

Karakteristik Fisik, Kimia, dan Fungsional Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*) dari Dua Agroekosistem Dataran Tinggi di Sumatera Barat

Rahmi Holinesti^{1,2}, Yusniwati³, Tuty Anggraini^{4*}, dan Daimon Syukri⁴

¹Program Doktor Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis Padang 25163, Sumatera Barat, Indonesia

²Program Studi Tata Boga, Departemen Ilmu Kesejahteraan Keluarga, Fakultas Pariwisata dan Perhotelan, Universitas Negeri Padang, 25131, Sumatera Barat, Indonesia

³Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis Padang 25163, Sumatera Barat, Indonesia

⁴Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis Padang 25163, Sumatera Barat, Indonesia

E-mail korespondensi: tuty@ae.unand.ac.id

Abstrak

Terung belanda (*Solanum betaceum*) merupakan buah dataran tinggi yang memiliki nilai ekonomi serta potensi fungsional sebagai sumber senyawa bioaktif dan pigmen alami. Namun demikian, kajian yang mengaitkan kondisi agroekosistem dengan karakteristik fisik, kimia, dan fungsional buah ini masih terbatas di wilayah tropis. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas buah Terung Belanda yang dibudidayakan pada dua agroekosistem dataran tinggi di Sumatera Barat, yaitu: Alahan Panjang (Solok) dan Bukik Batabuah (Agam). Karakteristik fisik, kimia, dan fungsional yang diamati, dianalisis secara statistik menggunakan uji *t* independen ($\alpha = 0,05$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa buah yang berasal dari Alahan Panjang menunjukkan karakteristik yang lebih unggul, meliputi ukuran buah yang lebih besar, tekstur yang lebih kuat, kandungan nutrisi yang lebih tinggi, intensitas warna yang lebih pekat, aktivitas antioksidan yang lebih kuat, serta daya hambat antimikroba yang lebih tinggi terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Meskipun buah dari Bukik Batabuah menunjukkan performa yang relatif lebih rendah, lokasi tersebut tetap memiliki potensi sebagai daerah produksi apabila didukung dengan praktik budidaya dan pascapanen yang dioptimalkan. Temuan ini menegaskan peran kondisi agroekosistem dataran tinggi dalam menentukan kualitas buah terung belanda dan menyoroti potensinya sebagai pangan fungsional alami. Penelitian ini turut berkontribusi terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB/SDGs) ke-2 (Tanpa Kelaparan), ke-3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera), ke-8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi), serta ke-12 (Konsumsi yang Bertanggung Jawab).

Kata kunci: Agroekosistem, Fisiko-kimia, Fungsional, Karakteristik, Terung Belanda.

Abstract

Tamarillo (*Solanum betaceum*) is a highland fruit species endowed with considerable economic significance and functional potential as a natural source of bioactive compounds and pigments. Nevertheless, comprehensive investigations elucidating the interplay between agroecosystem conditions and the morphological, chemical, and functional attributes of this fruit remain scarce in tropical regions. The present study aimed to compare the quality characteristics of tamarillo fruits cultivated under two distinct highland agroecosystems in West Sumatra—Alahan Panjang (Solok) and Bukik Batabuah (Agam). Analyses encompassed assessments of physical, chemical, and functional properties, with data evaluated using independent *t*-tests ($\alpha = 0.05$). Tamarillo fruits originating from Alahan Panjang exhibited superior quality attributes, characterized by larger fruit size, firmer texture, enhanced nutritional composition, higher color intensity, stronger antioxidant capacity, and greater antimicrobial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Although fruits from Bukik Batabuah demonstrated comparatively lower performance, the site nonetheless possesses potential as a production area when supported by optimized cultivation and postharvest management practices. These findings underscore the pivotal influence of highland agroecosystem conditions on tamarillo fruit quality and reinforce its value as a natural functional food resource. Furthermore, this research contributes to advancing the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), specifically Goal 2 (Zero Hunger), Goal 3 (Good Health and Well-being), Goal 8 (Decent Work and Economic Growth), and Goal 12 (Responsible Consumption and Production).

Keywords: Agroecosystem, Functional Characteristics, Phytochemical Properties, Physical Attributes, Tamarillo (*Solanum betaceum*).

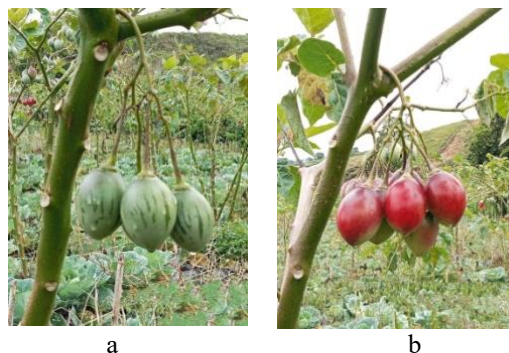
1. Pendahuluan

Terung Belanda (*Solanum betaceum*), yang dikenal secara umum sebagai *tree tomato*, merupakan tanaman hortikultura yang berasal dari kawasan Andes di Amerika Selatan, khususnya Ekuador, Peru, Kolombia, dan Bolivia. Dalam beberapa dekade terakhir, tanaman ini telah diperkenalkan dan dibudidayakan di daerah dataran tinggi tropis dan subtropis di berbagai belahan dunia, termasuk Asia Tenggara, dengan perluasan yang cukup pesat di Indonesia (Viera *et al.*, 2022; Coyago-Cruz *et al.*, 2023; Machado *et al.*, 2024). Selain memiliki nilai agronomis yang penting, Terung Belanda juga diakui sebagai sumber potensial pangan fungsional dan pigmen alami karena kandungannya yang kaya akan senyawa bioaktif seperti antosianin, β -karoten, flavonoid, vitamin, dan serat pangan, yang bermanfaat bagi kesehatan (Diep *et al.*, 2020; Arivazhagan & Kalpana, 2025). Warna yang khas, tekstur yang unik, serta komposisi kimia yang beragam semakin memperkuat potensinya untuk dikembangkan sebagai bahan baku produk pangan inovatif dan bernilai tambah (Rito *et al.*, 2023).

Penelitian ini dilakukan pada dua agroekosistem dataran tinggi di Sumatera Barat, yaitu: Alahan Panjang (Kabupaten Solok; 1.400 – 1.600 mdpl) dan Bukik Batabuah (Kabupaten Agam; 1.200 mdpl). Berdasarkan data dari BMKG Sumatera Barat (2025) kedua lokasi tersebut memiliki karakter iklim dataran tinggi tropis, namun menunjukkan perbedaan yang nyata dalam kondisi lingkungannya. Bukik Batabuah memiliki kisaran suhu harian antara 19,9–22,1°C. Suhu minimum di Bukik Batabuah berkisar antara 19,9–22,1°C dan suhu maksimum 30,4–33,1°C, dengan kelembapan relatif rata-rata sebesar 83% serta curah hujan tahunan antara 2.700–3.500 mm. Sebaliknya, Alahan Panjang diklasifikasikan sebagai wilayah beriklim hutan hujan tropis yang ditandai oleh curah hujan tinggi sepanjang tahun dan suhu yang lebih sejuk secara konsisten. Variasi ketinggian tempat, rentang suhu harian, kelembapan, dan radiasi matahari diperkirakan berpengaruh terhadap biosintesis pigmen (seperti antosianin dan karotenoid) serta akumulasi metabolit fungsional pada buah. Kondisi ini menjadi dasar pendekatan komparatif yang digunakan dalam penelitian ini. Buah Terung Belanda yang diamati dibudidayakan pada sistem tumpang sari, sebagai tanaman sela di ladang pertanian, secara alami tanpa penggunaan pupuk.

