



Analisis Metabolomik Pisang Ambon Lumut pada Tahap Pasca Panen sebagai Metode *Rapid-Analysis* Pematangan Buah

Metabolomic Analysis of Pisang Ambon Lumut at Post-Harvest Stage as a Rapid-Analysis Method of Ripening Fruit

Amelinda Pratiwi*, Shelina Lauren, Vivi Hasna Fatimah, Zahra Novyani, Amelia Maulidina, Intan Farhani

Program Studi Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40154

*email: amel.pratiwi@upi.edu

Diserahkan [16 Februari 2023]; Diterima [16 Oktober 2024]; Dipublikasi [20 Oktober 2024]

ABSTRACT

Banana is a fruit that is much favored by the people of Indonesia and is one type of climacteric fruit, namely a fruit that can still experience ripening after harvesting. The sensory and nutritional composition of Ambon Lumut bananas can be influenced by their level of ripeness. FTIR fingerprinting metabolite analysis on Ambon Lumut bananas can be an immediate method to assess fruit quality. Therefore the purpose of this study is to identify the ideal time for banana ripening in order to preserve the quality of Ambon Lumut bananas by analyzing the fingerprints of various metabolite chemicals in the bananas after harvest. This study focused on the post-harvest analysis of the metabolites of Pisang Ambon Lumut at storage times of days 0 (C), 4 (P4), 8 (P8), and 12 (P12) with the metabolomic approach using FTIR. The results of the FTIR spectrum were extracted using Excel, normalized the wave number data, then chemometric analysis was performed using The Unscrambler software. Based on the results of Principal Component Analysis (PCA), there are several metabolites that characterize each banana sample, including fat in banana C; in P4 bananas, protein, and dietary fiber were detected; in P8 bananas, disaccharide, aromatic, and phenyl compounds were detected; and in P12 bananas, disaccharide compounds were detected. The results of the metabolomic analysis showed that the banana samples stored on the 4th day (P4) had the most optimum nutritional composition compared to other samples.

Keywords: FTIR; metabolomics; post-harvest; ambon lumut banana

ABSTRAK

Pisang merupakan buah yang banyak digemari oleh masyarakat Indonesia dan termasuk salah satu jenis buah klimaterik yaitu buah yang tetap bisa mengalami pematangan pada saat setelah pemanenan. Tingkat kematangan pada buah pisang ambon lumut dapat mempengaruhi baik sensori maupun komposisi nutrisinya. Analisis metabolit *fingerprinting* menggunakan FTIR pada sampel pisang ambon lumut dapat menjadi metode yang cepat untuk mengetahui kualitas buah tersebut. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis *fingerprint* kelompok senyawa metabolit pada buah pisang ambon lumut pasca pemanenan dan mengetahui waktu optimum pematangan pisang untuk menjaga kualitas pisang ambon lumut. Penelitian ini berfokus pada analisis metabolit buah pisang ambon lumut pasca panen pada waktu penyimpanan hari ke-0 (C), 4 (P4), 8 (P8), dan 12 (P12) dengan metode metabolomik menggunakan instrumen FTIR. Data angka bilangan gelombang yang diperoleh dari instrumen FTIR diekstrak menggunakan *Excel* kemudian dilakukan analisis kemometrik menggunakan perangkat lunak The Unscrambler. Berdasarkan hasil *Principal Component Analysis* (PCA), terdapat beberapa metabolit yang menjadi penciri pada masing-masing sampel pisang, diantaranya pada pisang C terdeteksi lemak; pada pisang P4 terdeteksi protein serta serat makanan; pada pisang P8 terdeteksi senyawa disakarida, aromatik, dan fenil; dan pada pisang P12 terdeteksi senyawa disakarida. Hasil analisis metabolomik menunjukkan bahwa sampel pisang penyimpanan hari ke-4 (P4) memiliki komposisi kandungan nutrisi yang paling optimum dibandingkan dengan sampel lainnya.

Kata Kunci: FTIR; metabolomik; pasca panen; pisang ambon lumut

Saran sitasi: Pratiwi, A., Lauren, S., Fatinah, V. H., Novyani, Z., Maulidina, A., & Farhani, I. 2024. Analisis Metabolomik Pisang Ambon Lumut pada Tahap Pasca Panen sebagai Metode *Rapid-Analysis* Pematangan Buah. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 17(2), 160-171. <https://doi.org/10.20961/jthp.v17i2.65822>

PENDAHULUAN

Pisang merupakan buah yang dikenal luas dan banyak digemari oleh masyarakat Indonesia. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2020 jumlah produksi pisang di Indonesia mencapai 8,18 juta ton. Jumlah produksi ini meningkat sebanyak 12,39% dari tahun sebelumnya yang berjumlah 7,28 juta ton. Berdasarkan jenisnya, pisang dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, salah satunya adalah pisang ambon. Pisang ambon merupakan salah satu komoditi pangan yang kaya akan kandungan karbohidrat yang berpotensi menghasilkan energi. Selain itu, pisang ambon juga memiliki kandungan nutrisi yang cukup lengkap bagi tubuh sehingga banyak dikonsumsi oleh masyarakat (Elisabeth, 2017). Salah satu kelompok dari pisang ambon adalah pisang ambon lumut (*Musa paradisiaca* var. *sapientum* Linn) yang memiliki kulit buah berwarna hijau walaupun telah matang, daging buah berwarna lebih putih dari jenis pisang ambon lainnya, dan rasa memiliki rasa yang lebih enak serta harum baunya (Arifsyah, 2020).

