

## KARAKTERISTIK WARNA DAN AKTIVITAS ANTIOKSIDAN ANTOSIANIN UBI JALAR UNGU

[Color Characteristics and Antioxidant Activity of Anthocyanin Extract from Purple Sweet Potato]

Ai Mahmudatussa'adah<sup>1,2)\*</sup>, Dedi Fardiaz<sup>1,3)</sup>, Nuri Andarwulan<sup>1,3)</sup> dan Feri Kusnandar<sup>1,3)</sup>

<sup>1)</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

<sup>2)</sup> Fakultas Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

<sup>3)</sup> SEAFast Center, Institut Pertanian Bogor, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Diterima 06 Juni 2014 / Disetujui 15 Desember 2014

### ABSTRACT

Anthocyanin is a natural pigment that produces a range of colors, varying from red, purple, blue to yellow. The stability of the anthocyanin color is affected by pH, temperature, and light. Purple sweet potato is rich in anthocyanin, particularly a stable acylated anthocyanin. This research was conducted to study the effect of pH on color and antioxidative activity of anthocyanin extracted from purple sweet potatoes, harvested from Cilembu-Sumedang, Banjaran-Bandung, and Pakembangan-Kuningan. The experiments applied a completely randomized design with two replicates, analyzed in triplo. The results showed that the total number of monomeric anthocyanin in purple sweet potato harvested from Cilembu ( $3.78 \pm 0.08$  mg cyanidin-3-glucoside/g dry weight, dw) was higher than that of Banjaran ( $3.18 \pm 0.01$  mg/g) and Pakembangan ( $2.25 \pm 0.01$  mg/g). The color of purple sweet potato anthocyanin extract was pH dependent. The color changed from red to faded red, purple, blue, green, and yellow as the pH increased from 1 to 14. The content of anthocyanins from three locations of purple sweet potatoes differed from each other ( $p < 0.05$ ). Radical scavenging activity and reducing power of purple sweet potato anthocyanins extracted at pH 1 was higher than that at pH 4.5 and pH 7.

**Keywords:** anthocyanin, antioxidant activity, purple sweet potato

### ABSTRAK

Antosianin merupakan pewarna alami dengan warna bervariasi dari merah, ungu, biru, dan kuning bergantung pada nilai pH lingkungannya. Stabilitas warna antosianin dipengaruhi pH, suhu dan cahaya. Ubi jalar ungu mengandung antosianin terasilasi yang bersifat stabil. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh pH terhadap warna, dan aktivitas antioksidan ekstrak antosianin ubi jalar ungu yang dibudidayakan di Cilembu-Sumedang; Banjaran-Bandung; dan Pakembangan-Kuningan. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan dua ulangan tiga kali pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah total antosianin monomer dalam ekstrak antosianin ubi jalar ungu yang dibudidayakan di Cilembu ( $3.78 \pm 0.08$  mg setara sianidin-3-glukosida/g berat kering); dan lebih tinggi dibandingkan dari Banjaran ( $3.18 \pm 0.01$  mg/g) dan lebih tinggi dibandingkan dari Pakembangan ( $2.25 \pm 0.01$  mg/g). Warna ekstrak antosianin ubi jalar ungu berubah dari merah, merah pudar, ungu, biru, hijau dan kuning seiring dengan meningkatnya pH dari 1 sampai 14. Jumlah antosianin dari ubi jalar ungu yang berasal dari tiga lokasi berbeda secara nyata ( $p < 0.05$ ). Aktivitas penangkapan radikal bebas dan kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH 1 lebih tinggi dibandingkan pada pH 4.5 dan pH 7.

**Kata kunci:** aktivitas antioksidan, antosianin, ubi jalar ungu

### PENDAHULUAN

Antosianin merupakan komponen bioaktif kelompok flavonoid yang dapat memberikan warna merah, ungu, biru, pada bunga, daun, umbi, buah dan sayur yang bergantung pada pH lingkungan tempatnya berada (Torskangerpoll dan Andersen, 2005; Burdulis *et al.* 2009; Jensen *et al.* 2011). Antosianin larut dalam air dan aman untuk dikonsumsi, sehingga umumnya digunakan sebagai pewarna alami untuk produk makanan dan minuman (Chisté *et al.* 2010). Antosianin memiliki fungsi yang baik untuk kesehatan seperti mencegah risiko kanker usus kolon (Lim, 2012) dan kanker hati (Choi *et al.* 2010). Antosianin juga diketahui sebagai antidiabetes (Sancho dan Pastore, 2012) dan antioksidan (Takahata *et al.* 2011, Jiao

