalam proses respirasi dan konversi menjadi gula selama pematangan buah. Hal ini sejalan dengan hasil pengukuran kadar gula yang menunjukkan nilai tertinggi pada ketinggian sedang. Secara umum, selama proses pematangan buah terjadi penurunan kandungan asam dan peningkatan kandungan gula, sehingga buah menjadi lebih manis dan lebih disukai konsumen.

Penurunan kandungan total asam pada ketinggian sedang juga sesuai dengan teori yang dikemukakan Xu *et al.* (2025), bahwa selama proses pematangan buah terjadi konversi asam organik menjadi gula sehingga rasa buah menjadi lebih manis. Hubungan negatif antara kadar gula dan total asam yang diperoleh dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa proses pematangan buah berlangsung lebih optimal pada ketinggian sedang.

Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh terhadap kandungan total asam buah Salak Sidimpuan. Ketinggian rendah menghasilkan total asam tertinggi, sedangkan ketinggian sedang menghasilkan total asam terendah yang diikuti oleh kadar gula tertinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa buah yang tumbuh pada ketinggian sedang cenderung memiliki tingkat kemanisan yang lebih baik dengan rasa asam yang lebih rendah dibandingkan buah yang tumbuh pada ketinggian lainnya.

Warna Kulit Buah

Warna kulit buah merupakan salah satu parameter fisik yang penting dalam menentukan kualitas dan tingkat kematangan buah. Warna kulit sering digunakan sebagai indikator visual oleh konsumen dalam menilai mutu dan daya tarik suatu produk hortikultura (Septiani, 2025). Pembentukan warna kulit buah dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kandungan pigmen, tingkat kematangan, intensitas cahaya, suhu lingkungan, serta kondisi agroklimat yang berbeda pada setiap ketinggian tempat (Baihaqi & Fridayati, 2025).

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) diperoleh nilai F hitung sebesar 11,88 dengan p-value sebesar 0,002. Nilai p-value yang lebih kecil dari 0,05

menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh nyata terhadap warna kulit buah Salak Sidimpuan. Hasil Pengukuran Rata-rata Skor Warna Kulit Buah pada Berbagai Ketinggian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Rata-rata Skor Warna Kulit Buah pada Berbagai Ketinggian

Ketinggian	Skor Warna
Rendah	3,1 ± 0,20 c
Sedang	4,5 ± 0,31 a
Tinggi	3,8 ± 0,24 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%.

Berdasarkan Tabel 5, skor warna kulit buah Salak Sidimpuan menunjukkan perbedaan pada berbagai ketinggian tempat. Skor warna tertinggi diperoleh pada ketinggian sedang yaitu $4,5 \pm 0,31$, diikuti oleh ketinggian tinggi sebesar $3,8 \pm 0,24$, sedangkan skor warna terendah ditemukan pada ketinggian rendah yaitu $3,1 \pm 0,20$.

Hasil uji Tukey HSD (Tabel 5) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata persentase buah layak pasar antar ketiga tingkat ketinggian. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh terhadap mutu hasil panen Salak Sidimpuan yang dapat diterima pasar.

Perbedaan warna kulit buah pada berbagai ketinggian diduga berkaitan dengan perbedaan kondisi lingkungan yang memengaruhi pembentukan dan akumulasi pigmen pada kulit buah. Faktor seperti suhu, intensitas cahaya matahari, dan kelembapan udara dapat memengaruhi proses sintesis pigmen yang berperan dalam pembentukan warna kulit buah selama proses pematangan.

Skor warna tertinggi pada ketinggian sedang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan pada lokasi tersebut lebih mendukung pembentukan warna kulit yang optimal. Hasil ini juga sejalan dengan parameter kualitas lainnya, seperti kadar gula dan berat buah, yang menunjukkan nilai tertinggi pada ketinggian sedang. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses pematangan buah berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan warna kulit yang lebih menarik dan seragam.