Berdasarkan fenomena pasar, pisang yang dijual terdiri dari dua kategori yaitu pisang belum matang dan pisang terlalu matang. Berdasarkan literatur, pisang belum matang cenderung mengandung tinggi nutrisi, namun pisang ini tidak banyak diminati karena memiliki tekstur yang keras serta rasanya yang sepat dan tidak manis. Sedangkan pisang terlalu matang, mengandung nutrisi yang rendah tetapi banyak diminati. Tingginya minat pada pisang terlalu matang disebabkan karena memiliki tekstur buah yang empuk dan lembut, adapun rasa manis dan aroma yang kuat dari daging buahnya yang dapat meningkatkan kualitas sensorik. Rasa manis yang dihasilkan dari pisang terlalu matang disebabkan karena adanya kandungan gula

sederhana yang tinggi seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa (Phillips *et al.*, 2021). Kandungan gula sederhana yang tinggi pada pisang terlalu matang memungkinkan sebagai penyebab risiko terhadap penyakit Diabetes Mellitus (DM). Selain itu, juga menyebabkan nutrisi tubuh tidak terpenuhi.

Berdasarkan kajian literatur dari penelitian Maduwanthi dan Marapana (2021) dan Pott *et al.* (2020) melaporkan bahwa proses induksi pematangan buah pisang dapat mempengaruhi fisikokimia dan kualitas gizi buah. Selain itu, tingkat kematangan juga dapat mempengaruhi kualitas sensorik buah pisang, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kualitas buah pisang dan sebagai penentu akhir dari umur simpan buah ini. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan metabolisme selama penyimpanan pasca panen. Berdasarkan hal tersebut, maka analisis tingkat kematangan untuk buah pisang dapat dilakukan dengan analisis metabolomik *untargeted*.

Analisis metabolomik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan karena merupakan metode *rapid-analysis* yang memanfaatkan *big data* dalam proses analisisnya. Metode ini diterapkan dengan cara memetakan data hasil analisis spektroskopi sehingga dapat menjelaskan fenomena metabolisme yang terjadi dalam organisme secara cepat. Kajian metabolomik semakin banyak digunakan dalam penelitian tanaman untuk memberikan informasi rinci tentang persamaan dan perbedaan dalam komposisi metabolit antar sampel. Banyak penelitian telah berfokus pada fisiologi buah prapanen dan cekaman biotik dan abiotik pascapanen (misalnya, suhu, kondisi gas) untuk mendapatkan lebih banyak wawasan tentang mekanisme biokimia yang terlibat (Korban, 2021). Analisis *untargeted* metabolomik, seperti *profiling* metabolomik dan *fingerprinting* metabolomik, keduanya dapat mengukur

dan menganalisis sebagian besar metabolit dari setiap sampel (Farag *et al.*, 2018).

Berdasarkan dari kajian literatur, penelitian mengenai analisis *fingerprinting* metabolomik baru dilakukan berdasarkan perbedaan kultivar pisang (Ningsih *et al.*, 2021). Berdasarkan kondisi saat ini kajian mengenai pisang ambon lumut masih jarang ditemui, sedangkan pisang termasuk komoditi buah yang banyak digemari masyarakat dan mengandung nutrisi yang cukup lengkap bagi kebutuhan tubuh manusia. Oleh karena tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis metabolomik pisang ambon lumut, agar diperoleh informasi mengenai kualitas buah pisang yang baik.

Analisis metabolomik spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan salah satu metode sangat berpotensi karena sederhana, cepat, serta menjamin reproduktifitas tinggi, spesifisitas, dan persiapan sampel yang mudah (Piorunski-Sedlak dan Stypulkowska, 2021). Menurut Tristán *et al.* (2022) FTIR memiliki potensi dalam mengevaluasi perubahan metabolisme selama pematangan buah melon (*Cucumis melo* L.). Adapun penelitian oleh Dasenaki dan Thomaidis (2019) melaporkan bahwa FTIR dengan teknik kemometrik memberikan pendekatan yang berguna untuk mengautentikasi konsentrat jus delima (*Punica granatum*). Penelitian Păucean *et al.* (2021) melaporkan bahwa FTIR dapat memberikan informasi penting tentang profil metabolit yang berpengaruh terhadap aspek kualitas sensorik, nutrisi, dan keamanan roti gandum selama pemrosesan.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut analisis metabolomik menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) telah terbukti dapat mengukur dan mengidentifikasi metabolit pada organisme. Pada penelitian ini analisis metabolomik *untargeted* menggunakan instrumentasi FTIR diterapkan untuk memperoleh *fingerprinting* kelompok metabolit buah pisang ambon lumut (*Musa*

paradisiaca var. *sapientum* Linn) pasca panen pada waktu penyimpanan hari ke-0 (C), 4 (P4), 8 (P8), dan 12 (P12). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis *fingerprint* kelompok senyawa metabolit pada buah pisang ambon lumut pasca pemanenan dan mengetahui waktu optimum pematangan pisang untuk menjaga kualitas pisang ambon lumut.

METODE PENELITIAN

Bahan

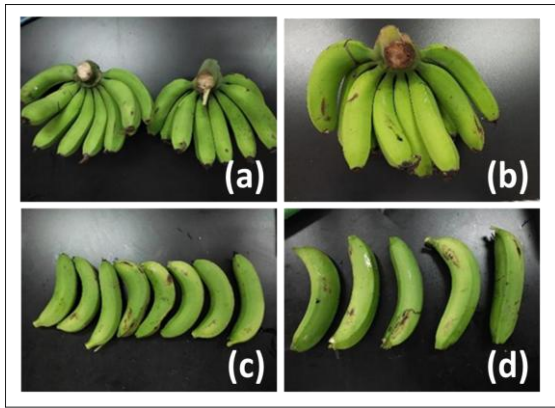
Bahan yang digunakan adalah pisang ambon lumut (*Musa paradisiaca* var. *sapientum* Linn) yang diperoleh dari pengepul pisang di pasar Gegerkalong, Kota Bandung, Jawa Barat, pelarut kalium bromida (KBr), serta etanol (pa) pro analyst.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah spatula, pisau, talenan, nampan *stainless steel*, tabung falcon (15 mL dan 50 mL) “Nest”, kertas timbang, neraca analitik “Ohaus Adventurer”, penggiling bumbu kering “DE-100G”, mesh ukuran 80, *freeze dryer* (*Fruit Vegetable Vacuum Freeze Dyer Rapid Cooling Vacuum Dryer Freeze Machine*) “Uchen”, mortar agate, alat pembuat pelet, dan instrumen FTIR “Shimadzu 8400”.