*et al.* 2012). Sifat antosianin, termasuk perubahan warna, dan aktivitas antioksidan dipengaruhi oleh pH dan struktur dari antosianin (Março *et al.* 2011). Struktur antosianin berubah pada pH 1, pH 4.5; dan pH 7 (Lee *et al.* 2005). Aktivitas antioksidan antosianin dari bunga telang dan ekstrak *lowbush blueberry* tertinggi adalah pada pH 1, diikuti oleh pH 4.5 dan 7 (Marpaung, 2012). Berbagai macam sayur, buah, bunga, dan umbi sudah ditemukan mengandung antosianin seperti kubis merah (Wiczowski *et al.* 2013), kulit leci (Ruenroengklin *et al.* 2008) beras hitam, paria, paprika, kulit bawang, kulit anggur, mulberry, buah bit (Boo *et al.* 2012), rosella (Duangmall *et al.* 2008), buah duwet (Sari *et al.* 2012), bunga telang (Marpaung, 2012), dan ubi jalar ungu (Jiao *et al.* 2012).

Ubi jalar mudah dibudidayakan, dapat tumbuh pada berbagai macam jenis tanah, produktivitasnya tinggi, dengan masa tanam yang relatif pendek (3-6 bulan), dan membutuhkan sedikit pupuk (George *et al.* 2011). Tempat budidaya ubi jalar

\*Penulis Korespondensi:  
Email: aims\_upi@yahoo.co.id dan aims@upi.edu

ungu di Jawa Barat antara lain Cilembu-Sumedang, Banjaran-Bandung, dan Pakembangan-Kuningan. Ketiga tempat ini memiliki karakteristik geografis dan iklim yang relatif berbeda. Beberapa peneliti sebelumnya menemukan bahwa letak geografis tempat tumbuh dan suhu lingkungan tumbuh mempengaruhi kandungan total antosianin kentang (Reyes *et al.* 2004; Brown *et al.* 2008), *bilberries* (Burdulis *et al.* 2007), ceri (Sandra *et al.* 2010), dan kedelai (Kim *et al.* 2014).

Belum ditemukan penelitian yang mengkaji pengaruh geografis dan iklim tempat tumbuh terhadap karakteristik warna dan aktivitas antioksidan antosianin ubi jalar ungu pada pH 1, 4.5; dan 7. Penelitian mengenai ubi jalar ungu yang sudah dilakukan peneliti sebelumnya diantaranya adalah optimasi ekstraksi antosianin (Huang *et al.* 2010; Truong *et al.* 2012), identifikasi jumlah monomer antosianin (Terahara *et al.* 2004, Truong *et al.* 2010), stabilitas antosianin (Cevallos-Casals dan Cisneros-Zevallos, 2004; Li *et al.* 2013), aktivitas antioksidan (Kano *et al.* 2005; Takahata *et al.* 2011; Jiao *et al.* 2012), mencegah kanker usus (Lim, 2012), pengaruh pengolahan terhadap kadar antosianin (Burgos *et al.* 2013). Hipotesis dari penelitian ini adalah (1) ubi jalar ungu yang ditanam di lokasi yang berbeda memiliki jumlah antosianin monomerik berbeda serta memiliki variasi (2) warna, spektra warna, dan aktivitas antioksidan.

Penelitian ini mengkaji pengaruh lokasi budidaya ubi jalar ungu terhadap kandungan antosianin monomerik dan perubahan warna dan spektra dari ekstrak antosianin pada pH 1-14, dan aktivitas antioksidan ekstrak antosianin tersebut pada pH 1, 4.5; dan 7.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Ubi jalar ungu varietas Ayamurasaki telah diverifikasi di Balitkabi Malang. Ubi jalar ungu dari Petani di Cilembu-Sumedang, Banjaran-Bandung dan Pakembangan-Kuningan dengan masa tanam 5 bulan (November 2012–April 2013).