Meskipun beberapa penelitian internasional telah menyoroti komposisi fitokimia dan manfaat kesehatan dari buah terung belanda, sebagian besar studi masih berfokus pada profil senyawa bioaktif atau pemanfaatannya dalam produk olahan (Chen *et al.*, 2005; Rito *et al.*, 2023). Pada tingkat nasional, penelitian umumnya terbatas pada evaluasi organoleptik dan pemanfaatannya sebagai bahan pangan lokal (Nocianitri *et al.*, 2025; Hastuti *et al.*, 2025). Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam melakukan

perbandingan yang sistematis terhadap sifat fisik, kimia, dan fungsional buah terung belanda yang dibudidayakan pada berbagai agroekosistem dataran tinggi.



Gambar 1. Buah Terung Belanda belum matang (a) dan buah Terung Belanda matang (b).

Ciri khas dari penelitian ini terletak pada pendekatannya yang komprehensif, mencakup atribut fisik (panjang, diameter, bobot, kekerasan, dan warna), karakteristik kimia (komposisi proksimat, pH, serat kasar, serat pangan, dan vitamin C), serta sifat fungsional (aktivitas antioksidan dan antimikroba). Perbandingan antar lokasi memberikan wawasan baru mengenai bagaimana faktor lingkungan mempengaruhi kualitas dan potensi fungsional buah, sehingga dapat menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan strategi budidaya serta peningkatan pemanfaatan produk hortikultura lokal (Silva *et al.*, 2023).

Selain itu, penelitian ini memiliki keterkaitan yang erat dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*). Melalui karakterisasi menyeluruh terhadap kualitas buah, penelitian ini berkontribusi terhadap SDG 2 (Tanpa Kelaparan) melalui diversifikasi sumber pangan bergizi dari potensi lokal. Aktivitas antioksidan dan antimikroba yang terbukti mendukung SDG 3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera) dengan menegaskan peran pangan fungsional alami dalam mengurangi risiko penyakit degeneratif. Potensi peningkatan nilai tambah produk hortikultura lokal juga selaras dengan SDG 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi) melalui perluasan peluang usaha dan hilirisasi produk. Selain itu, pemanfaatan pigmen alami sebagai alternatif bahan tambahan sintetis mendukung SDG 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab), guna mewujudkan sistem pangan yang lebih berkelanjutan (Novais *et al.*, 2022; Mattioli *et al.*, 2020). Secara keseluruhan, penelitian ini memiliki signifikansi akademik dalam memperluas pengetahuan ilmiah mengenai buah terung belanda, sekaligus relevansi praktis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan serta peningkatan kesejahteraan masyarakat melalui optimalisasi potensi hortikultura lokal.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimen, buah terung belanda diperoleh dari petani pada dua lokasi dataran tinggi di Sumatera Barat, yaitu Alahan Panjang (Kabupaten Solok) dan Bukik Batabuah (Kabupaten Agam). Analisis sifat fisik, kimia, dan fungsional dilakukan di Laboratorium Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Universitas Andalas, Padang. Untuk analisis kimia dan fungsional digunakan pelarut dengan tingkat kemurnian analitik (etanol, metanol, aseton, asetonitril, dan air deionisasi), dengan kombinasi yang disesuaikan terhadap polaritas senyawa guna mengoptimalkan rendemen dan selektivitas ekstraksi (Lee *et al.*, 2024). Asam format digunakan sebagai fase gerak pada kromatografi cair, sedangkan NaOH, HCl, dan H₂SO₄ berfungsi sebagai reagen dalam analisis proksimat. Aktivitas antioksidan diukur menggunakan metode DPPH, yaitu metode kolorimetrik standar untuk menentukan kapasitas penangkap radikal bebas (Baliyan *et al.*, 2022). Uji aktivitas antimikroba dilakukan dengan menggunakan media *Mueller Hinton* dan *Nutrient agar* untuk pertumbuhan bakteri, dengan *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* sebagai organisme indikator (Ibn Awadh & Ahmed, 2025).

Peralatan yang digunakan untuk analisis di laboratorium antara lain: timbangan digital (*Ohaus*) untuk penimbangan sampel, waskom stainlesssteel (*Nesco*) untuk pencucian dan penampungan buah, piring porselen (*Iwaki*) sebagai wadah uji, gelas ukur (*Pyrex*) untuk pengukuran larutan, *food processor* (*Philips*) untuk homogenisasi daging buah, serta spatula, sendok, dan pisau berbahan stainless steel (*Nesco*) untuk penanganan sampel. Selain itu, digunakan pula talenan plastik (*OneMed*) untuk persiapan buah. Instrumen analitik yang digunakan antara lain timbangan analitik (*Ohaus Pioneer*) untuk penimbangan presisi, spektrofotometer UV-Vis (*Shimadzu UV-1800*) untuk pengukuran aktivitas antioksidan, cawan Petri kaca (*Iwaki*) untuk kultur mikroba, tabung reaksi dan labu Erlenmeyer (*Pyrex*) untuk reaksi kimia, pipet volumetrik dengan bola karet (*Iwaki*) untuk penanganan cairan, pembakar Bunsen (*Herolab*) untuk pemanasan, serta inkubator (*Memmert*) untuk pertumbuhan mikroba. Sifat fisik buah dianalisis menggunakan jangka sorong digital (*Mitutoyo*) untuk pengukuran panjang dan diameter, *pH meter* (*Hanna Instruments*) untuk mengukur keasaman, *chromameter* (*Konica Minolta CR-400*) untuk parameter warna, *texture analyzer* (*Stable Micro Systems TA.XTplus*) untuk mengukur kekerasan, dan *aw meter* (*AquaLab 4TE*) untuk menentukan aktivitas air. Peralatan tambahan yang digunakan meliputi cawan aluminium dan porselen (*Iwaki*) untuk analisis kadar air dan abu, oven pengering (*Memmert*) dan desikator kaca (*Iwaki*) untuk proses pengeringan dan pendinginan sampel, tungku tanur (*muffle furnace, Nabertherm*) untuk penentuan kadar abu, unit destilasi Kjeldahl (*Buchi*) untuk analisis protein, buret (*Pyrex*) untuk titrasi, alat

ekstraksi Soxhlet (*Buchi*) untuk analisis kadar lemak, serta pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*, IKA) untuk homogenisasi larutan.

Prosedur Analisis

Karakterisasi buah terung belanda dilakukan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu sifat fisik, kimia, dan fungsional. Analisis sifat fisik meliputi pengukuran dimensi buah (panjang dan diameter), bobot, tekstur, serta warna, karena parameter tersebut berkaitan erat dengan tingkat kematangan, kualitas visual, dan nilai komersial buah. Tekstur dianalisis menggunakan *texture analyzer* untuk menentukan kekerasan jaringan, yang merupakan atribut penting bagi daya simpan dan penerimaan konsumen (Khule *et al.*, 2024). Warna diukur dengan *chromameter* sebagai indikator dinamika pigmen bioaktif, khususnya antosianin dan karotenoid, yang memiliki peran utama dalam studi pewarna alami (Sitanggang *et al.*, 2022). Analisis sifat kimia mencakup penentuan kadar air, abu, protein, lemak, karbohidrat, serat kasar, serat pangan, vitamin C, dan pH. Kadar air diukur untuk menilai stabilitas buah dan kerentanannya terhadap kerusakan mikrobiologis, sedangkan kadar abu digunakan sebagai indikator total kandungan mineral. Analisis proksimat (protein, lemak, dan karbohidrat) dilakukan untuk menggambarkan komposisi makronutrien buah. Serat kasar dianalisis untuk mengukur komponen struktural tak tercerna seperti lignin dan selulosa yang berkontribusi terhadap kestabilan jaringan dan karakteristik tekstur. Sebaliknya, analisis serat pangan difokuskan pada fraksi larut dan tidak larut yang berperan penting dalam kesehatan pencernaan, pengaturan kadar glukosa darah, serta pencegahan penyakit kardiovaskular. Kandungan vitamin C ditentukan sebagai penanda kapasitas antioksidan alami dan kesegaran buah, sedangkan pH diukur sebagai indikator tingkat keasaman yang memengaruhi cita rasa, kestabilan pigmen, dan ketahanan terhadap mikroorganisme (Sarker *et al.*, 2022). Analisis sifat fungsional meliputi uji aktivitas antioksidan dan antimikroba. Kapasitas antioksidan dievaluasi menggunakan metode DPPH IC₅₀, yang dikenal luas karena kesederhanaan, sensitivitas, dan keandalannya dalam mengukur kemampuan senyawa fenolik menangkap radikal bebas (Gulcin & Alwasel, 2023). Aktivitas antimikroba diuji terhadap *Staphylococcus aureus* (Gram positif) dan *Escherichia coli* (Gram negatif), yang mewakili bakteri dengan struktur dinding sel berbeda dan relevan sebagai patogen bawaan pangan (Ibn Aadh *et al.*, 2025). Secara keseluruhan, rangkaian analisis ini memberikan pemahaman menyeluruh mengenai peran ganda terung belanda sebagai buah bergizi dan pangan fungsional yang berpotensi memberikan manfaat dalam pencegahan penyakit degeneratif serta peningkatan keamanan pangan.