Tahapan Penelitian

Penelitian berlangsung selama periode Mei – Agustus 2022 dengan tempat dan pelaksanaan kegiatan penelitian adalah sebagai berikut: Laboratorium Kimia Organik Bahan Alam ITB untuk melakukan pengeringan sampel pisang ambon lumut dengan metode *freeze dry*; Laboratorium Riset Kimia Makanan Departemen Pendidikan Kimia FPMIPA UPI untuk melakukan penepungan sampel pisang ambon lumut; dan Laboratorium Kimia Instrumen FPMIPA UPI untuk melakukan penimbangan, pembuatan pelet, dan pengukuran menggunakan instrumentasi FTIR.



Gambar 1. Sampel pisang

a) waktu penyimpanan hari ke-0; b) ke-4;
c) ke-8; d) ke-12

Preparasi Sampel

Buah pisang yang digunakan adalah buah dengan waktu penyimpanan yang berbeda (Gambar 1). Buah pisang disimpan pada tempat terbuka, dan dilakukan analisis pada waktu penyimpanan hari ke-0 (C), penyimpanan hari ke-4 (P4), penyimpanan hari ke-8 (P8), dan penyimpanan hari ke-12 (P12). Sampel pisang ambon lumut dikupas, lalu dipotong melintang. Selanjutnya sampel pisang dikeringkan menggunakan *freeze dryer*. Sampel pisang yang telah kering selanjutnya digiling sampai halus menggunakan penggiling bumbu kering hingga menjadi tepung, lalu diayak menggunakan mesh ukuran 80.

Analisis Fingerprint Metabolomik Menggunakan FTIR

Metode analisis FTIR dilakukan berdasarkan Holse *et al.* (2011). Tepung pisang masing-masing ditimbang sebanyak 5 mg, kemudian dicampurkan dengan KBr (massa total sampel + KBr 0,15 gram). Selanjutnya tepung pisang dilakukan analisis menggunakan instrumen FTIR Shimadzu 8400. Parameter FTIR diatur pada rentang bilangan gelombang $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$, resolusi spektra 4 cm^{-1} , *average scan* 32, dan *background scan* 64. Setiap sampel dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali.

Analisis Kemometrik

Data hasil analisis FTIR diekstrak menggunakan *Microsoft Excel* sehingga

menghasilkan data angka bilangan gelombang, kemudian dilakukan pengolahan data dan analisis kemometrik menggunakan perangkat lunak *The Unscrambler*. Selanjutnya bilangan gelombang dan gugus fungsi diidentifikasi pada masing-masing sampel, serta kandungan metabolit satu pisang dibandingkan dengan pisang lainnya. Pada penelitian ini dilakukan analisis multivariat *Principal Component Analysis* (PCA).

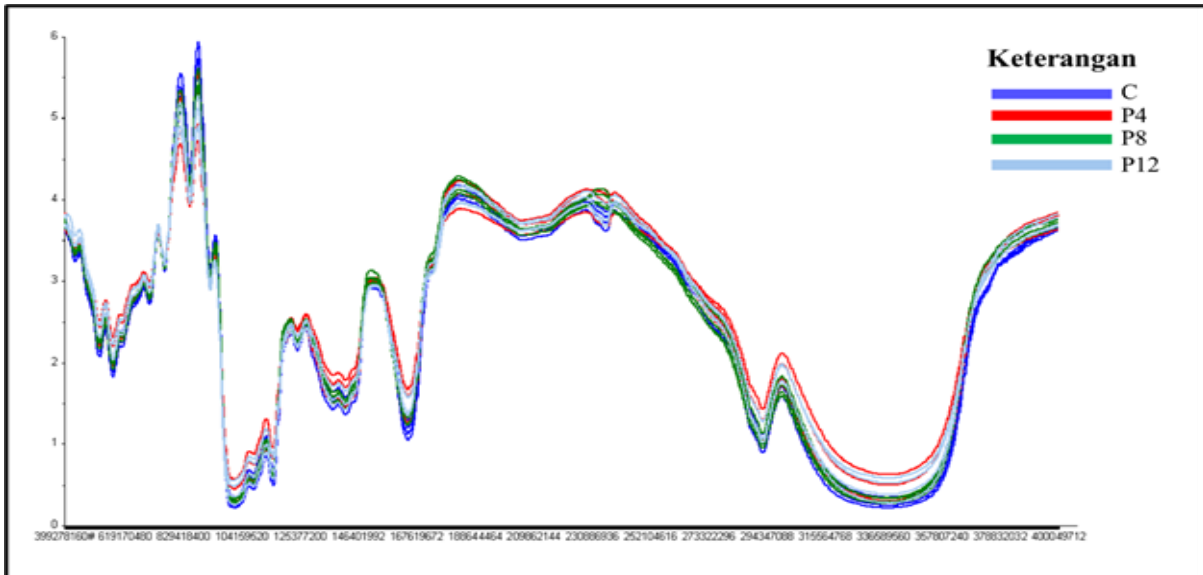
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Fingerprint Metabolit Buah Pisang Pasca Panen