### Persiapan sampel

Ubi jalar ungu dari tiga lokasi tumbuh (Cilembu-Sumedang, Banjaran-Bandung, dan Pakembangan-Kuningan.) dibersihkan, dicuci dengan air mengalir, kemudian dihilangkan kulitnya dengan menggunakan pengupas abrasif. Ubi jalar selanjutnya dipotong dengan pisau baja tahan karat. Ubi jalar dipotong dengan panjang ±3 cm, kemudian masing-masing potongan dibelah empat. Terhadap sampel dilakukan *blanching* dengan menggunakan *steam blancher* selama 7 menit. Sampel selanjutnya dihancurkan dan dibekukan pada suhu -27°C.

### Ekstraksi antosianin (Modifikasi Huang *et al.* 2010)

Sebanyak 1 g sampel beku disuspensikan dalam 32 mL larutan asam-metanol 15% HCl (Sigma-Aldrich) (1.5 M HCl di dalam metanol). Suspensi diaduk dalam alat penangas air goyang pada suhu 50°C selama 60 menit. Suspensi sampel disentrifugasi pada kecepatan 4.042.7 g selama 15 menit. Supernatan dipisahkan dan disaring dengan kertas saring

Whatman No. 1. Endapan diekstrak kembali berulang dua kali dengan larutan asam-metanol 15%, kemudian supernatan dikumpulkan dalam botol kaca gelap. Supernatan diuapkan dengan evaporator putar pada suhu 40°C sampai diperoleh ekstrak antosianin pekat. Volume ekstrak antosianin yang diperoleh adalah 4-6.5 mL, kemudian disimpan dalam botol gelap pada suhu -27°C sampai digunakan untuk analisis.

### Analisis antosianin monomerik (Lee *et al.* 2005)

Sebanyak 1 mL ekstrak antosianin dimasukkan ke dalam labu ukur 5 mL, kemudian ditambah larutan buffer kalium klorida (0.025 M) pH 1 sampai volume menjadi 5 mL. Sebanyak 1 mL ekstrak antosianin dimasukkan ke dalam labu ukur 5 mL yang lain, kemudian ditambah larutan buffer natrium asetat (Sigma-Aldrich) (0.4 M) pH 4.5 sampai volume menjadi 5 mL. Kedua labu tersebut kemudian ditempatkan di tempat gelap selama 60 menit. Penyerapan sinar dari setiap larutan setelah mencapai kesetimbangan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 700 nm dengan blanko air destilasi. Konsentrasi antosianin monomerik dinyatakan sebagai mg CyE (*cyanidin-3-glukosida equivalent*) per gram bahan kering sampel. Selanjutnya antosianin monomerik (CyE) dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) (Li *et al.* 2013). Monomer antosianin dihitung dan dinyatakan sebagai ekuivalen sianidin-3-glukosida (CyE, C<sub>21</sub>H<sub>21</sub>O<sub>11</sub>, mg/L).

$$A = (A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{700})_{\text{pH } 4.5} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Antosianin monomerik (CyE, Mg/L)} : \frac{A \times \text{BM} \times \text{FP} \times 1000}{\epsilon \times l} \dots \dots \dots (2)$$

$A_{\lambda_{\text{vis-max}}}$  = absorbansi pada panjang gelombang penyerapan maksimum di daerah sinar tampak, A = absorbansi, BM = berat molekul sianidin-3-glukosida, 449.2 g/mol, FP = faktor pengenceran,  $\epsilon$  = absorptivitas molar sianidin-3-glukosida (26.900 L/cm/mol), l = panjang sel kuvet (1 cm), dan 1.000 faktor konversi gram ke miligram.

Semua pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali (triplo). Untuk mendapatkan absorbansi maksimum, spektrum dari larutan sampel diukur pada panjang gelombang 350–700 nm. Sampel ini menunjukkan  $\lambda_{\text{vis-max}}$  pada panjang gelombang 521 nm untuk pH 1 dan 544 nm untuk pH 4.5.

### Karakterisasi spektra warna antosianin pada berbagai pH (Cevallos-Casals dan Cisneros-Zevallos, 2004)

Spektra warna sampel antosianin diukur pada kisaran pH 1-14. Setiap 7.35 mg/L ekstrak antosianin ubi jalar ungu disiapkan pada pH 1-14 dengan cara 1 mL sampel dimasukkan ke dalam labu takar 5 mL kemudian ditambahkan 4 mL larutan buffer kalium klorida (Sigma-Aldrich) (0.025 M) untuk pH 1-4, dan buffer natrium asetat 9 (Sigma-Aldrich) (0.4 M) untuk pH 5-14. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan larutan NaOH 9 (Sigma-Aldrich) (0.5 M, 2 M, atau 16 M) atau 1.5 M HCl. Sampel disimpan di ruang tertutup pada suhu kamar selama 60 menit untuk kemudian dilakukan pengamatan spektra pada panjang gelombang 200-700 nm.