Sebaliknya, skor warna yang lebih rendah pada ketinggian rendah menunjukkan bahwa perkembangan warna kulit buah belum seoptimal pada ketinggian sedang. Sementara itu, pada ketinggian tinggi, warna kulit buah menunjukkan nilai yang lebih baik dibandingkan ketinggian rendah, tetapi masih lebih rendah dibandingkan ketinggian sedang. Hasil ini sejalan dengan Saputri *et al.* (2025) yang menjelaskan bahwa intensitas cahaya berpengaruh terhadap aktivitas fotosintesis serta pembentukan pigmen tanaman. Selain itu, Zahra *et al.* (2025) menyatakan bahwa faktor lingkungan mampu memengaruhi ekspresi fisiologis tanaman yang pada akhirnya menentukan karakteristik visual buah. Oleh sebab itu, skor warna kulit yang lebih tinggi pada ketinggian sedang menunjukkan bahwa kondisi

agroklimat pada zona tersebut lebih mendukung pembentukan warna kulit buah yang optimal.

Hasil uji Tukey HSD (Tabel 5) menunjukkan bahwa perbedaan nyata warna kulit buah antar ketiga tingkat ketinggian. Hal ini mengindikasikan bahwa ketinggian tempat memberikan pengaruh terhadap pembentukan warna kulit buah Salak Sidimpuan.

Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh terhadap kualitas visual buah Salak Sidimpuan, khususnya warna kulit buah. Ketinggian sedang memberikan kondisi lingkungan yang paling sesuai untuk menghasilkan warna kulit buah yang lebih baik, sehingga dapat meningkatkan daya tarik dan nilai jual buah di pasaran.

Persentase Buah Layak Pasar

Persentase buah layak pasar merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas hasil panen dan nilai ekonomi suatu komoditas hortikultura (Sitanggang & Dwi Raharjo, 2025). Buah dikategorikan layak pasar apabila memenuhi kriteria mutu tertentu, seperti ukuran, bentuk, warna, tingkat kematangan, serta bebas dari kerusakan fisik maupun serangan hama dan penyakit. Tingginya persentase buah layak pasar menunjukkan bahwa kondisi pertumbuhan tanaman mendukung pembentukan buah dengan kualitas yang baik dan dapat diterima oleh konsumen.

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA), diperoleh nilai F hitung sebesar 18,64 dengan p-value sebesar 0,000. Nilai p-value yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa ketinggian tempat berpengaruh sangat nyata terhadap persentase buah layak pasar Salak Sidimpuan. Persentase Buah Layak Pasar pada Berbagai Ketinggian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Persentase Buah Layak Pasar pada Berbagai Ketinggian

Ketinggian	Layak Pasar (%)
Rendah	65 ± 4,5 c
Sedang	87 ± 5,2 a
Tinggi	75 ± 4,8 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%.

Berdasarkan Tabel 6, persentase buah layak pasar Salak Sidimpuan berbeda pada berbagai ketinggian tempat. Persentase tertinggi diperoleh pada ketinggian sedang yaitu 87 ± 5,2%, diikuti oleh ketinggian tinggi sebesar 75 ± 4,8%, sedangkan persentase terendah ditemukan pada ketinggian rendah yaitu 65 ± 4,5%.

Tingginya persentase buah layak pasar pada ketinggian sedang diduga berkaitan dengan kondisi agroklimat yang lebih optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan buah. Pada ketinggian ini, buah memiliki kualitas fisik dan kimia yang lebih baik, sebagaimana terlihat dari tingginya kadar gula, berat buah, kandungan vitamin C, dan skor warna kulit buah. Kombinasi karakteristik tersebut meningkatkan

proporsi buah yang memenuhi standar pemasaran.

Sebaliknya, persentase buah layak pasar yang lebih rendah pada ketinggian rendah diduga disebabkan oleh kondisi lingkungan yang kurang mendukung pembentukan kualitas buah secara optimal. Suhu yang lebih tinggi dapat memengaruhi proses perkembangan buah sehingga ukuran, warna, maupun kualitas internal buah menjadi kurang memenuhi standar pasar. Sementara itu, pada ketinggian tinggi, kualitas buah lebih baik dibandingkan ketinggian rendah, tetapi masih belum mencapai kondisi optimal seperti yang ditemukan pada ketinggian sedang. Ketinggian sedang dapat dianggap sebagai kondisi lingkungan yang paling sesuai untuk menghasilkan buah dengan mutu tinggi dan nilai ekonomi yang lebih baik.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi ketinggian tempat berpengaruh nyata terhadap semua parameter kualitas buah (kadar gula, berat buah, kandungan vitamin C, total asam, warna kulit buah, dan persentase buah layak pasar) Salak Sidimpuan (*Salacca sumatrana* Becc.) di Kabupaten Tapanuli Selatan

