

PENGARUH VARIASI PH TERHADAP KADAR BETASIANIN EKSTRAK KULIT BUAH NAGA MERAH (*HYLOCEREUS POLYRHIZUS*) SEBAGAI KANDIDAT INDIKATOR KOLORIMETRI ALAMI

Astri Iga Siska¹, Ni Luh Putu Yuniantari^{2*}, Maghfirotul Amaniyah³

^{1,2}Program Studi Pengembangan Produk Agroindustri, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jawa Timur

³Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Ternak, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jawa Timur

*E-mail: yuniantari@poliwangi.ac.id

Riwayat Article

Received: 13 September 2026; Received in Revision: 30 September 2026; Accepted: 30 September 2026

Abstract

Red dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*) is an abundant agricultural waste in Banyuwangi Regency that remains underutilized, despite containing betacyanin pigment that is highly sensitive to pH changes, making it a promising candidate for a natural colorimetric indicator in smart packaging systems. This study aimed to analyze the effect of pH variation on the stability of betacyanin extracted from red dragon fruit peel. Extraction was carried out using the maceration method with aquabidest solvent at 40°C for 60 minutes, following green chemistry principles. Stability was tested at five pH levels (3, 5, 7, 9, and 11) using McIlvaine buffer (pH 3, 5, 7) and borate buffer (pH 9, 11), with absorbance measured at 537 nm using a UV-Vis spectrophotometer. Data were analyzed using a Completely Randomized Design (CRD), followed by One-Way ANOVA and Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 95% confidence level. The results showed that the highest betacyanin content was obtained at pH 5 (316.33 ppm), followed by pH 3 (213.00 ppm), and decreased significantly at pH 7 (124.67 ppm), pH 9 (74.67 ppm), and pH 11 (42.67 ppm). The ANOVA test revealed a highly significant effect of pH ($F = 38.229$; $\text{Sig.} = 0.000$), and Duncan's test grouped the treatments into four homogeneous subsets. It was concluded that acidic conditions, particularly pH 5, provide the most optimal environment for betacyanin stability, indicating its potential for development as a natural colorimetric indicator for smart food packaging.

Keywords: betacyanin, red dragon fruit peel, pH, stability

Abstrak

Kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) merupakan limbah hasil pertanian yang melimpah di Kabupaten Banyuwangi namun belum dimanfaatkan secara optimal, padahal mengandung pigmen betasianin yang bersifat sensitif terhadap perubahan pH sehingga berpotensi dikembangkan sebagai indikator kolorimetri alami pada sistem kemasan cerdas (*smart packaging*). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi pH terhadap kestabilan betasianin ekstrak kulit buah naga merah. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi menggunakan pelarut aquabidest pada suhu 40°C selama 60 menit. Uji stabilitas dilakukan pada lima taraf pH (3, 5, 7, 9, dan 11) menggunakan buffer McIlvaine (pH 3, 5, 7) dan buffer borat (pH 9, 11), dengan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 537 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data dianalisis menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), dilanjutkan uji One-Way ANOVA dan uji lanjut Duncan pada taraf kepercayaan 95%. Hasil menunjukkan kadar betasianin tertinggi diperoleh pada pH 5 (316,33 ppm), diikuti pH 3 (213,00 ppm), dan menurun signifikan pada pH 7 (124,67 ppm), pH 9 (74,67 ppm), hingga terendah pada pH 11 (42,67 ppm). Uji ANOVA menunjukkan pengaruh pH sangat nyata ($F = 38,229$; $\text{Sig.} = 0,000$), dan uji Duncan mengelompokkan perlakuan ke dalam empat subset homogen. Disimpulkan bahwa kondisi asam, khususnya pH 5, merupakan lingkungan paling optimal bagi kestabilan betasianin, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai indikator kolorimetri alami untuk kemasan pangan cerdas.