### Analisis aktivitas penangkapan radikal DPPH (Jiao et al. 2012)

Sebanyak 2 µL ekstrak antosianin (7.35 mg/L) dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambah 2 mL DPPH (Sigma-Aldrich) 0.2 µM dalam etanol, kemudian divorteks. Larutan didiamkan di dalam ruang gelap selama 30 menit. Larutan segera diukur penyerapan sinarnya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm. Sebagai kontrol digunakan larutan DPPH tanpa sampel dan tanpa standar. Untuk pembuatan kurva standar digunakan asam askorbat atau kuersetin dengan konsentrasi bertingkat 6.25, 12.5, 25, 50, 75, dan 100 ppm. Aktivitas penangkapan terhadap radikal DPPH dinyatakan sebagai % penghambatan terhadap radikal DPPH. Persentase penghambatan dihitung dengan rumus (3):

$$\% \text{ Penghambatan} = \frac{(A_0 - A_s)}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$A_0$  = absorbans tanpa penambahan sampel/standar  
 $A_s$  = absorbans dengan penambahan sampel/standar

### Analisis kekuatan mereduksi besi (III) sianida (modifikasi Jiao et al. 2012)

Sebanyak 1 mL sampel (7.35 mg/L) dicampur dengan 3.0 mL 0.5 M buffer fosfat (pH 6.6) dan 2.5 mL 1% kalium besi (III) sianida diinkubasi pada suhu 50°C selama 20 menit. Sebanyak 2.5 mL asam trikloroasetat (10% b/v) ditambahkan ke dalam campuran untuk menghentikan reaksi, kemudian disentrifugasi pada kecepatan 2.274 g selama 10 menit. Sebanyak 1 mL supernatan ditambah dengan 1 mL air destilasi dan 0.2 mL 0.1% (b/v) FeCl<sub>3</sub>. Campuran larutan didiamkan 10 menit, kemudian diukur penyerapan sinarnya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 700 nm. Kekuatan mereduksi ditandai dengan peningkatan penyerapan sinar.

### Analisis statistik

Data hasil pengujian dianalisis secara statistik dengan menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi dengan Microsoft Office Excel 2010. Semua data yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk nilai rerata ± standar deviasi. Data dianalisis sidik ragamnya dan untuk menetapkan adanya perbedaan antara rerata parameter dilakukan uji jarak berganda Duncan dengan menggunakan aplikasi SPSS 16.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Antosianin monomerik

Dalam penelitian ini jumlah antosianin monomerik dinyatakan dalam mg setara sianidin-3-glukosida, karena sianidin merupakan salah satu antosianidin dominan di dalam ubi jalar ungu (Montilla et al. 2011). Karakteristik warna ubi jalar ungu varietas Ayamurasaki yang digunakan dalam penelitian ini berwarna ungu kemerahan dengan nilai parameter  $a^*$ ,  $b^*$ , dan derajat Hue disajikan pada Tabel 1. Makna notasi  $a^*$  = merah (+) sampai hijau (-),  $b^*$  = kuning (+) sampai biru (-) Hue diekspresikan sebagai derajat sudut mulai dari 0–360°. Nilai 0°

(merah) dalam kuadran  $+a^*$ , diputar berlawanan arah jarum jam 90° (kuning) untuk  $+b^*$ , 180° (hijau) untuk  $-a^*$ , 360° (biru) untuk  $-b^*$ . Menurut Montilla et al. (2011) ubi jalar ungu kemerahan, dengan warna dominan biru memiliki antosianin utamanya adalah antosianin 3-glukosida.