Ketinggian sedang (300–700 mdpl) merupakan kondisi yang paling optimal untuk menghasilkan buah Salak Sidimpuan dengan kualitas fisik, kimia, dan komersial terbaik. Oleh karena itu, wilayah dengan ketinggian sedang direkomendasikan sebagai prioritas dalam pengembangan budidaya Salak Sidimpuan untuk meningkatkan mutu dan daya saing produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Adimas, L., Suratman, dan Solichatun. 2025. Keanekaragaman Kultivar Pisang (*Musa* spp.) Berdasarkan Karakter Biokimia pada Berbagai Ketinggian Tempat di Kabupaten Boyolali. *Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(3), 2046–2055.
- Afrida, E. 2022. Optimization of Soybean Yield in Ultisols Through Adaptive Varieties Screening and Plant Growth Promoting Rhizobacter. *Bioscience Journal*, 38(2019), 1–13.
- Arabia, A., and Pallarés, N. 2024. Variability in Strawberry Tunnels Impacts Fruit Quality and Limits Melatonin Effects. *Wiley Online Library*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13951>
- Baihaqi, B., dan Fridayati, D. 2025. Analisis Warna, TSS dan Kekerasan Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pada Tingkat Kematangan Berbeda. *Jurnal Minfo Polgan*, 13, 2424–2432.
- Efandri, V., dan Vauzia. 2025. Literature Review : Dampak Iklim Global terhadap Fenologi Tanaman. *Symbiotic: Journal of Biological Education and Science*, 19–31. <https://doi.org/10.32939/symbiotic.v6i1.165>
- Hapsari, M. W., Anggraeni, N., Novianingrum, M. P., Damar, P., dan Murti, B. 2025. Analisis Kandungan Gula Minuman Kemasan Menggunakan Pendekatan Refraktometri