Kata kunci: betasianin, kulit buah naga merah, pH, stabilitas

1. Introduction

Pangan merupakan kebutuhan esensial yang pemenuhannya secara berkelanjutan menghadapi tantangan serius, terutama akibat tingginya tingkat kerusakan pada produk pangan segar selama proses penanganan dan distribusi, terutama pada kelompok produk berprotein tinggi yang secara alami lebih rentan mengalami penurunan mutu dalam waktu singkat. Kerusakan tersebut pada umumnya dipicu oleh proses degradasi protein yang berlangsung seiring waktu, di mana proses ini menghasilkan pelepasan senyawa basa volatil sebagai salah satu penanda utama menurunnya kesegaran produk. Sayangnya, indikator kerusakan yang selama ini digunakan secara

konvensional, yang umumnya bersifat visual, seperti perubahan warna, tekstur, atau aroma yang tercium langsung oleh indra manusia, seringkali baru dapat dikenali setelah kerusakan produk sudah berada pada tahap lanjut, sehingga gagal memberikan peringatan dini yang memadai sebelum produk benar-benar tidak layak konsumsi (Akerina *et al.*, 2024; Diva, Gilalo and Djuniarsono, 2024). Permasalahan ini semakin diperparah oleh kebiasaan dan ketergantungan konsumen terhadap label tanggal kedaluwarsa yang bersifat statis dan telah ditetapkan sejak awal produksi, padahal label semacam ini pada kenyataannya tidak mampu merepresentasikan kondisi mutu produk yang sesungguhnya, yang dapat berubah-ubah secara dinamis akibat fluktuasi suhu, kelembapan, dan kondisi penanganan selama proses distribusi maupun penyimpanan berlangsung (Manurung *et al.*, 2024).

Kabupaten Banyuwangi yang dikenal sebagai salah satu wilayah sentra produksi buah naga terbesar di Indonesia turut menghadapi tantangan tersendiri, yaitu pengelolaan limbah hasil pertanian dalam jumlah yang sangat besar dan terus meningkat seiring tingginya volume produksi (Firdaus *et al.*, 2024). Sebagai gambaran, produksi buah naga di Kabupaten Banyuwangi pada tahun 2024 tercatat mencapai angka yang cukup fantastis, yakni sebesar 1.686.619,75 kuintal (BPS, 2025), sebuah jumlah yang tentunya turut diiringi oleh volume limbah kulit buah naga yang tidak kalah besar dan selama ini belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Padahal, kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) yang selama ini kerap dianggap sebagai limbah tidak bernilai justru diketahui mengandung pigmen betasianin dalam jumlah yang melimpah. Pigmen alami berwarna merah keunguan ini merupakan senyawa bioaktif yang sensitif terhadap pH. Perubahan pH menyebabkan perubahan struktur kimia atau spesiasi betalain, sehingga karakteristik spektral dan warna pigmen ikut berubah. Sifat ini menjadikannya berpotensi sebagai bahan dasar sensor kolorimetri alami pada kemasan cerdas (*smart packaging*) Dengan demikian, upaya pemanfaatan limbah kulit buah naga ini tidak hanya menjadi solusi yang murah, mudah diperoleh, dan aman digunakan untuk aplikasi pangan (*food grade*), tetapi juga sejalan dengan semangat prinsip zero waste serta mendukung keberlanjutan (*sustainability*) industri pertanian di tingkat lokal.

Untuk menjawab persoalan ketidakakuratan label kedaluwarsa yang bersifat statis tersebut, maka diperlukan suatu inovasi berupa pengembangan kemasan cerdas yang dirancang agar mampu berkomunikasi secara lebih interaktif dan real-time dengan konsumen, pada beberapa makanan, salah satu perubahan yang dapat diamati adalah perubahan warna yang timbul akibat adanya rangsangan dari faktor eksternal seperti perubahan pH maupun suhu di sekitar produk (Ma *et al.*, 2021). Pemanfaatan pigmen alami yang bersumber dari kulit buah naga menjadi pilihan yang menarik dalam konteks ini, mengingat kemampuannya untuk menampilkan gradasi warna yang berbeda-beda bergantung pada tingkat keasaman lingkungan, di mana perubahan tingkat keasaman tersebut pada gilirannya berkorelasi erat dengan aktivitas mikroorganisme pembusuk maupun aktivitas enzimatis yang terjadi selama proses penurunan kualitas dan kesegaran produk pangan berlangsung (Huang *et al.*, 2025).