Analisis Data

Analisis data secara statistik dilakukan menggunakan *independent t-test* ($\alpha = 0,05$) untuk membandingkan karakteristik fisik, kimia, dan fungsional buah terung belanda yang berasal dari dua lokasi dataran tinggi, yaitu Alahan Panjang (Solok) dan Bukik Batabuah (Agam). Uji normalitas dan homogenitas varians masing-masing diverifikasi menggunakan uji Shapiro–Wilk dan Levene untuk memastikan kelayakan penerapan uji parametrik. Seluruh analisis dilakukan dengan perangkat lunak IBM SPSS Statistics versi 26 (IBM Corp., Armonk, NY, USA), dan hasil disajikan dalam bentuk rata-rata ($\pm$) standar deviasi (SD). Perbedaan antarperlakuan dinyatakan signifikan pada tingkat kepercayaan $p < 0,05$.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Fisik Buah Terung Belanda

Analisis statistik (Tabel 1) menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan ($p < 0,001$) pada seluruh parameter fisik buah terung belanda, meliputi bobot, panjang, diameter, dan tekstur, antara kedua lokasi budidaya. Buah yang berasal dari Alahan Panjang memiliki bobot hampir dua kali lebih besar dibandingkan buah dari Bukik Batabuah (masing-masing 70,84 g dan 32,20 g) serta menunjukkan ukuran panjang dan diameter yang lebih besar, sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Selain itu, tekstur buah dari Alahan Panjang juga jauh lebih keras (194,16 N/cm²) dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah (65,74 N/cm²). Temuan ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan terutama ketinggian tempat, suhu, dan intensitas cahaya memiliki peran yang menentukan terhadap morfologi buah (Coyago *et al.*, 2023).

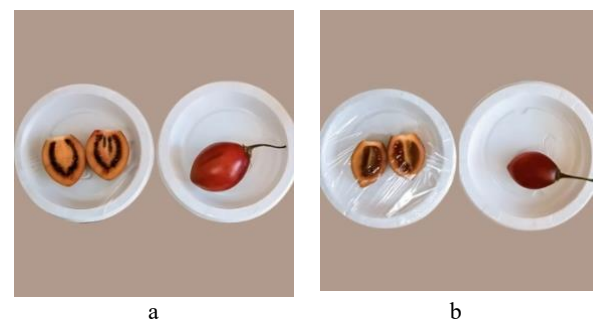
Secara visual (Gambar 2), buah terung belanda yang berasal dari Alahan Panjang berukuran lebih besar dan berwarna relatif lebih cerah dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah, yang cenderung lebih kecil dan berwarna lebih gelap. Kondisi lingkungan yang lebih sejuk, disertai dengan amplitudo suhu harian yang lebih besar, meningkatkan efisiensi fotosintesis dan akumulasi biomassa, sehingga mendukung pembesaran ukuran buah. Pengamatan ini sejalan dengan temuan pada berbagai spesies buah lainnya, dimana budidaya pada lokasi yang lebih tinggi umumnya menghasilkan buah dengan ukuran lebih besar akibat akumulasi karbohidrat yang lebih efisien (Dhatwalia *et al.*, 2024; Anggraini *et al.*, 2025). Sebagai contoh, penelitian pada buah stroberi menunjukkan bahwa buah yang ditanam pada ketinggian sekitar 1.500 mdpl memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan buah yang tumbuh pada dataran rendah, yang dikaitkan dengan interaksi antara suhu, radiasi, dan fase pertumbuhan (Soppelsa *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2025). Kondisi ekologis di Alahan Panjang, yang terletak pada elevasi lebih tinggi dibandingkan Bukik Batabuah, menunjukkan pola serupa, sehingga menghasilkan buah dengan bobot dan diameter lebih

besar, sebagaimana juga dilaporkan untuk tanaman terung belanda di Amerika Selatan (Viera *et al.*, 2022). Selain ukuran, tekstur buah sangat dipengaruhi oleh komposisi dan stabilitas dinding sel, khususnya kandungan pektin, yang sensitif terhadap suhu malam hari yang rendah serta aktivitas enzim pelunak seperti poligalakturonase, sebagaimana telah dibuktikan pada buah stroberi (Cybulska *et al.*, 2022). Lebih lanjut, suhu lingkungan berperan penting dalam menentukan tekstur dan daya simpan pascapanen buah (Coyago-Cruz *et al.*, 2023; Machado *et al.*, 2024). Secara statistik maupun biologis, perbedaan ukuran dan kekerasan buah antara kedua lokasi menunjukkan hasil yang signifikan, di mana buah dari Alahan Panjang memiliki ukuran yang lebih besar dan tekstur yang lebih keras. Temuan ini menegaskan pentingnya faktor ketinggian dan suhu dalam membentuk morfologi buah beri maupun terung belanda (Dhatwalia *et al.*, 2024; Soppelsa *et al.*, 2023).

Tabel 1. Parameter Fisik Buah Terung Belanda Pada Dua Lokasi

Parameter	Alahan Panjang (Rerata $\pm$ SD)	Bukik Batabuah (Rerata $\pm$ SD)	P- value	Signifikansi ($\alpha=0,05$)
Berat buah (g)	70.84 $\pm$ 0.26	32.20 $\pm$ 0.16	<0.001	***
Panjang buah (cm)	5.74 $\pm$ 0.02	5.27 $\pm$ 0.02	<0.001	***
Diameter buah (cm)	4.50 $\pm$ 0.02	3.67 $\pm$ 0.02	<0.001	***
Tekstur (N/cm ²)	194.16 $\pm$ 0.52	65.74 $\pm$ 0.18	<0.001	***

Keterangan: Data terkonfirmasi terdistribusi normal (uji Shapiro–Wilk, $p > 0,05$) dan memiliki varians yang homogen (uji Levene, $p > 0,05$), sehingga analisis menggunakan *Independent Samples t-test* dapat dilakukan. Tingkat signifikansi ditunjukkan sebagai berikut: ns = tidak signifikan ($p > 0,05$); * = signifikan ($p < 0,05$); *** = sangat signifikan ($p < 0,001$).



Gambar 2. Buah terung belanda yang berasal dari Alahan Panjang (a) dan Bukik Batabuah (b).