Tabel 1. Karakteristik warna ubi jalar ungu varietas Ayamurasaki dari tiga lokasi penanaman

Sampel	$a^*$	$b^*$	Hue
Cilembu-Sumedang	9.60±0.9	-2.11±0.48	352.63±8.44
Banjaran-Bandung	29.07±3.59	-1.22±0.08	357.78±1.25
Pakembangan-Kuningan	25.24±1.41	-1.32±0.05	349.43±1.37

Kandungan total antosianin monomerik ekstrak ubi jalar ungu Cilembu, Banjaran, dan Pakembangan berturut-turut adalah 3.78±0.08; 3.18±0.01; dan 2.25±0.01 CyE/g (bk). Total antosianin monomerik berbeda secara nyata ( $p < 0.05$ ) antara sampel dari daerah asal tanam yang diteliti. Kandungan total antosianin monomerik ini berbeda dengan penelitian yang dilaporkan sebelumnya, 1.88 mg sianidin-3-glukosida/g tepung ubi jalar Ayamurasaki (Husnah, 2010). Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan tempat dan lingkungan tumbuh (Burdulis et al. 2007; Sandra et al. 2010). Biosintesis antosianin di dalam tumbuhan dipengaruhi oleh suhu lingkungan, intensitas sinar ultraviolet, curah hujan dan komposisi zat hara di dalam tanah tempat tumbuh (Delgado-Fargas et al. 2000).

Jumlah antosianin monomerik ubi jalar ungu yang dibudidayakan di Cilembu-Sumedang adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan jumlah antosianin monomerik ubi jalar ungu yang dibudidayakan di Banjaran-Bandung dan Pakembangan-Kuningan. Antosianidin yang dominan di dalam antosianin ubi jalar ungu adalah sianidin yang memberikan warna biru, dan peonidin yang memberikan warna merah (Montilla et al. 2011). Antosianin yang dominan pada ubi jalar ungu varietas Ayamurasaki berupa peonidin-3-(6"-caffeol)-sophorosida-5-glukosida (Suda et al. 2003). Untuk lebih memperjelas kandungan antosianin dominan varietas Ayamurasaki dalam penelitian ini perlu dilakukan analisa antosianin monomerik lebih lanjut dengan menggunakan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) detector *diode array* atau KCKT yang dihubungkan dengan spektrometer massa.

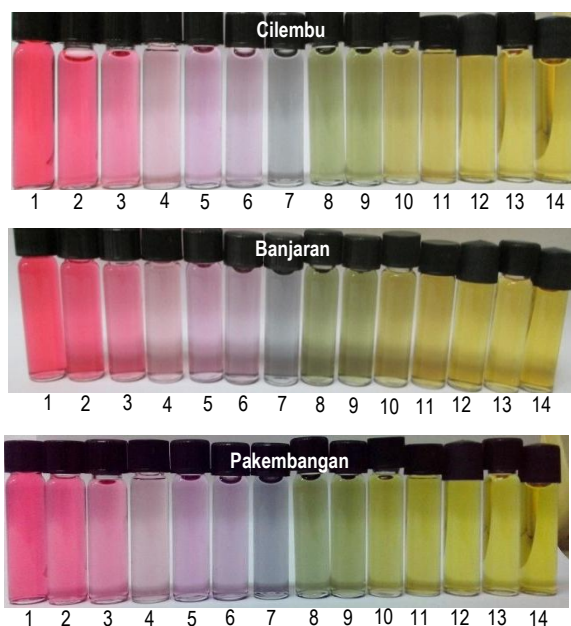
Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa jumlah antosianin dan total fenolat dari kentang yang ditanam pada suhu rendah dan sinar matahari lebih panjang 2.5 dan 1.4 kali lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah keduanya dari kentang yang ditanam pada suhu lebih tinggi (Reyes et al. 2004). Hal ini diperkuat oleh laporan Kim et al. (2014) yang menunjukkan bahwa lingkungan yang dingin lebih cocok untuk produksi antosin dan isoflavon kedelai. Menurut Brown et al. (2008) semakin tinggi dataran tempat tumbuh tanaman semakin tinggi kandungan antosianinnya. Kumar et al. (2013) melaporkan iklim dan tempat tumbuh mempengaruhi komponen bioaktif dan aktivitas antioksidan dari tapak dara (*Catharanthus roseus*). Hasil yang berbeda dilaporkan oleh Jansen dan Flamme (2006) yang menunjukkan bahwa lokasi tempat tumbuh kentang tidak berpengaruh terhadap kandungan antosianin kentang, tetapi antosianin lebih dipengaruhi oleh faktor genotif. Dengan

demikian dapat disimpulkan bahwa tempat tumbuh mempengaruhi jumlah antosianin monomerik ubi jalar ungu. Untuk lebih mengetahui pengaruh lingkungan terhadap biosintesis antosianin diperlukan penelitian lebih lanjut dengan memperhatikan secara seksama komposisi zat hara, intensitas paparan sinar ultraviolet, suhu siang dan malam, juga curah hujan di lokasi tempat penanaman.