Dalam penerapan sebagai indikator kesegaran pangan, efektivitas betasianin masih dihadapkan pada sejumlah kendala teknis yang cukup signifikan, terutama disebabkan oleh sifat alaminya yang termolabil atau mudah mengalami kerusakan akibat pengaruh panas (Eryani *et al.*, 2025). Paparan terhadap suhu tinggi maupun kondisi pH yang ekstrem dapat memicu terjadinya degradasi struktur pigmen, yang pada akhirnya menyebabkan pudarnya intensitas warna atau bahkan terjadinya pergeseran warna yang tidak konsisten dan sulit diprediksi. Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan suatu pendekatan berupa karakterisasi yang lebih mendalam melalui serangkaian evaluasi pengaruh pH terhadap kandungan/respons absorbansi betasianin, guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai perilaku pigment betasianin pada pH 3, 5, 7, 9, dan 11. Dalam proses pengambilan ekstrak, metode ekstraksi maserasi yang dikombinasikan dengan penggunaan waterbath serta pelarut aquabides sengaja dipilih dan diterapkan, dengan pertimbangan utama untuk menjamin kemurnian ekstrak yang dihasilkan tetap terjaga dan bebas dari residu pelarut organik yang berpotensi berbahaya, sehingga hasil ekstrak tersebut sepenuhnya aman untuk diaplikasikan pada sistem kemasan pangan (Mun'im and Ahmad, 2021)

2. Methodology

Metode penelitian terdiri dari beberapa tahapan, yaitu ekstraksi betasianin dari kulit buah naga, pengujian stabilitas betasianin menggunakan perlakuan pH. Pendekatan yang digunakan ialah Rancangan Acak Lengkap (RAL) sederhana untuk uji pH, guna memastikan validitas data secara statistik. Data yang diperoleh dianalisis dengan metode One-way ANOVA (*Analysis of Variance*)

menggunakan SPSS pada selang kepercayaan 95%. Kemudian dilanjutkan dengan uji BNJ (Beda Nyata Jujur).