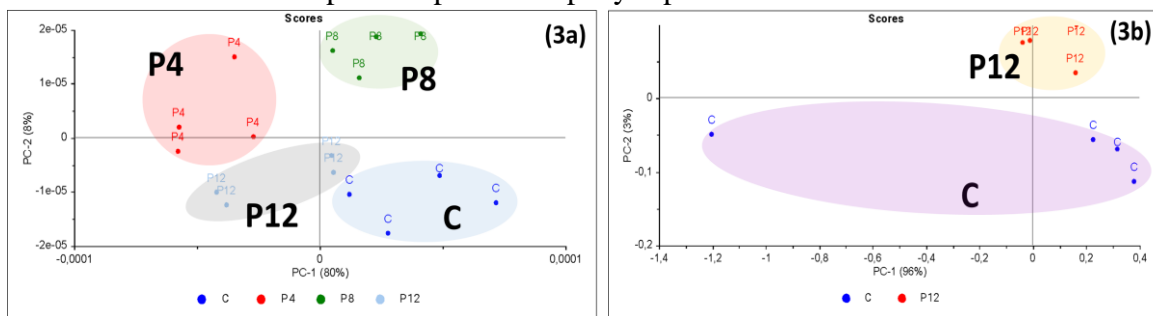
Pengukuran menggunakan FTIR menghasilkan spektrum yang berisi data bilangan gelombang dan transmittan (%T) dari suatu sampel. Spektrum hasil pengukuran FTIR pada pisang pasca panen dengan waktu penyimpanan 0 hari (C), 4 hari (P4), 8 hari (P8), dan 12 hari (P12) dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil pada Gambar 2 terlihat bahwa spektrum dari tiap waktu penyimpanan sampel pisang (C, P4, P8, P12) menghasilkan pola yang sama, hal ini mengindikasikan bahwa kandungan senyawa dari tiap sampel pada masing-masing waktu penyimpanan memiliki kandungan senyawa yang sama tetapi berbeda pada intensitasnya. Berdasarkan hal tersebut diduga adanya perubahan komposisi profil metabolit pada sampel pisang seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan.

Perubahan komposisi profil metabolit pada tiap waktu penyimpanan sampel pisang dapat dilihat menggunakan PCA (*Principal Component Analysis*). Analisis PCA digunakan untuk menyederhanakan suatu data tetapi meminimalisir hilangnya informasi yang terdapat pada data tersebut, sehingga visualisasi pengelompokan data dan evaluasi kesamaan antar sampel menjadi lebih mudah (Utomo dan Mesran, 2020). Proses analisis perbedaan metabolit dari tiap sampel dilakukan dengan cara membandingkan posisi sampel pada plot skor dan plot *loading*.



Gambar 2. Spektrum FTIR dari pasca panen buah pisang pada empat waktu penyimpanan berbeda



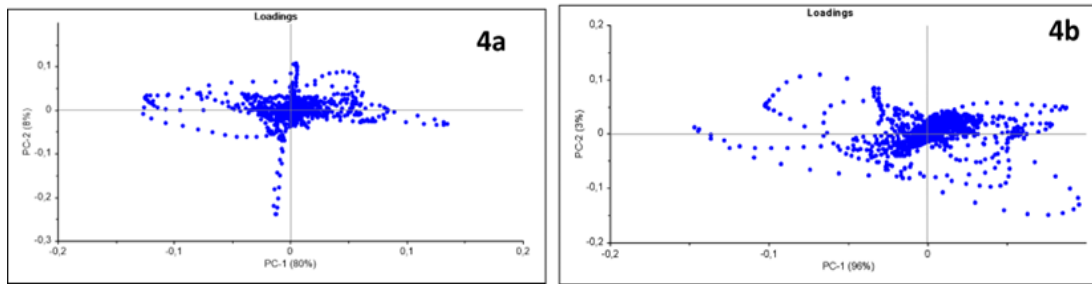
Gambar 3. Plot skor PCA a) empat waktu penyimpanan pisang; b) waktu penyimpanan 0 hari dan 12 hari.

Plot skor PCA digunakan untuk memisahkan sampel pisang yang memiliki profil metabolit yang tidak sama. Hasil plot skor PCA menghasilkan varian total sebesar 88% (PC1 = 80% dan PC2 = 8%). Berdasarkan plot skor PCA dapat dilihat bahwa masing-masing sampel pisang dalam empat waktu penyimpanan berbeda yang menunjukkan pemisahan yang cukup baik (Gambar 3a), dimana keempat sampel pisang memiliki perbedaan komposisi metabolitnya masing-masing. Namun pada model PCA tersebut sampel C dan sampel P12 masih memiliki posisi yang berdekatan, sehingga dilakukan analisis model PCA lebih lanjut untuk memisahkan antara sampel C dengan sampel P12 seperti pada Gambar 3b.

Plot *loading* PCA digunakan untuk mengetahui bilangan gelombang yang berpengaruh dalam membedakan antar sampel pisang. Setiap titik pada plot *loading*

merupakan variabel bilangan gelombang yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perbedaan sampel adalah bilangan gelombang yang terjauh dari kelompok utama (titik tengah). Berdasarkan proses analisis plot *loading* PCA ini, maka dapat diketahui senyawa metabolit yang diduga sebagai komponen penciri dalam suatu sampel pisang. Profil metabolit penciri dari masing-masing sampel pisang dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan analisis PCA data panjang gelombang FTIR pisang ambon lumut diketahui metabolit yang menjadi penciri pada sampel C (penyimpanan hari ke-0) adalah lemak (senyawa lipid dan terpen). Sedangkan pada sampel P4 (penyimpanan hari ke-4) terdeteksi amida I yang mewakili senyawa protein, serta serat makanan yaitu pektin (golongan karbohidrat/polisakarida)



Gambar 4. Plot loading PCA a) empat waktu penyimpanan pisang; b) waktu penyimpanan 0 hari dan 12 hari