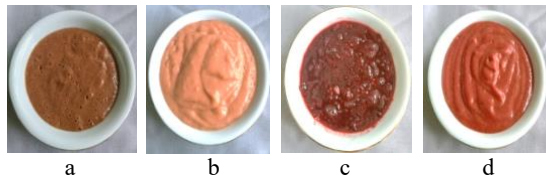
Analisis warna kulit buah (Tabel 2) menunjukkan bahwa nilai kecerahan (L*) pada buah yang berasal dari Alahan Panjang (39,3) lebih rendah dibandingkan dengan yang dilaporkan untuk sebagian besar varietas kuning (55,2) dan merah (49,0), serta lebih mendekati kelompok varietas ungu gelap yang kaya pigmen (Rohilla & Mahanta, 2024). Sebaliknya, nilai L* pada buah dari Bukik Batabuah (58,2) lebih tinggi dibandingkan rata-rata varietas merah atau ungu, dan lebih sebanding dengan kelompok oranye/kuning yang umumnya kaya akan karotenoid (Diep *et al.*, 2020). Perbedaan ini menegaskan pengaruh ketinggian tempat

dan mikroklimat terhadap intensitas warna kulit buah (Gambar 3). Selain kecerahan (L^*), parameter kromatik lainnya juga menunjukkan variasi yang konsisten antara kedua lokasi. Nilai kemerahan (a^*) pada buah dari Alahan Panjang (14,72) lebih tinggi dibandingkan dengan Bukik Batabuah (10,70), yang mencerminkan akumulasi pigmen merah yang lebih kuat. Pengamatan ini sejalan dengan temuan di Selandia Baru, di mana konsentrasi antosianin yang lebih tinggi secara langsung berhubungan dengan peningkatan nilai a^* (Diep *et al.*, 2020).

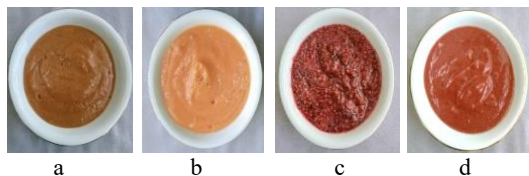
Tabel 2. Analisis Warna Buah Terung Belanda di Dua Lokasi

Observation Indicator	Alahan Panjang (Mean $\pm$ SD)	Bukik Batabuah (Mean $\pm$ SD)	P-value	Signifikan ($\alpha = 0.05$)
Kulit				
L^* (Kecerahan)	39.30 $\pm$ 0.16	58.20 $\pm$ 0.16	<0.001	***
a^* (Kemerahan)	10.70 $\pm$ 0.07	14.72 $\pm$ 0.08	<0.001	***
b^* (Kekuningan)	15.70 $\pm$ 0.07	25.68 $\pm$ 0.08	<0.001	***
Daging				
L^* (Kecerahan)	46.16 $\pm$ 0.11	56.26 $\pm$ 0.11	<0.001	***
a^* (Kemerahan)	15.26 $\pm$ 0.11	12.24 $\pm$ 0.11	<0.001	***
b^* (Kekuningan)	33.94 $\pm$ 0.11	23.36 $\pm$ 0.11	<0.001	***
Biji				
L^* (Kecerahan)	42.34 $\pm$ 0.12	35.20 $\pm$ 0.16	<0.001	***
a^* (Kemerahan)	14.08 $\pm$ 0.08	16.52 $\pm$ 0.08	<0.001	***
b^* (Kekuningan)	30.74 $\pm$ 0.11	5.42 $\pm$ 0.08	<0.001	***
Daging dan biji				
L^* (Kecerahan)	51.26 $\pm$ 0.11	56.46 $\pm$ 0.11	<0.001	***
a^* (Kemerahan)	19.56 $\pm$ 0.11	16.36 $\pm$ 0.11	<0.001	***
b^* (Kekuningan)	17.26 $\pm$ 0.11	20.66 $\pm$ 0.11	<0.001	***

Keterangan: Data terkonfirmasi terdistribusi normal (uji Shapiro-Wilk, $p > 0,05$) dan memiliki varians yang homogen (uji Levene, $p > 0,05$), sehingga analisis menggunakan *Independent Samples t-test* dapat dilakukan. Tingkat signifikansi ditunjukkan sebagai berikut: ns = tidak signifikan ($p > 0,05$); * = signifikan ($p < 0,05$); *** = sangat signifikan ($p < 0,001$).



Gambar 3. Puree kulit buah terung belanda (a), puree daging buah terung belanda (b), puree biji buah terung belanda (c), dan puree gabungan daging dan biji buah terung belanda (d) dari Alahan Panjang



Gambar 4. Puree kulit buah terung belanda (a), puree daging buah terung belanda (b), puree biji buah terung belanda (c), dan puree gabungan daging dan biji buah terung belanda (d) dari Bukik Batabuah

Dengan demikian, buah dari Alahan Panjang dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok varietas merah gelap yang kaya antosianin, sejalan dengan pengamatan pada kultivar lokal di Kenya (Maitha *et al.*, 2025). Nilai kekuningan (b^*) pada buah Alahan Panjang (15,70) lebih

rendah dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah (25,68), dan juga berada di bawah rentang yang dilaporkan untuk varietas kuning dan oranye secara internasional (Isla *et al.*, 2022; Rito *et al.*, 2023). Polanya menunjukkan bahwa akumulasi karotenoid pada buah Alahan Panjang relatif terbatas, sedangkan nilai b^* yang lebih tinggi pada buah Bukik Batabuah mencerminkan karakteristik varietas yang didominasi pigmen karotenoid. Secara keseluruhan, Alahan Panjang menunjukkan fenotipe berwarna gelap seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3 dengan pigmen yang didominasi antosianin, melebihi nilai yang dilaporkan di negara lain, sedangkan Bukik Batabuah yang dapat dilihat pada Gambar 4 lebih menyerupai varietas berwarna terang dengan kadar karotenoid yang sebanding, atau dalam beberapa kasus bahkan melebihi rentang global.

Pengamatan pada daging buah terung belanda menunjukkan bahwa nilai kecerahan (L^*) pada buah dari Alahan Panjang (46,16) lebih rendah dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah (56,26), sedangkan nilai kemerahan (a^*) (15,26 dibandingkan 12,24) dan kekuningan (b^*) (33,94 dibandingkan 23,36) lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa buah dari Alahan Panjang cenderung tampak lebih gelap, namun memiliki intensitas warna merah dan kuning yang lebih kuat, seperti yang terlihat secara visual pada Gambar 3. Polanya mencerminkan akumulasi pigmen bioaktif yang lebih kompleks, khususnya antosianin dan karotenoid, yang berfungsi sebagai antioksidan alami. Faktor lingkungan terutama amplitudo suhu harian yang tinggi dan intensitas cahaya yang meningkat di Alahan Panjang diduga merangsang biosintesis pigmen sekunder tersebut secara lebih intensif (Espley & Jaakola, 2023). Jika dibandingkan dengan genotipe Kolombia, profil warna buah Alahan Panjang termasuk dalam kelompok merah, ditandai oleh nilai L^* yang rendah dan a^* yang tinggi (Rito *et al.*, 2023), tetapi juga menunjukkan nilai b^* yang lebih tinggi, yang mengindikasikan kontribusi karotenoid yang signifikan (Machado *et al.*, 2024).

Sebaliknya, buah dari Bukik Batabuah, dengan nilai L^* yang lebih tinggi dan nilai b^* yang moderat, lebih menyerupai tipe Andean berwarna oranye/kuning. Nilai a^* pada buah Alahan Panjang (15,26) juga melebihi rentang rata-rata yang dilaporkan untuk varietas berwarna terang di Selandia Baru (a^* 10–13), yang menegaskan dominasi pigmen merah yang lebih kuat (Diep *et al.*, 2020). Sementara itu, nilai b^* pada buah Alahan Panjang (33,94) tidak hanya lebih tinggi dibandingkan dengan Bukik Batabuah (23,36), tetapi juga melampaui rentang yang dilaporkan untuk varietas oranye dari Ekuador (b^* 28–30) (Viera *et al.*, 2022), menunjukkan kontribusi karotenoid yang lebih besar. Secara keseluruhan, profil warna daging buah Alahan Panjang yang secara visual dapat dilihat pada Gambar 3 menunjukkan kombinasi yang khas antara kecerahan rendah tetapi kemerahan dan kekuningan tinggi dibandingkan dengan buah Bukik Batabuah (Gambar 4) maupun varietas internasional. Temuan ini menekankan

bahwa kondisi agroekologis di Alahan Panjang tidak hanya mendukung akumulasi antosianin, tetapi juga meningkatkan biosintesis karotenoid, sehingga menghasilkan profil buah yang lebih gelap dan kaya pigmen dibandingkan dengan sebagian besar laporan internasional.