2.1. Tahap I: Ekstraksi Betasianin Kulit Buah Naga

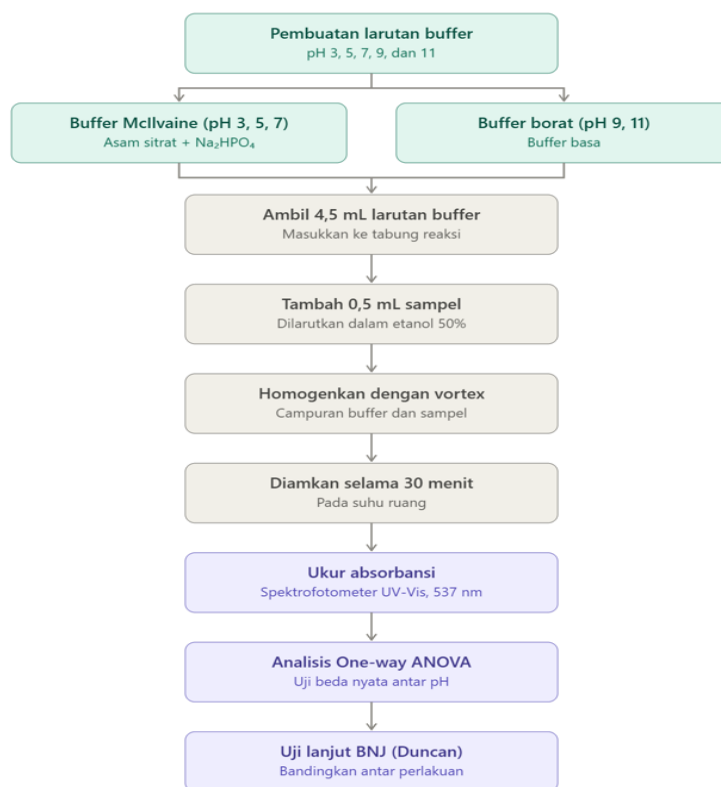
Proses ekstraksi dilakukan dengan prinsip *Green Chemistry* menggunakan pelarut murni tanpa bahan kimia organik. Kulit buah naga merah segar dicuci, dipisahkan dari sisiknya, dan diiris tipis. Sampel dikeringkan dengan cara diangin-anginkan atau menggunakan *low-temperature oven* (< 40 °C) untuk menjaga stabilitas pigmen. Sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 1000 mL dan ditutup dengan menggunakan aluminium foil, ditambahkan aquabides dengan rasio 1:10 (w/v). Wadah diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 40°C selama 60 menit dengan pengadukan berkala. Suhu dijaga agar tidak melampaui ambang batas termolabil betasianin. Campuran disaring menggunakan dengan kertas Whatman No. 1 untuk mendapatkan ekstrak murni.

2.2. Tahap II: Pengujian Stabilitas Betasianin

Tahap ini bertujuan untuk memetakan perilaku pigmen terhadap gangguan lingkungan yakni pH.

a. Perlakuan Variasi pH

Pengujian stabilitas betasianin terhadap pH dilakukan pada pH 3, 5, 7, 9 dan 11. Perlakuan variasi pH dilakukan dengan membuat larutan buffer pH-nya menjadi 3, 5, 7, 9 dan 11. Larutan buffer pH 3, 5, dan 7 menggunakan buffer McIlvaine dimana buffer ini menggunakan larutan induk asam sitrat 0,2 M dan dinatrium hidrogen fosfat 0,1 M pada berbagai kombinasi volume sehingga di dapatkan buffer dengan pH 3, 5, dan 7. Sedangkan pH 9 dan 11 dibuat dengan menggunakan buffer basa yakni buffer borat. Sebanyak 4,5 mL larutan stok yang telah disiapkan diambil ke dalam tabung reaksi, dan 0,5 mL sampel yang dilarutkan dalam etanol 50% ditambahkan dan dihomogenkan dengan vortex didiamkan selama 30 menit pada suhu ruang. Hasil perlakuan berdasarkan perbedaan pH kemudian diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS (Thermo Fisher Scientific) pada panjang gelombang 537 nm. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata nilai absorbansi karena perlakuan pH, maka data absorbansi kemudian dianalisis dengan menggunakan One-way ANOVA dan dilanjutkan dengan uji BNJ (Duncan). Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Perlakuan pH terhadap kadar Betasianin Kulit Buah naga Merah

3. Results and Discussion

Pengukuran kadar betasianin dilakukan secara spektrofotometri melalui pembacaan nilai absorbansi (y) pada masing-masing sampel dengan variasi pH 3, 5, 7, 9, dan 11, dimana setiap perlakuan dilakukan sebanyak empat kali ulangan. Hasil pengukuran kemudian dikonversi ke dalam satuan kadar (x, ppm) menggunakan persamaan garis regresi kurva standar $y = a \cdot x + b$, dengan nilai $a = 0,0015$ dan $b = -0,037$. Hasil rerata kadar betasianin pada setiap taraf pH disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rerata Kadar Betasianin Ekstrak Kulit Buah Naga Merah pada Berbagai pH