Tabel 1. Profil metabolit penciri pada sampel pisang pasca panen

Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan/Gugus Fungsi	Pustaka	
Kontrol/Hari ke-0 (C)	Yang terdeteksi			
	2870-2875	Lipid	Schulz dan Baranska (2007) Borges <i>et al.</i> (2014) Gupta <i>et al.</i> (2022)	
	2326-2328	Hidrokarbon aromatik (C=O dan C=C), senyawa keton dan aldehid		
	1562-1570	Amida I dan II		
	Penciri			
	1707	Lipid		
869-881	Terpen			
Penyimpanan hari ke-4 (P4)	Yang terdeteksi			
	2885-3059	Hidrokarbon alifatik (-CH ₂ -) lipid	Schulz dan Baranska (2007) Jannah <i>et al.</i> (2009) Pelissari <i>et al.</i> (2012) Borges <i>et al.</i> (2014) Canteri <i>et al.</i> (2019) Naksing <i>et al.</i> (2021)	
	1595-1597	Lignin		
	1278-1303	Amida III		
	837-891	Terpen		
	Penciri			
1600-1606	Pektin, amida I			
Penyimpanan hari ke-8 (P8)	Yang terdeteksi			
	3642-3732	Gugus hidroksi bebas (-OH)	Schulz dan Baranska (2007) Jannah <i>et al.</i> (2009) Borges <i>et al.</i> (2014) Dahiru <i>et al.</i> (2018) Li <i>et al.</i> (2019) Canteri <i>et al.</i> (2019) Gupta <i>et al.</i> (2022)	
	1462	Cincin B tanin		
	1743-1772	Asam karboksilat dan gugus ester (C=O <i>stretching</i>), pektin, metil esterifikasi asam uronat, selulosa, heteromannans, heteroxylans, lignin		
	Penciri			
	1172-1176	Disakarida		
2320-2024	Hidrokarbon aromatik (C=O dan C=C), senyawa keton dan aldehida			
Penyimpanan hari ke-12 (P12)	775-779	Fenil	Schulz dan Baranska (2007)	
	Yang terdeteksi			
	3662-3670	Gugus hidroksi bebas (-OH)		

Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan/Gugus Fungsi	Pustaka
Penyimpanan hari ke-12 (P12)	1635	Amida I, gugus karbonil bebas, karbohidrat, senyawa fenolik	Pelissari <i>et al.</i> (2012) Borges <i>et al.</i> (2014)
	2002-2004	Hidrokarbon aromatik (C=O dan C=C), senyawa keton dan aldehida	Dahiru <i>et al.</i> (2018) Canteri <i>et al.</i> (2019)
	Penciri		Gupta <i>et al.</i> (2022)
	1174-1184	Disakarida	
	900-912	Cincin karbohidrat	

dan lignin (golongan non-karbohidrat) sebagai pencirinya. Pada sampel P8 (penyimpanan hari ke-8) mengindikasikan adanya senyawa disakarida, aromatik, dan fenil sebagai penciri. Selain itu penciri pada sampel P12 (penyimpanan hari ke-12) (Gambar 4) yaitu senyawa disakarida yang termasuk golongan senyawa karbohidrat sederhana.

Kualitas Pisang Berdasarkan Tahap Pematangan Buah Pasca Panen

Berdasarkan hasil analisis *fingerprinting*, diketahui bahwa selama proses pematangan buah pasca panen terjadi berbagai perubahan biokimia bahkan fisiologisnya (kulit dan tekstur). Analisis *fingerprinting* menunjukkan bahwa pisang mentah cenderung memiliki kandungan lemak, protein, dan polisakarida yang tinggi. Hal ini dapat diketahui dari bilangan gelombang 869-881 cm⁻¹, 1707 cm⁻¹, dan 2870-2875 cm⁻¹ pada sampel C sebagai komponen lemak (Borges *et al.*, 2014), bilangan gelombang 1562-1570 cm⁻¹ sebagai komponen protein (Schulz dan Baranska, 2007), dan bilangan gelombang 2326-2328 cm⁻¹ sebagai hidrokarbon aromatik senyawa keton dan aldehida yang merupakan bagian dari kelompok senyawa polisakarida (Gupta *et al.*, 2022).

Hasil pada P4 juga terdeteksi tingginya komponen lemak, protein, dan polisakarida. Hal ini karena komponen lemak ditandai dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 837-891 cm⁻¹ dan 2885-3059 cm⁻¹ masing-masing sebagai terpen dan hidrokarbon alifatik lipid

(Schulz dan Baranska, 2007; Borges *et al.*, 2014). Komponen protein ditandai pada bilangan gelombang 1278-1303 cm⁻¹ sebagai amida III dan 1600-1606 cm⁻¹ sebagai amida I (Pelissari *et al.*, 2012). Bilangan gelombang 1600-1606 cm⁻¹ juga menunjukkan senyawa pektin pada P4 sebagai serat makanan/polisakarida (Canteri *et al.*, 2019). Sedangkan pada sampel P8 dan P12 komponen lemak dan protein lebih rendah, adapun golongan senyawa sakarida yang muncul berbeda dengan P4, yaitu golongan disakarida yang ditunjukkan pada bilangan gelombang 1172-1184 cm⁻¹ (Schulz dan Baranska, 2007). Berdasarkan hal tersebut, kandungan polisakarida pada pisang mentah mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu pematangan buah pasca panen.

Berdasarkan penurunan polisakarida serupa dengan penelitian Yap *et al.* (2017), bahwa pisang pada saat tahap pematangan ke-1 memiliki kandungan polisakarida sebanyak 2,80 g/100 g dan total kandungan gula sebanyak 1,26 g/100 g, sedangkan pada saat tahap pematangan ke-7 kandungan polisakaridanya turun menjadi 0,91 g/100 g dan total kandungan gula naik menjadi 12,28 g/100 g. Kondisi ini disebabkan karena adanya proses respirasi selama pematangan buah yang mengakibatkan pemecahan komponen polisakarida menjadi gula sederhana seperti disakarida dan monosakarida (Widodo *et al.*, 2019). Terbentuknya gula sederhana akan memberikan rasa manis pada buah pisang, selain itu gula sederhana mudah diserap oleh tubuh dan dikonversi menjadi energi.