Pengamatan pada biji terung belanda menunjukkan adanya perbedaan yang jelas antara kedua lokasi budidaya. Nilai kecerahan (L^*) pada biji dari Alahan Panjang (42,34) lebih tinggi dibandingkan dengan Bukik Batabuah (35,20), sedangkan nilai kemerahan (a^*) lebih rendah (14,08 dibandingkan 16,52) dan nilai kekuningan (b^*) jauh lebih tinggi (30,74 dibandingkan 5,42). Variasi ini mencerminkan perbedaan komposisi pigmen, yang kemungkinan dipengaruhi oleh kandungan fenolik, flavonoid, dan karotenoid, yang berperan ganda sebagai pelindung embrio serta penentu sifat visual dan potensi bioaktif biji (Hong *et al.*, 2025).

Jika dibandingkan dengan laporan dari Argentina, yang mencatat variasi kecerahan biji buah terung belanda (Orqueda *et al.*, 2023), biji buah dari Alahan Panjang berada dalam rentang menengah dan relatif lebih cerah dibandingkan dengan tipe biji gelap ($L^* < 40$). Nilai kemerahan (a^*) pada Alahan Panjang (14,08) juga lebih rendah dibandingkan Bukik Batabuah dan berada di bawah rentang yang dilaporkan untuk varietas merah tua di Selandia Baru (a^* sekitar 15–18; Diep *et al.*, 2020), menunjukkan intensitas pigmen merah yang lebih lemah. Sebaliknya, nilai kekuningan (b^*) sangat tinggi (30,74), jauh melebihi Bukik Batabuah (5,42) maupun rentang internasional sekitar 10–20 (Rito *et al.*, 2023), yang menandakan dominasi karotenoid pada biji Alahan Panjang. Secara visual (Gambar 3), biji dari Alahan Panjang ditandai dengan kecerahan dan kekuningan yang lebih tinggi serta kemerahan yang lebih rendah, sedangkan biji dari Bukik Batabuah dapat dilihat pada gambar 4 didominasi oleh pigmen merah. Kontras ini menegaskan perbedaan potensi bioaktif antara kedua agroekosistem.

Analisis gabungan daging dan biji buah menunjukkan bahwa buah dari Bukik Batabuah memiliki nilai kecerahan (L^*) lebih tinggi (56,46) dibandingkan dengan buah dari Alahan Panjang (51,26), sedangkan nilai kemerahan (a^*) dan kekuningan (b^*) lebih rendah pada Bukik Batabuah (masing-masing 16,36 dibandingkan 19,56 dan 20,66 dibandingkan 17,26). Pola ini menekankan pengaruh kuat interaksi jaringan dan kondisi agroekologis terhadap distribusi pigmen serta potensi warna fungsional buah. Nilai a^* yang lebih tinggi pada Alahan Panjang, yang melebihi rata-rata untuk buah berwarna terang, mencerminkan peningkatan akumulasi antosianin.

Temuan ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang mengaitkan stabilitas pascapanen dan intensitas kemerahan dengan konsentrasi antosianin (Murray *et al.*, 2024), serta dengan penelitian pada terung belanda di Amerika Latin, yang menunjukkan bahwa intensitas

merah sangat terkait dengan kandungan antosianin (Reyes-García *et al.*, 2021). Sebaliknya, nilai b^* yang lebih tinggi pada Bukik Batabuah menunjukkan dominasi fisiologis dan metabolik karotenoid pada terung belanda (Hu *et al.*, 2023).

Untuk perbandingan, penelitian pada buah naga berwarna ungu melaporkan penurunan nilai kecerahan (L^*) dari sekitar 92,85 pada tahap awal hingga 20,25 pada kematangan penuh (Shameena *et al.*, 2024). Oleh karena itu, nilai L^* gabungan daging buah dan biji dari Bukik Batabuah (56,46) dan Alahan Panjang (51,26) berada dalam rentang menengah lebih cerah dibandingkan buah matang dengan pigmen intens, tetapi lebih gelap dibandingkan buah muda. Secara visual, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, Alahan Panjang ditandai dengan kemerahan yang lebih kuat tetapi kecerahan dan kekuningan lebih rendah, sedangkan Bukik Batabuah yang ditunjukkan pada Gambar 4 memiliki kecerahan dan kekuningan lebih tinggi dengan kemerahan yang relatif lebih rendah.

Karakteristik Kimia Buah Terung Belanda

Analisis statistik (Tabel 3) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) antara buah terung belanda dari Alahan Panjang dan Bukik Batabuah pada hampir semua parameter kimia yang dievaluasi, termasuk kadar air, abu, protein, karbohidrat, serat pangan, vitamin C, dan pH. Hasil ini menegaskan pengaruh penting lokasi budidaya terhadap kualitas nutrisi buah. Buah dari Bukik Batabuah menunjukkan kadar air lebih tinggi (85,58%) dibandingkan dengan buah dari Alahan Panjang (83,78%), yang kemungkinan disebabkan oleh kondisi lingkungan setempat, seperti kelembapan relatif yang lebih tinggi dan suhu yang lebih stabil, sehingga mengurangi transpirasi dan meningkatkan akumulasi air di dalam buah (Singla *et al.*, 2021). Pola serupa telah diamati pada tomat (94–95%) dan stroberi (91–92%), di mana kelembapan dan manajemen irigasi secara signifikan memengaruhi kadar air buah (Yang *et al.*, 2025). Kadar air yang lebih tinggi pada buah Bukik Batabuah meningkatkan kesesuaian buah untuk dikonsumsi segar maupun produk olahan ringan yang menekankan kesegaran dan tekstur berair, seperti jus, *smoothie*, dan selai.

Buah terung belanda dari Alahan Panjang menunjukkan kualitas nutrisi fungsional yang lebih unggul, dengan lebih tinggi (1,39% dibandingkan 0,51%), protein (2,39% dibandingkan 1,30%), karbohidrat (12,83% dibandingkan 10,77%), serat pangan, dan vitamin C (0,76% dibandingkan 0,65%) dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah. Keunggulan ini kemungkinan terkait dengan radiasi matahari yang lebih optimal, ketersediaan nutrisi tanah yang relatif lebih tinggi, serta variabilitas iklim yang mendukung sintesis protein, akumulasi karbohidrat, dan biosintesis vitamin C (Gruda *et al.*, 2025). Kadar serat yang lebih tinggi berkontribusi pada kesehatan pencernaan dan regulasi glikemik, sejalan dengan peran

serat yang telah terbukti pada stroberi (2 g/100 g) dan tomat (1,2 g/100 g) (Mao *et al.*, 2021). Sementara itu, kadar lemak pada buah dari kedua lokasi tetap relatif rendah (<0,5%), sebanding dengan buah-buahan kaya air lainnya seperti tomat dan stroberi, yang menegaskan bahwa terung belanda merupakan sumber vitamin dan antioksidan yang berharga tanpa secara signifikan menambah asupan kalori (Ali *et al.*, 2020).