- sebagai Dasar Evaluasi Mutu Pangan. *Science, Technology and Management Journal*, 5(2), 151–155.
- Hue, Y., Kim, J. H., Nam, Y., Choi, B., Kim, T. S., Lee, S., and Kim, K. 2025. Changes in the Occurrence Patterns of Rice Fungal Diseases Due to Climate Change. *Research in Plant Disease*, 31(1), 17–29.
- Irfan, A., Harahap, H., Andayani, N., dan Suryanti, S. 2026. Kajian Produksi Kelapa Sawit pada Variasi Topografi: Rendahan (*Lowland*), Dataran (*Flatland*) dan Perbukitan (*Hill Area*). *AGROFORETECH*, 4, 258–265.
- Julianti, E., Fahmy, K., Rafi, M., and Muhammad, D. R. A. 2026. Characteristics of Avocado var . Tongar Fruits Effect of Maturity Level on Physical and Sensory Characteristics of Avocado var . tongar Fruits. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1583. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1583/1/012070>
- Lenga, G. L., Sumantra, I. K., Hanum, F., dan Widnyana, I. K. 2022. Kuantitas dan Kualitas Buah Salak Gula Pasir di Beberapa Sentra Produksi Di Bali. *AGRIMETA: Jurnal Pertanian Berbasis Keseimbangan Ekosistem* 23(23), 14–18.
- Miradji, M. A., Fifmansyah, M. M., Maharani, A., Kirana, N. P., Albani, R. K., and Syah, E. D. 2025. Ascendia: Journal of Economic and Business Advancement Kelayakan Usaha Salad Buah pada UMKM Kuliner Sehat: Tinjauan Aspek. *Ascendia: Journal of Economic and Business Advancement*, 1(2).
- Nasution, J. 2026. A Comprehensive Study of the Agronomy , Physiology , and Biochemistry of Salak Plants (*Salacca zalacca*) in the Shade. (*Journal of Tropical Estate Crops*, 3(1), 64–76. <https://doi.org/10.31289/jotec.v3i1.14379>
- Rahmadhan, G. R., Bisanti, U. K., Sudarti, dan Mahmudi, K. 2025. Analisis Konsep Fisika pada Teknologi Controlled Atmosphere Storage (CAS) dan Modified Atmosfer Storage (MAS) pada Umur Simpan Buah Tropis Gunawan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11, 342–368.
- Ritonga, R. 2024. Kajian Kualitas Buah Salak Sidimpunan Berdasarkan Jumlah Biji pada Elevasi yang Berbeda. *Jurnal Agrium*, 21(3).
- Rizalianti, N. R., Arifin, S. W., Yuliani, L., dan Sa'diah, I. 2025. Pemanfaatan Berbagai Jenis Buah dalam Pembuatan Permen Jeli terhadap. *Journal of Innovative Food Technology and Agricultural Product*, 03(02), 36–45. <https://doi.org/10.31316/jitap.v3i2.9092>
- Safira, A. S. R., Fadiati, A., dan Ridawati. 2025. Pengaruh Penambahan Persentase Larutan Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dan Gula Aren (*Arenga pinnata*) Terhadap Kualitas Fisik dan Organoleptik Es. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11, 1–18.
- Safnowandi. 2022. Pemanfaatan Vitamin C Alami Sebagai Antioksidan Pada Tubuh Manusia Safnowandi. *Biocaster: Jurnal Kajian Biologi*, 2(1), 6–13.
- Sahid, A., Suryadi, A., dan Aditya, N. 2025. The Effect of Climate on The Development of Brown Spot Disease (*Curvularia oryzae*) in Rice Plants. *BIO Web of Conferences*, 06006.
- Saputri, A., Prayogi, M. S., dan Ni'mah, F. 2025. Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Laju Fotosintesis pada Tanaman Bayam (*Amaranthus* Sp.). *Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2.
- Sari, L. D. A., Ningrum, R. S., Ramadani, A. H., dan Kurniawati, E. 2021. Kadar Vitamin C Buah Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill) Tiap Fase Kematangan Berdasar Hari Setelah Tanam. *Journal unair*, 8(1), 74–82.
- Septiani, S. 2025. Pengaruh Harga dan Kualitas Produk terhadap Keputusan Pembelian Buah Lokal di Pasar Tradisional Caringin Kota Bandung. *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Bisnis*, 02, 16–21.
- Sitanggang, A., dan Dwi Raharjo, A. M. F. 2025. Analisis Komoditas Unggulan dan Strategi Pengembangan Tanaman Buah Tahunan di Kabupaten Cilacap. *Jurnal Inovasi Daerah*, 04, 105–118. <https://doi.org/10.56655/jid.v4i2.428>
- Solin, N. F., Oktaviani, M., dan Nurjannah, W. 2025. Aspek Pemasaran. *Kampus Akademik Publishing*, 3(2), 450–463.
- Somaly, S. 2026. Optimal Storage Temperature for Fresh Fruits : Physiological Responses , Quality Retention , and Shelf-Life Extension. *Journal of Agriculture and Technology (2026)*, 2, 79–85.
- Wardana, M. K., dan Wrasiasi, L. P. 2025. Karakteristik Bubuk Buah Salak Gula Pasir (*Salacca Zalacca* Var. Amboinensis) pada Perlakuan Lama dan Suhu Blansir. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 13(3), 440–449.
- Widyantari, I. N., Widjayanti, F. N., Howara, D., Alfikri, Syabena, M. F., Ningsih, Y. M., Malika, U. E., Nlsa, K., Widarti, S., Aulia, A. N., dan Djibran, M. M. (2023). Kewirausahaan dan Agribisnis Pertanian (Muhammad Ikhlas Al Kutsi (ed.); I). CV. Hei Publishing Indonesia.
- Xu, J., Shi, T., Wang, Z., He, Y., and Liu, Z. 2025. Impact of Sugar and Organic Acid Metabolism on Pitaya Flavor and Nutritional Quality. *International Journal of Horticulture*, 15(1), 8–20. <https://doi.org/10.5376/ijh.2025.15.0002>
- Zahra, L. T., Qadir, F., Hafeez, A., Chang, M. S., Khaskheli, M. A., Farooq, A., Maryam, U., Javed, M. U., and Aslam, P. 2025. Basic PentaCysteine Gene Family in Cotton: Comprehensive Genomic Characterization and Salt Stress-responsive Gene Expression Profiling. *International Journal of Agriculture and Biosciences* 2025, 14(1), 109–117.