Konsumsi gula sederhana yang berlebihan akan menyebabkan suatu gangguan kesehatan seperti obesitas. Obesitas menjadi ancaman kesehatan yang serius bagi masyarakat karena perannya sebagai faktor risiko berbagai penyakit penyebab kematian utama termasuk Diabetes Mellitus (DM) (Pramesta *et al.*, 2021). Penderita DM perlu melakukan diet rendah gula. Gula sederhana yang terdeteksi pada sampel P8 dan P12 memungkinkan untuk tidak dijadikan sebagai bahan pangan konsumsi penderita DM.

Hasil pada P8 juga terdeteksi adanya komponen antinutrisi yang ditandai dengan cincin B tanin pada bilangan gelombang 1462 cm^{-1} (Li *et al.*, 2019). Hadirnya senyawa tanin dapat menyebabkan bioavailabilitas protein dalam sistem pencernaan menjadi menurun. Selain itu, tanin dalam konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan efek toksik yang mengakibatkan kerusakan pada saluran pencernaan (Jayanegara *et al.*, 2019). Beberapa penelitian melaporkan bahwa efek negatif lain dari tanin adalah menyebabkan gangguan penyerapan zat besi, menurunkan kualitas protein makanan, dan menghasilkan efek karsinogenik.

Hasil pada P12 terdeteksi gugus karbonil bebas yang salah satunya mengindikasikan bahwa adanya senyawa fenolik pada bilangan gelombang 1635 cm^{-1} . Fenolik merupakan senyawa bioaktif yang menunjukkan berbagai aktivitas yang berguna antara lain sebagai antioksidan, antidermatosis, komopreventif, antikanker, dan antiviral (Suwanto *et al.*, 2017). Namun komponen fenolik yang terdapat pada sampel P12 berpotensi terjadi reaksi oksidasi akibat katalisis dari enzim-enzim PPO yang dapat menyebabkan pencoklatan enzimatik. Berdasarkan kualitas dari keempat pisang, diketahui bahwa tahap pematangan yang optimal untuk menjaga kualitas pisang adalah waktu penyimpanan 4 hari (P4). Sampel P4 dipilih berdasarkan tingginya senyawa nutrisi yang terdeteksi antara lain serat makanan (polisakarida), protein, dan lemak. Sedangkan sampel C, P8, dan P12

memiliki komponen nutrisi yang lebih rendah.

Serat makanan yang teridentifikasi dalam sampel pisang adalah pektin yang merupakan serat larut air. Serat larut air memiliki beberapa manfaat bagi tubuh antara lain untuk mengontrol berat badan, menjerat lemak di dalam usus halus, sehingga serat dapat menurunkan tingkat kolesterol dalam darah sampai 5% atau lebih, serta dapat mengurangi risiko penyakit kardiovaskuler. Adapun fungsi lain dari serat adalah mengulangi penyakit DM, mencegah gastrointestinal, dan mencegah kanker usus besar (Wintariasih, 2019). Kandungan lemak (lipid) yang terkandung dalam sampel pisang merupakan salah satu sumber energi penting yang dibutuhkan tubuh untuk melakukan aktivitas sehari-hari (Arizal *et al.*, 2018). Lemak juga berfungsi sebagai pelindung tubuh dari perubahan suhu, terutama suhu rendah, pelarut beberapa vitamin (A, D, E dan K), sebagai pelindung organ vital seperti lambung dan jantung, penahan lapar, dan penghemat protein (Rahayu, 2020). Pada sampel pisang juga terdeteksi gugus amida yang mewaliki senyawa protein yang berfungsi sebagai zat pembangun tubuh dan zat pengatur di dalam tubuh. Selain itu, fungsi utama protein bagi tubuh adalah membentuk jaringan baru dan juga pemeliharaan jaringan yang telah ada atau mengganti bagian-bagian yang telah rusak (Nasution *et al.*, 2020).

Berdasarkan analisis metabolomik yang telah dilakukan, hasil dari penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh beberapa *stakeholder*, antara lain adalah masyarakat, ekspertis atau peneliti, produsen pengolah pisang dan pemerintah. Bagi masyarakat informasi ini penting khususnya untuk penjual agar dapat menjual serta mengedukasi pembeli mengenai pisang yang memiliki kualitas gizi sesuai dengan peruntukannya. Hal ini seperti pada sampel P4 merupakan pisang dengan kandungan nilai gizi paling optimal karena mengandung serat, protein dan lemak, namun dari segi organoleptik kurang disukai karena teksturnya yang keras dan rasanya yang

kurang manis. Maka itu sampel P4 lebih baik dimanfaatkan sebagai tepung pisang untuk makanan olahan. Sedangkan, jika untuk pisang yang akan dikonsumsi langsung dianjurkan sampel P12 karena memiliki tekstur yang lebih lunak dan rasa yang lebih manis karena tinggi akan gula sederhana, namun tidak memiliki kandungan gizi yang lebih baik dibandingkan P4. Selain itu, dengan mengetahui waktu optimal pematangan pisang juga dapat menjadi dasar informasi bagi penjual untuk melakukan upaya penghambatan tahap pematangan pisang.

Upaya ini memiliki banyak manfaat dari berbagai bidang, seperti: bidang kesehatan, manfaatnya adalah agar mempertahankan nilai gizi pisang yang dijual sehingga konsumen dapat memperoleh manfaat yang optimal. Selain itu pada bidang ekonomi, upaya ini bermanfaat bagi penjual agar dapat memperpanjang umur simpan pisang sehingga dapat menurunkan resiko kerugian dari penjualan pisang.