Tabel 3. Sifat Kimia Buah Terung Belanda Pada Dua Lokasi

Parameter (%)	Alahan Panjang (Mean $\pm$ SD)	Bukik Batabuah (Mean $\pm$ SD)	P-value	Signifikansi ($\alpha=0.05$)
Kadar air	83.78 $\pm$ 0.08	85.58 $\pm$ 0.08	< 0,001	***
Kadar abu	1.39 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.01	< 0,001	***
Kadar Protein	2.39 $\pm$ 0.01	1.30 $\pm$ 0.02	< 0,001	***
Kadar lemak	0.74 $\pm$ 0.01	0.73 $\pm$ 0.01	0.013	*
Kadar karbohidrat	12.83 $\pm$ 0.02	10.77 $\pm$ 0.02	< 0,001	***
Serat pangan	4.79 $\pm$ 0.01	2.40 $\pm$ 0.02	< 0,001	***
Serat kasar	6.13 $\pm$ 0.01	4.29 $\pm$ 0.01	< 0,001	***
Vitamin C	0.76 $\pm$ 0.01	0.65 $\pm$ 0.01	< 0,001	***
pH	3.60 $\pm$ 0.02	3.95 $\pm$ 0.02	< 0,001	***

Keterangan: Data terkonfirmasi terdistribusi normal (uji Shapiro–Wilk, $p > 0,05$) dan memiliki varians yang homogen (uji Levene, $p > 0,05$), sehingga analisis menggunakan *Independent Samples t-test* dapat dilakukan. Tingkat signifikansi ditunjukkan sebagai berikut: ns = tidak signifikan ($p > 0,05$); * = signifikan ($p < 0,05$); *** = sangat signifikan ($p < 0,001$).

Sebaliknya, buah dari Bukik Batabuah menunjukkan kualitas sensorik yang lebih unggul, dengan pH lebih tinggi (3,95 dibandingkan 3,60), yang menandakan tingkat keasaman lebih rendah dibandingkan buah dari Alahan Panjang. Karakteristik ini menghasilkan rasa yang lebih halus dan seimbang, sehingga meningkatkan penerimaan konsumen baik untuk konsumsi segar maupun produk olahan dengan profil rasa manis asam sedang, seperti minuman fungsional, puree, atau smoothie. Pengamatan ini sejalan dengan variasi pH yang dilaporkan pada tomat (4,0–4,6) dan stroberi (3,0–3,5), yang dipengaruhi oleh komposisi asam organik dan kondisi lingkungan (Gruda *et al.*, 2025).

Secara komparatif, kandungan mineral, protein, karbohidrat, serat pangan, dan vitamin C pada buah dari Alahan Panjang lebih tinggi dibandingkan dengan yang umumnya dilaporkan pada tomat dan stroberi, serta sebanding atau sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan ekotipe terung belanda Andean (Viera *et al.*, 2022; Mao *et al.*, 2021). Sebaliknya, nilai pH buah dari Bukik Batabuah lebih rendah dibandingkan stroberi, tetapi mendekati rentang yang diamati pada tomat, sehingga meningkatkan kesegaran dan kualitas sensorik keseluruhan. Jika dibandingkan dengan temuan dari wilayah lain, hasil ini menunjukkan bahwa buah Alahan Panjang unggul dalam komposisi nutrisi fungsional, sedangkan buah Bukik Batabuah lebih menonjol dalam hal kesegaran dan atribut rasa. Perbedaan ini menekankan potensi komplementer kedua lokasi untuk pemanfaatan, baik sebagai bahan makanan fungsional maupun untuk konsumsi segar langsung.

Karakteristik Fungsional Buah Terung Belanda

Penilaian komparatif (Tabel 4) menunjukkan adanya perbedaan yang sangat signifikan pada sifat fungsional buah terung belanda yang dibudidayakan di dua agroekosistem dataran tinggi di Sumatera Barat, yaitu Alahan Panjang dan Bukik Batabuah. Rata-rata aktivitas antioksidan buah dari Alahan Panjang (2645,20 $\pm$ 1,48 μ mol TE/g) jauh lebih tinggi dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah (8273,40 $\pm$ 1,48 μ mol TE/g), dengan perbedaan yang sangat signifikan ($p < 0,001$). Uji aktivitas antibakteri juga menunjukkan variasi yang jelas tergantung lokasi budidaya. Ekstrak buah dari Alahan Panjang menghasilkan zona hambat lebih luas terhadap *Escherichia coli* (19,24 $\pm$ 0,05 mm) dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah (6,04 $\pm$ 0,05 mm) ($p < 0,001$). Demikian pula, terhadap *Staphylococcus aureus*, buah dari Alahan Panjang menunjukkan efek penghambatan lebih kuat (7,94 $\pm$ 0,05 mm) dibandingkan Bukik Batabuah (2,56 $\pm$ 0,05 mm), dengan perbedaan yang kembali sangat signifikan ($p < 0,001$).

Perbedaan aktivitas antioksidan dan antibakteri pada buah terung belanda dari dua agroekosistem dataran tinggi di Sumatera Barat menegaskan peran krusial lingkungan dalam membentuk sifat fungsional buah. Temuan serupa di Ekuador menunjukkan bahwa senyawa fenolik, antosianin, dan karotenoid pada kulit, daging, dan selaput biji sangat dipengaruhi oleh ketinggian dan genotipe (Coyago-Cruz *et al.*, 2023; Diep *et al.*, 2021; Machado *et al.*, 2024). Aktivitas antioksidan yang lebih tinggi pada buah Alahan Panjang menunjukkan bahwa faktor agroekologis lokal terutama intensitas cahaya, suhu, dan elevasi merangsang akumulasi metabolit sekunder yang lebih besar. Tinjauan literatur lebih lanjut menegaskan bahwa cahaya, suhu, dan ketersediaan air merupakan pengatur utama biosintesis antosianin, yang secara langsung memengaruhi pigmentasi buah dan kualitas keseluruhan (Espley & Jaakola, 2023).

Ekstrak buah dari Alahan Panjang menunjukkan aktivitas antibakteri lebih kuat terhadap *Escherichia coli* (19,24 $\pm$ 0,05 mm) dan *Staphylococcus aureus* (7,94 $\pm$ 0,05 mm) dibandingkan dengan buah dari Bukik Batabuah, yang mengindikasikan kandungan metabolit sekunder antimikroba lebih tinggi, seperti flavonoid, senyawa fenolik, asam organik, dan senyawa volatil. Di Selandia Baru, kulit dan daging terung belanda yang mengandung fenolik dan metional menghasilkan zona hambat $\geq 13,5$ mm terhadap *E. coli*, *P. aeruginosa*, dan *S. aureus* (Diep *et al.*, 2021). Demikian pula, Pook *et al.* (2022) melaporkan bahwa asam itakonat, malat, dan sitrat berfungsi sebagai agen bakteriostatik terhadap patogen Gram-negatif maupun Gram-positif. Kulit terung belanda juga kaya akan fenolik, flavonoid, alkaloid, tanin, dan terpenoid, yang dapat menghambat pertumbuhan *E. coli* hingga 13,5 mm tergantung pada pelarut dan konsentrasi ekstrak (Machado *et al.*, 2024), sementara senyawa volatil seperti α -terpinen, β -pinen,

dan D-limonene semakin meningkatkan potensi antimikroba (Aguiar *et al.*, 2021).

Tabel 4. Sifat Fungsional Buah Terung Belanda

Indikator	Alahan Panjang (Mean ± SD)	Bukik Batabuah (Mean ± SD)	P-value	Signifikansi (α=0.05)
Aktivitas antioksidan	2645.20±1.48	8273.40±1.48	<0,001	***
Aktivitas antimikroba				
<i>Escherichia coli</i>	19.24±0.05	6.04±0.05	<0,001	***
<i>Staphylococcus aureus</i>	7.94±0.05	2.56±0.05	<0,001	***

Keterangan: Data terkonfirmasi terdistribusi normal (uji Shapiro-Wilk, $p > 0,05$) dan memiliki varians yang homogen (uji Levene, $p > 0,05$), sehingga analisis menggunakan *Independent Samples t-test* dapat dilakukan. Tingkat signifikansi ditunjukkan sebagai berikut: ns = tidak signifikan ($p > 0,05$); * = signifikan ($p < 0,05$); *** = sangat signifikan ($p < 0,001$).