### Warna ekstrak antosianin

Pola warna ekstrak antosianin pada berbagai pH dari ubi jalar ungu yang dipanen dari tiga daerah yang berbeda yaitu Cilembu-Sumedang, Banjaran-Bandung, dan Pakembangan-Kuningan menunjukkan karakteristik warna yang sama. Warna ekstrak antosianin cenderung berubah seiring dengan kenaikan pH 1-14 dari warna merah, ungu, biru, hijau dan kuning. Pola perubahan warna sebagai akibat perubahan pH dari ekstrak antosianin ubi jalar ungu yang dibudidayakan pada tiga daerah yang berbeda ternyata sama (Gambar 1).

Pada dasarnya, perubahan warna ini karena perubahan struktur antosianin dari kation flavilium menjadi pseudobasa hemiketal karbinol, kuinonoidal dan kalkon (Brouillard, 1982; Reyes dan Cisneros-Zepallos, 2007; Março *et al.* 2011). Perubahan struktur antosianin akibat perubahan pH (Março *et al.* 2011) yang kemudian dijadikan rujukan untuk memperkirakan perubahan struktur antosianin ubi jalar ungu peonidin-3-(6"-kaffeol)-sophorosida-5-glukosida (Suda *et al.* 2003) karena pengaruh pH ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Warna ekstrak antosianin pada pH 1-14

Keterkaitan Gambar 1 dan Gambar 2 diuraikan berikut ini. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH asam kuat 1-3 berwarna merah, pada asam lemah pH 4-6 berwarna ungu, pH 7 berwarna biru, pada pH basa lemah 8-9 berwarna hijau, dan pada pH 10, 11, 12, 13 dan 14 berwarna kuning. Março *et al.* (2011) menyatakan bahwa

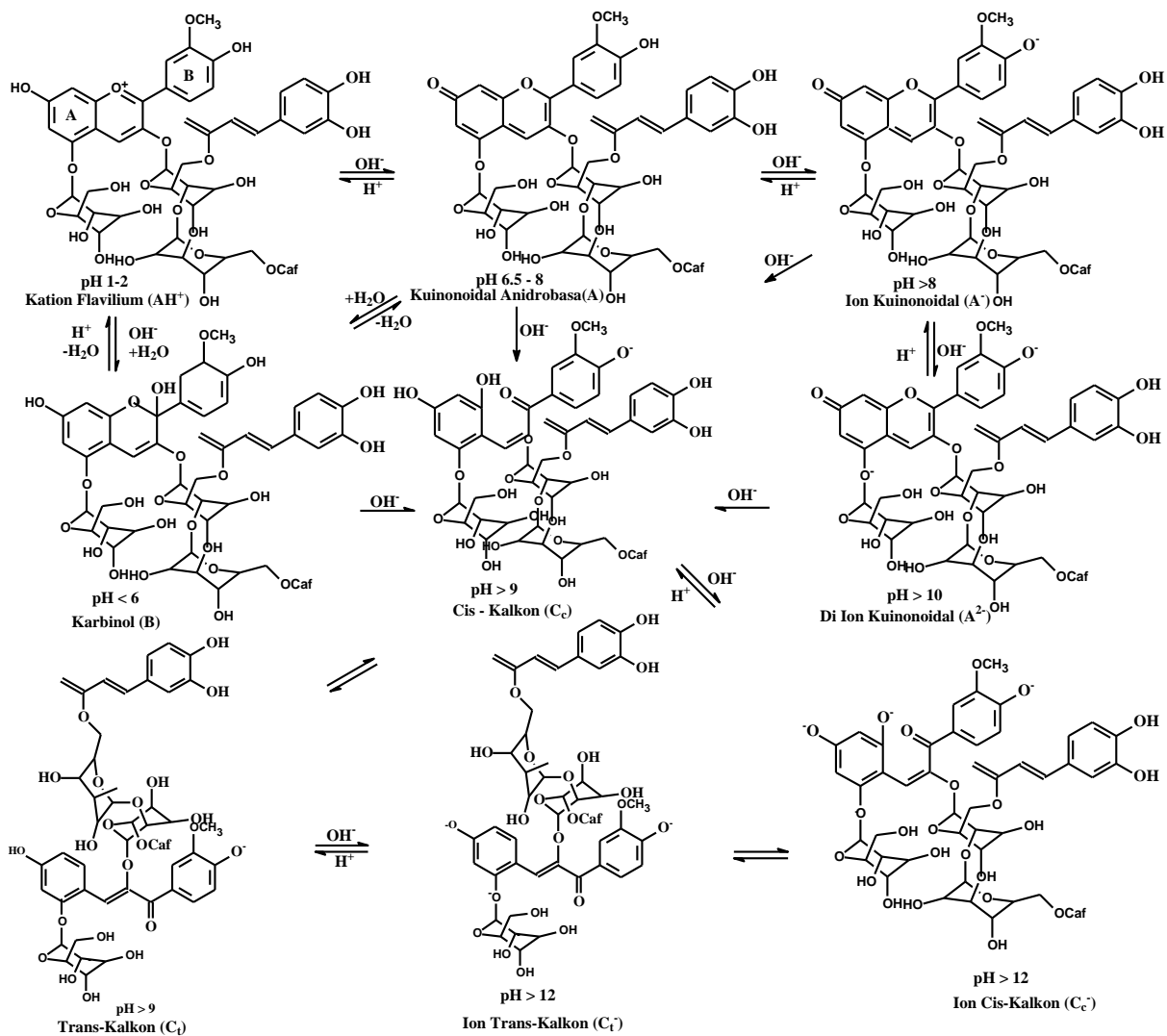
pada pH 1-2 antosianin dominan dalam bentuk kation flavilium yang berwarna merah, pada pH <6 berubah menjadi karbinol dan sebagian menjadi kuinonoidal yang berwarna biru sehingga berwarna ungu, pada pH 6.5-9 dominan kuinonoidal yang berwarna biru, pada pH >9 kalkon yang berwarna kuning (Gambar 2).