Perlakuan pH	ulangan	y	a	b	x (ppm)	Rerata x (konsentrasi betasianin)
3	1	0,300	0,0015	-0,037	224,67	213,00
	2	0,330	0,0015	-0,037	244,67	
	3	0,210	0,0015	-0,037	164,67	
	4	0,290	0,0015	-0,037	218,00	
5	1	0,400	0,0015	-0,037	291,33	316,33
	2	0,370	0,0015	-0,037	271,33	
	3	0,390	0,0015	-0,037	284,67	
	4	0,590	0,0015	-0,037	418,00	
7	1	0,120	0,0015	-0,037	104,67	124,67
	2	0,140	0,0015	-0,037	118,00	
	3	0,180	0,0015	-0,037	144,67	
	4	0,160	0,0015	-0,037	131,33	
9	1	0,060	0,0015	-0,037	64,67	74,67
	2	0,080	0,0015	-0,037	78,00	
	3	0,050	0,0015	-0,037	58,00	
	4	0,110	0,0015	-0,037	98,00	
11	1	0,033	0,0015	-0,037	46,67	42,67
	2	0,030	0,0015	-0,037	44,67	
	3	0,017	0,0015	-0,037	36,00	
	4	0,028	0,0015	-0,037	43,33	

Data pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa kadar betasianin tertinggi diperoleh pada perlakuan pH 5, yaitu sebesar 316,333 ppm, diikuti oleh pH 3 sebesar 213,000 ppm. Kadar betasianin kemudian menurun secara progresif seiring peningkatan pH menuju kondisi netral dan basa, yaitu pada pH 7 (124,667 ppm), pH 9 (74,667 ppm), hingga terendah pada pH 11 (42,667 ppm). Pola ini memperlihatkan kecenderungan bahwa kadar betasianin menurun tajam ketika pH bergeser dari kondisi asam menuju basa.

Untuk menguji apakah perbedaan pH memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar betasianin, dilakukan analisis ragam (Analysis of Variance/ANOVA) satu arah (one-way) dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Tabel 2. Hasil Uji One-Way ANOVA terhadap Kadar Betasianin

➔ **Oneway**

ANOVA					
Hasil Betasianin					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	197526.978	4	49381.744	38.229	.000
Within Groups	19376.147	15	1291.743		
Total	216903.125	19			

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh nilai F hitung sebesar 38,229 dengan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,000. Oleh karena nilai signifikansi tersebut jauh lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ ($0,000 < 0,05$), maka perbedaan pH ekstrak kulit buah naga merah memberikan pengaruh yang sangat nyata (*highly significant*) terhadap kadar betasianin yang dihasilkan. Dengan kata lain, variasi pH bukan sekadar menunjukkan kecenderungan deskriptif semata, tetapi secara statistik terbukti menjadi faktor yang memengaruhi kestabilan dan kadar pigmen betasianin secara nyata. Oleh karena hasil ANOVA menunjukkan pengaruh yang signifikan, maka dilakukan uji lanjut untuk mengetahui pasangan perlakuan mana saja yang berbeda nyata satu sama lain. Uji lanjut yang digunakan adalah Uji Jarak Berganda Duncan (Duncan's Multiple Range Test/DMRT) pada taraf $\alpha = 0,05$, dengan hasil sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Lanjut Duncan terhadap Kadar Betasianin pada Berbagai pH

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Hasil Betasianin					
Duncan ^a					
Perlakuan pH	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
pH 11	4	42.6675			
pH 9	4	74.6675	74.6675		
pH 7	4		124.6675		
pH 3	4			213.0025	
pH 5	4				316.3325
Sig.		.227	.068	1.000	1.000