Secara komparatif, penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan buah terung belanda dari Alahan Panjang relatif lebih tinggi dibanding Bukik Batabuah. Aktivitas antibakteri buah dari Alahan Panjang jauh lebih kuat, dengan zona hambat yang melebihi laporan dari Selandia Baru dan tinjauan terbaru, di mana ekstrak terung belanda menghambat pertumbuhan *E. coli* sekitar $\geq 13,5$ mm (Diep *et al.*, 2021; Machado *et al.*, 2024). Hasil ini menyoroti diferensiasi fungsional buah terung belanda antar-agroekosistem, yang dapat dioptimalkan secara strategis baik sebagai sumber antioksidan alami maupun sebagai agen antimikroba.

4. Kesimpulan

Buah terung belanda dari Alahan Panjang dan Bukik Batabuah di Sumatera Barat menunjukkan sifat fisik, kimia, dan fungsional yang berbeda, mencerminkan pengaruh kuat faktor agroekologis. Buah dari Alahan Panjang unggul dalam ukuran, kekerasan, kandungan nutrisi, serta aktivitas antioksidan dan antimikroba, mendukung potensinya sebagai pangan fungsional bernilai tinggi. Sementara itu, buah dari Bukik Batabuah memiliki tingkat kecerahan, kandungan karotenoid, kadar air, dan pH lebih tinggi, menghasilkan rasa yang lebih lembut dan segar, cocok untuk dikonsumsi langsung maupun diolah menjadi jus atau puree. Profil komplementer ini menekankan pentingnya pemanfaatan berbasis lokasi dan strategi pengembangan produk. Secara strategis, hal ini sejalan dengan SDG 2 (diversifikasi pangan kaya nutrisi), SDG 3 (pencegahan penyakit melalui makanan fungsional alami), SDG 8 (peluang usaha hortikultura), dan SDG 12 (pigmen alami berkelanjutan). Integrasi penelitian ilmiah, budidaya berbasis ekosistem, pengolahan bioteknologi, dan branding menjadi kunci untuk menjadikan terung belanda sebagai komoditas hortikultura dataran tinggi yang kompetitif baik di tingkat lokal maupun global.

5. Daftar Pustaka

Aguiar J, Gonçalves JL, Alves VL, Câmara JS. Relation between volatile composition and bioactive potential of regularly consumed vegetables and

fruits: an integrative approach. *Molecules* 2021; 26: 3653. DOI: 10.3390/molecules26123653.

Anggraini T, Anwar A, Hervani D, Suhendra D, Wisnubroto MP, Noflindawati N, Nasution IH. Quality of sugar palm sap (*Arenga pinnata*) from various production centers in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 2025; 26(2): e0260234. DOI: 10.13057/biodiv/d260234.

Ali MY, Sina AA, Khandker SS, Neesa L, Tanvir EM, Kabir A, Khalil MI, Gan SH. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: a review. *Foods* 2020; 10: 45. DOI: 10.3390/foods10010045.

Arivazhagan S, Kalpana CA. *Solanum betaceum* (tamarillo): a potential antioxidant-rich indigenous fruit of India. *Amerta Nutrition* 2025; 9: 319–328. DOI: 10.20473/amnt.v9i2.2025.319-328.

Baliyan S, Mukherjee R, Priyadarshini A, *et al.* Determination of antioxidants by DPPH radical scavenging activity and quantitative phytochemical analysis. *Molecules* 2022; 27: 1326. DOI: 10.3390/molecules27041326.

Chen SY, Zhang QF, Lin SD. Nutritional and phytochemical composition of the red tamarillo grown in Taiwan. *Journal of Food Composition and Analysis* 2024; 131: 106258. DOI: 10.1016/j.jfca.2024.106258.

Carrillo-Perdomo E, Aller A, Cruz-Quintana SM, Giampieri F, Alvarez-Suarez JM. Andean berries from Ecuador: a review on botany, agronomy, chemistry and health potential. *Journal of Berry Research* 2015; 5: 49–69. DOI: 10.3233/JBR-140093.

Coyago-Cruz E, Guachamin A, Méndez G, Moya M, Martínez A, Viera W, Heredia-Moya J, Beltrán E, Vera E, Villacís M. Functional and antioxidant evaluation of two ecotypes of control and grafted tree tomato (*Solanum betaceum*) at different altitudes. *Foods* 2023; 12: 3494. DOI: 10.3390/foods12183494.

Cybulska J, Drobek M, Panek J, Cruz-Rubio JM, Kurzyńska-Szklarek M, Zdunek A, Frąc M. Changes of pectin structure and microbial community composition in strawberry fruit (*Fragaria × ananassa* Duch.) during cold storage. *Food Chemistry* 2022; 381: 132151. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132151.

Delgado-Vargas VA, Ayala-Garay OJ, Arévalo-Galarza ML, Gautier H. Increased temperature affects tomato fruit physicochemical traits at harvest depending on fruit developmental stage and genotype. *Horticulturae* 2023; 9: 212. DOI: 10.3390/horticulturae9020212.

Dhatwalia J, Kumari A, Guleria I, Kumar Shukla R, Saleh N, El-Nashar HAS, El-Shazly M. Effect