Warna ekstrak antosianin pada pH 1-7 relatif memiliki warna yang berbeda yaitu merah, ungu dan biru (Gambar 1). Warna ekstrak antosianin pada berbagai pH adalah sebagai berikut: pH 1-2 (merah), pH 3 (merah memudar), pH 4 (merah keunguan), pH 5-6 (ungu), dan pH 7 (ungu biru). Menurut Brouillard (1982) antosianin berubah warna dari merah, menjadi berkurang warnanya pada asam lemah. Pada pH rendah antosianin berada dalam bentuk kation flavilium yang merupakan bentuk paling stabil (pH 1-2). Pada pH 3 kation flavilium ada yang berubah menjadi karbinol yang tidak berwarna sehingga muncul warna merah pudar. Pada pH >3 warna merah terang kation flavilium kemudian berubah menjadi basa kuinonoidal yang berwarna biru atau menjadi karbinol *pseudobase* yang tidak berwarna sejalan dengan naiknya pH sampai pH 7. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tempat tumbuh tidak mempengaruhi karakteristik warna ekstrak antosianin ubi jalar ungu. Karakteristik warna ekstrak antosianin hanya dipengaruhi pH.

### Spektra ekstrak antosianin

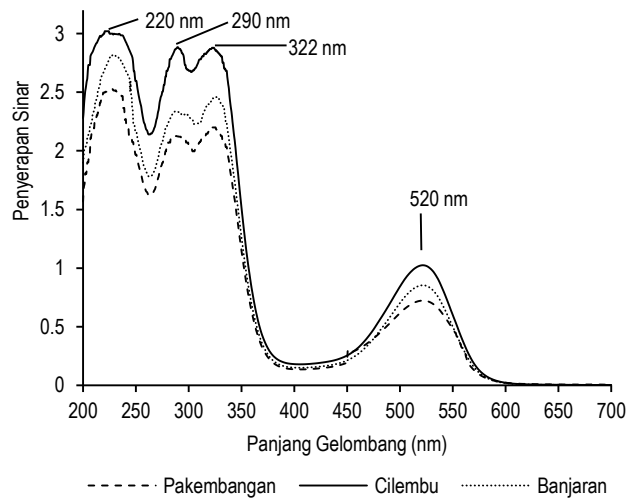
Spektra penyerapan sinar dari ketiga ekstrak antosianin menunjukkan pola spektra yang sama yaitu memiliki empat puncak penyerapan sinar maksimum pada empat panjang gelombang yang berbeda: 220, 290, dan 322 nm pada kisaran sinar ultraviolet serta 520 nm pada kisaran sinar tampak (Gambar 3). Peneliti sebelumnya menemukan ekstrak antosianin bunga teleng memiliki 4 absorbansi maksimum yaitu pada panjang gelombang 264, 287, 574 dan 519 nm (Marpaung, 2012). Penyerapan sinar ekstrak ubi jalar ungu pada panjang gelombang 322 nm adalah tiga kali lebih besar (300%) daripada penyerapan sinar pada panjang gelombang maksimum sinar tampak, menunjukkan adanya antosianin terasilasi. Peneliti sebelumnya Cevallos-Casals dan Cisneros-Zevallos (2004) menemukan penyerapan sinar ekstrak ubi jalar merah pada panjang gelombang 330 nm adalah tiga kali lebih besar (391%) daripada penyerapan sinar pada panjang gelombang maksimum sinar tampak, menunjukkan adanya antosianin terasilasi oleh gugus asil asam aromatik.