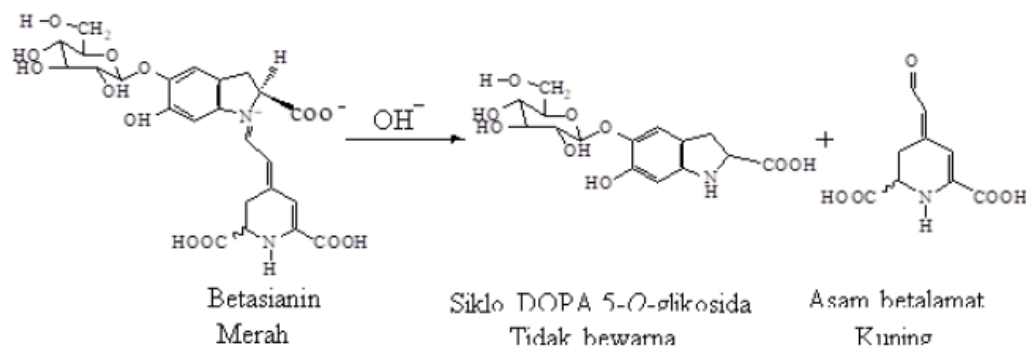
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Hasil uji Duncan mengelompokkan kelima perlakuan pH ke dalam empat subset homogen. Perlakuan pH 11 dan pH 9 berada pada subset 1 yang sama (Sig. = 0,227), menunjukkan bahwa kadar betasianin di antara keduanya tidak berbeda nyata, keduanya sama-sama berada pada kondisi basa yang menyebabkan tingkat degradasi pigmen yang tinggi. Perlakuan pH 9 juga tumpang tindih dengan pH 7 pada subset 2 (Sig. = 0,068), yang mengindikasikan bahwa pH 9 berada pada posisi transisi antara kelompok kadar rendah dan kelompok kadar menengah. Perlakuan pH 3 berada sendiri pada subset 3 dengan nilai signifikansi 1,000, yang berarti kadar betasianin pada pH 3 berbeda nyata dari seluruh perlakuan lainnya. Demikian pula, perlakuan pH 5 berada sendiri pada subset 4 dengan nilai signifikansi 1,000 dan rerata kadar tertinggi (316,3325 ppm), yang menunjukkan bahwa pH 5 berbeda nyata dan menghasilkan kadar betasianin paling optimal dibandingkan seluruh perlakuan pH lainnya.

Betasianin merupakan pigmen dari golongan betalain yang bertanggung jawab atas warna merah-ungu pada kulit buah naga merah. Secara umum, betalain memiliki kelarutan tinggi dalam air dan rentang kestabilan pH yang relatif sempit, yaitu pada kisaran pH 3–7, dengan warna merah-violet hingga kuning yang khas bergantung pada tingkat keasaman larutan (Herbach, Stintzing and Carle, 2006). Di luar rentang tersebut, terutama pada kondisi mendekati netral dan basa, betasianin cenderung mengalami penguraian struktural yang menyebabkan hilangnya intensitas warna sekaligus penurunan nilai absorbansi yang terukur.

Hasil pada penelitian ini sejalan dengan mekanisme degradasi betasianin yang telah banyak dilaporkan. Pada kondisi pH di atas 7, betanin (komponen utama betasianin) mengalami degradasi melalui hidrolisis ikatan aldimin yang memutus struktur cincin betalamin, menghasilkan turunan asam amino dan senyawa lain yang tidak lagi memberikan serapan warna yang sama (Fern and Fern, 2020; Calva-Estrada, Jiménez-Fernández and Lugo-Cervantes, 2022). Rangkaian reaksi inilah yang secara konsisten menjelaskan mengapa kadar betasianin pada pH 9 dan pH 11 jauh lebih rendah dibandingkan pada pH 3 dan pH 5. Reaksi dekomposisi betasianin pada pH basa pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Reaksi Dekomposisi Betasianin pada pH Basa. Sumber: (Bestari Pranutik Agne, Hastuti and Khabibi, 2010)