Bagi ekspertis dan peneliti, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya. Bagi produsen pengolah pisang, informasi ini dapat bermanfaat agar para produsen dapat menggunakan pisang dengan waktu pematangan yang tepat sehingga akan menghasilkan pangan fungsional dengan dengan nilai gizi yang lebih baik. Bagi pemerintah, hasil penelitian ini dapat menjadi informasi yang bermanfaat dalam pengawasan Pangan Segar Asal Tumbuhan (PSAT) yang dilakukan oleh Dinas Pertanian Kabupaten/Kota dibawah pengelolaan Badan Ketahanan Pangan, Kementerian Pertanian.

KESIMPULAN

Analisis metabolomik berhasil mengevaluasi kualitas pisang ambon berdasarkan tahap pematangan buah pasca panen. Model PCA mampu mengklasifikasikan tiap jenis sampel berdasarkan profil metabolitnya. Terdapat

beberapa metabolit penciri yang dapat membedakan tiap jenis pisang, diantaranya pada pisang C terdeteksi adanya lemak; pada pisang P4 terdeteksi protein dan serat makanan; pada pisang P8 terdeteksi senyawa disakarida, aromatik, dan fenil; pada pisang P12 terdeteksi senyawa disakarida. Hasil analisis metabolomik menunjukkan bahwa sampel pisang pada penyimpanan hari ke-4 (P4) memiliki kandungan nutrisi yang paling optimum dibandingkan dengan sampel lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada pihak Simbelmawa dan Universitas Pendidikan Indonesia sebagai pemberi hibah dana penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa Riset Eksakta (PKM-RE) tahun 2022, serta ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. rer. nat. Nizar Happyana, M.Si. dan Ibu Aih Diniresna, M. P. Kim. dari Laboratorium Kimia Organik Bahan Alam, ITB yang telah membantu dalam proses *freeze dry* sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifsyah, M. (2020). Kajian Eksperimen Pengaruh Temperatur Terhadap Konduktivitas Termal Kulit Buah Pisang Ambon Lumut (*Musa paradisiaca* L.) (Skripsi). Makassar: Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Retrieved from <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/2173/>
- Arizal, H., Januarsa, A., & Fadhila M, E. (2018). Dalam Membatasi Konsumsi Gula, Garam dan Lemak Bagi Dewasa Muda. *Jurnal Rekamakta Institut Teknologi Nasional*, 1-15. Retrieved from <https://shorturl.at/QEOwE>
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Produksi Tanaman Buah-buahan 2020*. Retrieved from <https://www.bps.go.id/indicator/55/62>

/2/produksi-tanaman-buah-buahan.html

- Borges, C. V., de Oliveira Amorim, V. B., Ramlov, F., da Silva Ledo, C. A., Donato, M., Maraschin, M., & Amorim, E. P. (2014). Characterisation of metabolic profile of banana genotypes, aiming at biofortified *Musa spp.* cultivars. *Food chemistry*, *145*, 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.041>
- Canteri, M. H. G., Renard, C. M. G. C., Le Bourvellec, C., & Bureau, S. (2019). ATR-FTIR spectroscopy to determine cell wall composition: Application on a large diversity of fruits and vegetables. *Carbohydrate Polymers*, *212*, 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.021>
- Dahiru, M., Zango, Z. U., & Haruna, M. A. (2018). Cationic Dyes Removal Using Low-Cost Banana Peel Biosorbent. *American Journal of Materials Science*, *8*(2), 32–38. Retrieved from <http://article.sapub.org/10.5923/j.materials.20180802.02.html>
- Dasenaki, M.E., Thomaidis, N.S. (2019). Quality and Authenticity Control of Fruit Juices-A Review. *Molecules*, *24* (1014), 1-35. <https://doi.org/10.3390/molecules24061014>
- Elisabeth, P. (2017). Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Pisang Ambon dari Berbagai Tingkat Kematangan dalam Menurunkan Glukosa Darah Mencit Penderita Diabetes (Skripsi). Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Retrieved from <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/10973>
- Farag, Mohamed & Mohsen, Engy & El Gendy, Abd El Nasser. 2018. Sensory metabolites profiling in *Myristica fragrans* (Nutmeg) organs and in response to roasting as analyzed via chemometric tools. *LWT*, *97*, 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.002>
- Gupta, U.S., Tiwari, S. (2022). Enhancements of the Mechanical Properties for Banana/Sisal Fibers by Cold Glow Discharge Oxygen Plasma Treatment. *SSRN Electronic Journal*, *1*, 1–26. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1544848/v1>
- Holse, M., Larsen, F.H., Hansen, A., & Engelsen, S. B. (2011). Characterization of marama bean (*Tylosema esculentum*) by comparative spectroscopy: NMR, FT-Raman, FT-IR, and NIR. *Food Research International*, *44*(1), 373-384. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.003>
- Jannah, M., Mariatti, M., Abu Bakar, A., & Abdul Khalil, H. P. S. (2009). Effect of chemical surface modifications on the properties of woven banana-reinforced unsaturated polyester composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *28* (12), 1519–1532. <https://doi.org/10.1177/0731684408090366>
- Jayanegara, A., Ridla, M., Laconi, E. B. (2019). *Komponen Antinutrisi Pada Pakan*. Bogor: IPB Press. Retrieved from https://www.agropustaka.id/wp-content/uploads/2019/07/Komponen-Anti-Nutrisi-pada-Pakan_Buku-Ajar.pdf
- Korban, S.S. (2021). *The Apple Genome*. Springer Nature Switzerland AG. Cham. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-74682-7>
- Li, X., Jiang, H., Pu, Y., Cao, J., & Jiang, W. (2019). Inhibitory Effect of Condensed Tannins from Banana Pulp on Cholesterol Esterase and Mechanisms of Interaction. *Journal of*