- of altitude and harvest year on nutraceutical characteristics of *Rubus ellipticus* fruits. *Frontiers in Nutrition* 2024; 11: 1419862. DOI: 10.3389/fnut.2024.1419862.
- Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology* 2012; 49: 255–266. DOI: 10.1007/s13197-011-0365-5.
- Diep TT, Pook C, Yoo MJY. Physicochemical properties and proximate composition of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from New Zealand. *Journal of Food Composition and Analysis* 2020; 92: 103563. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103563.
- Diep TT, Yoo MJY, Pook C, Sadooghy-Saraby S, Gite A, Rush E. Volatile components and preliminary antibacterial activity of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Foods* 2021; 10: 2212. DOI: 10.3390/foods10092212.
- Diep T, Pook C, Yoo M. Phenolic and anthocyanin compounds and antioxidant activity of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Antioxidants* 2020; 9: 169. DOI: 10.3390/antiox9020169.
- Espley RV, Jaakola L. The role of environmental stress in fruit pigmentation. *Plant Cell and Environment* 2023; 46: 3663–3679. DOI: 10.1111/pce.14684.
- Gruda NS, Samuolienė G, Dong J, Li X. Environmental conditions and nutritional quality of vegetables in protected cultivation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2025; 24: e70139. DOI: 10.1111/1541-4337.70139.
- Guevara-Terán M, Gonzalez-Paramás AM, Beltrán-Noboa A, et al. Influence of altitude on the physicochemical composition and antioxidant capacity of strawberry: a preliminary systematic review and meta-analysis. *Phytochemistry Reviews* 2023; 22: 1567–1584. DOI: 10.1007/s11101-022-09834-z.
- Gulcin I, Alwasel SH. DPPH radical scavenging assay. *Processes* 2023; 11: 2248. DOI: 10.3390/pr11082248.
- Hu C, Gao X, Dou K, Zhu C, Zhou Y, Hu Z. Physiological and metabolic changes in tamarillo (*Solanum betaceum*) during fruit ripening. *Molecules* 2023; 28: 1800. DOI: 10.3390/molecules28041800.
- Hu H, Pradhan N, Xiao J, Xia R, Liao P. Chromatic symphony of fleshy fruits: functions, biosynthesis and metabolic engineering of bioactive compounds. *Molecular Horticulture* 2025; 5: 19. DOI: 10.1186/s43897-024-00142-y.
- Hong MJ, Ko CS, Kim JB, Kim DY. Enhancement of the seed color, antioxidant properties, and agronomic traits of colored wheat via gamma radiation mutagenesis. *Foods* 2025; 14: 487. DOI: 10.3390/foods14030487.
- Ibn Awadh H, Ahmed M. In vitro antibacterial activity of selected plant extracts against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Discover Applied Sciences* 2025; 7: 287. DOI: 10.1007/s42452-025-06730-x.
- Isla MI, Orqueda ME, Moreno MA, Torres S, Zampini IC. *Solanum betaceum* fruit waste: a valuable source of bioactive compounds to be used in foods and non-foods applications. *Foods* 2022; 11: 3363. DOI: 10.3390/foods11213363.
- Khule GD, Ranvare AR, Singh A, Babu CS. Texture profile analysis: a comprehensive insight into food texture evaluation. *Journal of Dynamic Control* 2024; 30–45. DOI: 10.71058/jodac.v8i9003.
- Lee JE, Jayakody TTM, Kim JI, Jeong JW, Choi KM, et al. The influence of solvent choice on the extraction of bioactive compounds: a comparative review. *Foods* 2024; 13: 3151. DOI: 10.3390/foods13193151.
- Li Y, Li T, Yan Z, Bariami W, Wu C, Yan S, Cheng J. Carotenoids in berries: composition, benefits, metabolic processes and influencing factors: a review. *Scientia Horticulturae* 2024; 329: 112956. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112956.
- Machado AMR, Teodoro AJ, Mariutti LRB, Fonseca JCN. Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) wastes and by-products: bioactive composition and health benefits. *Heliyon* 2024; 10: e37600. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e37600.
- Maitha MI, Okoth MW, Njue LG, Mbugue DO. Characterization of the attributes impacting industrial adoption of tree tomato fruit varieties in Kenya. *Cogent Food and Agriculture* 2025; 11: 2464226. DOI: 10.1080/23311932.2025.2464226.
- Mao T, Huang F, Zhu X, Wei D, Chen L. Effects of dietary fiber on glycemic control and insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Functional Foods* 2021; 82: 104500. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104500.
- Mattioli R, Francioso A, Mosca L, Silva P. Anthocyanins: a comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules* 2020; 25: 3809. DOI: 10.3390/molecules25173809.
- Murray H, Stipkovits F, Wühl J, Halbwirth H, Gössinger M. Strawberry post-harvest anthocyanin development to improve the colour stability of strawberry nectars. *Beverages* 2024; 10: 36. DOI: 10.3390/beverages10020036.
- Novais C, Molina AK, Abreu RMV, Santo-Buelga C, Ferreira ICFR, Pereira C, Barros L. Natural food colorants and preservatives: a review, a demand, and a challenge. *Journal of Agricultural and*

- Food Chemistry* 2022; 70: 2789–2805. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c07533.
- Orqueda ME, Zampini AC, Torres S, Isla MA. Functional characterization and toxicity of pectin from red chilito fruit waste (peels). *Plants* 2023; 12: 2603. DOI: 10.3390/plants12142603.
- Pook C, Diep TT, Yoo MJY. Simultaneous quantification of organic acids in tamarillo (*Solanum betaceum*) and untargeted chemotyping using methyl chloroformate derivatisation and GC-MS. *Molecules* 2022; 27: 1314. DOI: 10.3390/molecules27041314.
- Rampáčková E, Göttingerová M, Kiss T, Ondrášek I, Venuta R, Wolf J, Ercisli S. CIELAB analysis and quantitative correlation of total anthocyanin content in European and Asian plums. *European Journal of Horticultural Science* 2021; 86: 1. DOI: 10.17660/eJHS.2021/86.5.1.
- Reyes-García V, Totosaús A, Pérez-Chabela L, Juárez ZN, Cardoso-Ugarte GA, Pérez-Armendáriz B. Exploration of the potential bioactive molecules of tamarillo (*Cyphomandra betacea*): antioxidant properties and prebiotic index. *Applied Sciences* 2021; 11: 11322. DOI: 10.3390/app112311322.
- Rao MJ, Wang H, Lei H, Zhang H, Duan X, Bao L, Duan M. LC-MS/MS-based metabolomic study provides insights into altitude-dependent variations in flavonoid profiles of strawberries. *Frontiers in Plant Science* 2025; 15: 1527212. DOI: 10.3389/fpls.2024.1527212.
- Rohilla S, Mahanta CL. Phytochemical composition and in-vitro bioaccessibility of phenolics in different varieties of tamarillo (*Solanum betaceum*) fruits: effect of the high-pressure homogenization and ultrasonication. *Food Chemistry Advances* 2024; 4: 100673. DOI: 10.1016/j.focha.2024.100673.
- Rito M, Marques J, da Costa RM, Correia S, Lopes T, Martin D, Marques MPM. Antioxidant potential of tamarillo fruits: chemical and infrared spectroscopy analysis. *Antioxidants* 2023; 12: 536. DOI: 10.3390/antiox12020536.
- Shameena S, Lekshmi PRG, Gopinath PP, Gidagiri P, Kanagarajan S. Dynamic transformations in fruit color, bioactive compounds, and textural characteristics of purple-fleshed dragon fruit (*Hylocereus costaricensis*) across fruit developmental stages under humid tropical climate. *Horticulturae* 2024; 10: 1280. DOI: 10.3390/horticulturae10121280.
- Silva LDO, Rosado CP, Samary M, Cruz MADA, Montenegro J, da Silva GRP, Nunes JC. Antioxidant capacity, antitumor activity and metabolomic profile of tamarillo (*Solanum betaceum*). *International Journal of Food Science and Technology* 2024; 59: 6267–6276. DOI: 10.1111/ijfs.17363.
- Silva R, Fernandes T, Pereira C. Influence of agroecological conditions on the nutritional and functional quality of underutilized fruits: the case of tamarillo (*Solanum betaceum*). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 2023; 96: 45–53. DOI: 10.5073/JABFQ.2023.096.007.
- Singla M, Kaur P, Kumar A, Kaur Goraya R. Modelling the impact of relative humidity and storage temperature on transpiration rate of black carrot. *Journal of Food Processing and Preservation* 2021; 45: e15594. DOI: 10.1111/jfpp.15594.
- Sule MIS, Fitriatin BN, Siswanto SY, Nurbaity A. Unraveling key determinants of corn productivity: a correlation study of soil chemistry, biology, and climate in Sumedang, West Java, Indonesia. *Asian Journal of Agriculture* 2025; 9(1).
- Viera W, Samaniego I, Camacho D, Habibi N, Ron L, Sediqui N, Álvarez J, Viteri P, Sotomayor A, Merino J, Vásquez-Castillo W, Brito B. Phytochemical characterization of a tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) breeding population grown in the Inter-Andean Valley of Ecuador. *Plants* 2022; 11: 268. DOI: 10.3390/plants11030268.
- Wang F, Wang J, Ji G, Kang X, Li Y, Hu J, Qian C, Wang S. Regulation of anthocyanins and quality in strawberries based on light quality. *Horticulturae* 2025; 11: 377. DOI: 10.3390/horticulturae11040377.
- Yang P, Drohan PJ, Zhang X, Long H, Soulis KX, Shi X. Impacts of deficit irrigation on strawberry physiology, water productivity, quality, and yield. *Sustainability* 2025; 17: 675. DOI: 10.3390/su17020675.
- Sitanggang FA, Machfoedz MM, Falah MAF. Comparison of color quality measurement using chromameter and image processing for dehydrated strawberry products. In: *Proceedings of the 2nd International Conference for Smart Agriculture, Food, and Environment (ICSAFE 2021)*. Atlantis Press, 2022; 4–17. DOI: 10.2991/978-94-6463-090-9_2.