Sebaliknya, pada kondisi asam (pH 3–5), struktur betasianin relatif lebih stabil karena posisi N-1 pada molekul betasianin kurang rentan terhadap serangan nukleofilik oleh air dibandingkan pada pH tinggi (Herbach, Stintzing and Carle, 2006). Temuan ini juga sesuai dengan hasil penelitian pada ekstrak kulit buah naga merah yang menyimpulkan bahwa kadar betasianin meningkat pada rentang pH 1–5 dan kemudian menurun pada pH 6–8, serta kondisi stabil optimum tercapai pada pH 5 (Kuncoro, 2022). Ekstrak pigmen betasianin kulit buah naga paling stabil pada pH 4,5, sedangkan pada kondisi basa terjadi degradasi warna dari merah menjadi kuning kecokelatan akibat perubahan struktur kromofor betasianin (Yulianti, Hastuti and Widodo, 2008; Asra *et al.*, 2020).

Nilai kadar betasianin pada pH 5 yang lebih tinggi dibandingkan pH 3 pada penelitian ini dapat dijelaskan melalui fenomena isomerisasi dan protonasi berlebih pada kondisi terlalu asam. Herbach *et al.* (2006) menjelaskan bahwa pada pH sangat rendah, betanin dapat mengalami isomerisasi menjadi isobetanin, yang meskipun tidak sepenuhnya merusak pigmen, dapat menggeser profil serapan sehingga kadar terukur relatif lebih rendah dibandingkan pada pH yang mendekati titik stabil optimalnya (sekitar pH 4–5). Dengan demikian, pH 5 pada penelitian ini merepresentasikan kondisi yang paling mendekati titik kestabilan maksimum betasianin dari ekstrak kulit buah naga merah, sedangkan pH 3 walaupun masih tergolong kondisi asam yang relatif stabil, sudah menunjukkan sedikit penurunan kadar dibandingkan pH 5.

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa pH merupakan faktor lingkungan yang sangat menentukan kestabilan betasianin, sehingga pengendalian pH menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan baik dalam proses ekstraksi, penyimpanan, maupun aplikasi lebih lanjut pigmen ini sebagai pewarna alami pada produk pangan maupun farmasi.

4. Conclusion (Bold, Capital, Verdana 9, initial letter)

Berdasarkan hasil analisis deskriptif maupun statistik inferensial (one-way ANOVA dan uji lanjut Duncan), dapat disimpulkan bahwa pengaruh pH terhadap kadar betasianin dari ekstrak kulit buah naga merah adalah berpengaruh sangat nyata ($F = 38,229$; $\text{Sig.} = 0,000$). Kondisi asam, khususnya pada pH 5, merupakan lingkungan yang paling mendukung pigmen betasianin, sedangkan peningkatan pH menuju kondisi netral hingga basa (pH 7 hingga pH 11) mempercepat degradasi struktural betasianin melalui reaksi hidrolisis dan deprotonasi, sehingga kadarnya menurun secara signifikan.

Acknowledgement

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Banyuwangi (Poliwangi) atas dukungan pendanaan penelitian tahun 2026 melalui hibah PDP Internal Poliwangi Tahun 2026 dengan nomor 3500.80/DST/PL36/AL.04/2026. Bantuan ini sangat berperan dalam mendukung proses penelitian, mulai dari tahap perencanaan, pengumpulan data, hingga penyusunan laporan akhir. Penulis juga menghargai dukungan civitas akademika Poliwangi, rekan sejawat, serta mahasiswa yang turut memberikan masukan dan bantuan selama penelitian berlangsung.