- Agricultural and Food Chemistry*, 67 (51), 14066–14073. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05212>
- Maduwanthi, S. D. T., dan Marapana, R. A. U. J. (2021). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of banana (*Musa acuminata*, AAB) as affected by induced ripening agents. *Food Chemistry*, 339, 127909. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127909>
- Naksing, T., Teeka, J., Rattanavichai, W., Pongthai, P., Kaewpa, D., Areesirisuk, A. (2021). Determination of bioactive compounds, antimicrobial activity, and the phytochemistry of the organic banana peel in Thailand. *Bioscience Journal*, 37, 1981-3163. Retrieved from <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencesjournal/article/view/56306>
- Nasution, A. Y., Novita, E., Nadela, O., & Arsila, S. P. (2020). Penetapan Kadar Protein pada Nanas Segar dan Keripik Nanas dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis dan Kjehdahl. *JOPS (Journal of Pharmacy and Science)*, 3(2), 6-11. <https://doi.org/10.36341/jops.v4i2.1349>
- Ningsih, R., Rafi, M., Tjahjoleksono, A., Bintang, M., Megia, R. (2021). Ripe pulp metabolite profiling of ten Indonesian dessert banana cultivars using UHPLC-Q-Orbitrap HRMS. *European Food Research and Technology*, 247(11), 2821-2830. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-021-03834-7>
- Păucean, A., Mureșan, V., Maria-Man, S., Chiș, M. S., Mureșan, A. E., Șerban, L. R., Pop, A., Muste, S. (2021). Metabolomics as a Tool to Elucidate the Sensory, Nutritional and Safety Quality of Wheat Bread—A Review. *Int. J. Mol. Sci*, 22(16), 8945. <https://doi.org/10.3390/ijms22168945>
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. D. A., & Menegalli, F. C. (2012). Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch/Staerke*, 64(5), 382–391. <https://doi.org/10.1002/star.201100133>
- Phillips, K.M., McGinty, R.C., Couture, G., Pehrsson, P.R., McKillop, K., Fukagawa, N.K. (2021). Dietary fiber, starch, and sugars in bananas at different stages of ripeness in the retail market. *PLoS ONE*, 16(7), e0253366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253366>
- Piorunska-Sedlak, K., dan Stypulkowska, K. (2021). Selectivity of identification of compounds from the group of phosphodiesterase 5 inhibitors (PDE-5i) in falsified products from the Polish market using attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy and X-ray powder diffraction. *Science & Justice*, 61(6), 714-722. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.08.008>
- Pott, D. M., Vallarino, J. G., Osorio, S. (2020). Metabolite Changes during Postharvest Storage: Effects on Fruit Quality Traits. *Metabolites*, 10(5),187. <https://doi.org/10.3390/metabo10050187>
- Pramesta, V., Alvira Intar Bella Cahya, Ragil Saptaningtyas, Ethica, S. N., & Ayu Rahmawati Sulistyaningtyas. (2021). Penyuluhan Bahaya Konsumsi Gula Berlebih Pada Masyarakat Desa Sumberlerak Kabupaten Boyolali dengan Media Poster. *Majalah Ilmiah UPI YPTK*, 28(2), 36–41. <https://doi.org/10.35134/jmi.v28i2.77>

- Rahayu, A., Yulidasari, F., Setiawan, M. (2020). *Buku Ajar Dasar-Dasar Gizi*. CV. Yogyakarta: Mine. Retrieved from <https://bni.perpusnas.go.id/detailcatalog.aspx?id=187687>
- Schulz, H., & Baranska, M. (2007). Identification and quantification of valuable plant substances by IR and Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 43(1), 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2006.06.001>
- Suwanto, Zahroh, R., & Fatmawati, L. (2017). Review: Efikasi pisang (*Musa paradisiaca* L.) sebagai tanaman obat. In *Pokjonas Toi*. 3:79–83. Retrieved from <http://elibs.unigres.ac.id/id/eprint/232>
- Tristán, A., Abreu, A., Aguilera-Sáez, L., Peña, A., Conesa-Bueno, A., Fernández, I. (2022). Evaluation of ORAC, IR and NMR metabolomics for predicting ripening stage and variety in melon (*Cucumis melo* L.). *Food Chemistry*, 372, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131263>
- Utomo, D. P., dan Mesran, M. (2020). Analisis Komparasi Metode Klasifikasi Data Mining dan Reduksi Atribut Pada Data Set Penyakit Jantung. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 4(2), 437-444. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/342236497_Analisis_Komparasi_Metode_Klasifikasi_Data_Mining_dan_Reduksi_Atribut_Pada_Data_Set_Penyakit_Jantung
- Widodo, W. D., Suketi, K., & Rahardjo, R. (2019). Evaluasi Kematangan Pascapanen Pisang Barangan untuk Menentukan Waktu Panen Terbaik Berdasarkan Akumulasi Satuan Panas. *Buletin Agrohorti*, 7(2), 162–171. <https://doi.org/10.29244/agrob.7.2.162-171>
- Wintariasih, A. (2019). Perbedaan Tingkat Konsumsi Zat Gizi Makro, Tingkat Konsumsi Serat, Aktivitas Fisik Berdasarkan Kejadian Obesitas Pada Siswa Sekolah Dasar Negeri 1 Ubud (Skripsi). Denpasar: Poltekkes Denpasar. Retrieved from <https://repository.poltekkes-denpasar.ac.id/2851/>
- Yap, M., Fernando, W. M., Brennan, C. S., Jayasena, V., & Coorey, R. (2017). The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. *LWT*, 80, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.073>