References

- Akerina, F.O. et al. (2024) 'Durability of Fresh Skipjack Fish (*Katsuwonus pelamis*) by Soaking in Chitosan Solution during Storage at Room Temperature based on Total Volatile Base (TVB) Value', 12(2), pp. 45–50.
- Asra, R. et al. (2020) 'Studi Fisikokimia Ekstrak Umbi Bit Merah (*Beta Vulgaris* L) Sebagai Pewarna Pada Sediaan Tablet', 12(1).
- Bestari Pranutik Agne, E., Hastuti, R. and Khabibi (2010) 'Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Ekstraksi dan Uji Kestabilan Zat Warna Betasianin dari Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*) serta Aplikasinya sebagai Pewarna Alami Pangan', *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13(2), pp. 51–56.
- BPS (no date) *Produksi Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan Menurut Kecamatan dan Jenis Tanaman di Kabupaten Banyuwangi, 2025 - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Kabupaten Banyuwangi*. Available at: <https://banyuwangikab.bps.go.id/id/statistics-table/3/U0dKc1owczVSaIJ5VFdOMWVETnIVRVJ6YIRJMFp6MDkjMyMzNTEw/produksi-tanaman-buah-buahan-dan-sayuran-tahunan-menurut-kecamatan-dan-jenis-tanaman-di-kabupaten-banyuwangi.html?year=2024>.
- Calva-Estrada, S.J., Jiménez-Fernández, M. and Lugo-Cervantes, E. (2022) 'Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry', *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, p. 100089. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>.
- Diva, S., Gilalo, J.J. and Djuniarsono, R. (2024) 'Optimalisasi Pengawasan Peredaran Pangan Kedaluwarsa Guna Menjamin Keamanan Pangan Masyarakat Bogor I . Pendahuluan kebutuhan dasar hidup yang layak dan meningkatkan martabatnya menuju terwujudnya negara mendapat pangan yang aman . Menurut Pasal 1 ayat 1', *Jurnal Hukum De' Rechtsstaat (JHD)*, (July), pp. 1–9.
- Eryani, M.C. et al. (2025) 'Formulasi Dan Evaluasi Fisik Lipstik Dari Ekstrak Kulit Umbi Bit (*Beta vulgaris* L.)', *Jurnal Farmasi Galenika*, 12(3), pp. 173–181. Available at: <https://journal.bku.ac.id/jfg/index.php/jfg>.
- Fern, A. and Fern, V. (2020) 'RSC Advances New insights into red plant pigments: more than just natural colorants', (June), pp. 24669–24682. Available at: <https://doi.org/10.1039/D0RA03514A>.
- Firdaus, N. et al. (2024) 'PENERAPAN GOOD AGRICULTURE PRACTICES (GAP) PADA USAHATANI BUAH NAGA MERAH DI KECAMATAN PESANGGARAN', 21(2), pp. 210–225.
- Herbach, K.M., Stintzing, F.C. and Carle, R. (2006) 'Betain Stability and Degradation—Structural and Chromatic Aspects', *JFS R: Concise Reviews/Hypotheses in Food Science Betain*, 71(4), pp. 41–50. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x>.
- Huang, R. et al. (2025) 'Enhancing sensitivity and stability of natural pigments in pH-responsive freshness indicators: A review', *Food Chemistry*, 463, p. 141357. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141357>.
- Kuncoro, H. (2022) 'Stabilitas Betasianin dari Sari Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) terhadap Suhu, pH dan Kondisi Penyimpanan', *Jurnal Ilmiah Pharmacy*, 9(2), pp. 91–100. Available at: <https://doi.org/10.52161/jiphar.v9i2.421>.
- Ma, A. et al. (2021) 'NanoImpact Towards safe and sustainable innovation in nanotechnology : State-of-play for smart nanomaterials', 21(November 2020). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100297>.
- Manurung, S.C. et al. (2024) 'Label Kolorimetri Berbasis Ekstrak Daun Jati dan Ketapang sebagai Detektor Kesegaran Daging Sapi Giling', *AGRITEPA*, 11(2), pp. 389–400.
- Mun'im, A. and Ahmad, I. (2021) *Aplikasi Teknik Ekstraksi Hijau pada Pengembangan Obat Herbal*. Yogyakarta: Deepublish.
- Yulianti, H., Hastuti, R. and Widodo, D.S. (2008) 'Ekstraksi dan Uji Kestabilan Pigmen Betasianin dalam Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*) Serta Aplikasinya Sebagai Pewarna Tekstil', *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11(3), pp. 84–89. Available at: <https://doi.org/10.14710/jksa.11.3.84-89>.