Sebelumnya ditemukan ubi jalar merah banyak mengandung turunan dari asilasi sianidin dan peonidin 3-glukosida (Truong *et al.* 2010). Li *et al.* (2013) menemukan bahwa komponen utama antosianin ubi jalar ungu kultivar Jihei No. 1 adalah 3-sophorosida-5-glukosida turunan dari sianidin dan peonidin yang diasilasi dengan asam p-hidroksibenzoat, asam ferulat, atau asam kafeat. Jika dihubungkan dengan struktur antosianin pada Gambar 2, penyerapan pada kisaran ultra violet 250-275 nm terkait dengan penyerapan cincin A pada struktur antosianin. Penyerapan pada kisaran sinar tampak 465-560 nm terkait dengan penyerapan cincin B dan C (Delgado-Vargas *et al.* 2000).



Gambar 2. Perkiraan perubahan struktur peonidin-3-(6''-kaffeol)-sophorosida-5-glucosida karena pH (Suda *et al.* 2003, Março *et al.* 2011)

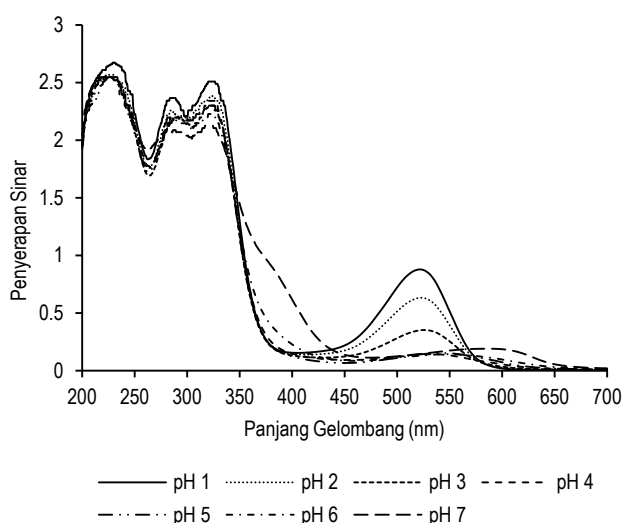
Untuk mengidentifikasi jenis antosianin yang terdapat di dalam ubi jalar ungu dapat menggunakan KCKT dengan detektor *photodiode array* atau menggunakan KCKT yang dihubungkan dengan Spektrometer Massa. Peneliti sebelumnya menemukan 16 jenis antosianin dalam ubi jalar ungu (Jiao *et al.* 2012) dan 13 jenis antosianin di dalam ubi jalar ungu Jihei No. 1 (Li *et al.* 2013) dalam bentuk mono atau diasilasi turunan peonidin dan sianidin yang dianalisa dengan menggunakan KCKT detektor *photodiode array*. Menurut Li *et al.* (2013) antosianin utama di dalam ubi jalar ungu Jihei No. 1 adalah 3-sophorosida-5-glucosida turunan dari sianidin dan peonidin yang diasilasi dengan asam p-hidroksibenzoat, asam ferulat, atau asam kafeat. Analisa antosianin dengan menggunakan KCKT memerlukan biaya yang besar. Menurut Lee *et al.* (2008), analisis jumlah antosianin dengan menggunakan perbedaan pH berkorelasi positif ( $R \geq 0.925$  pada nilai  $p \leq 0.05$ ) dengan analisis jumlah antosianin menggunakan KCKT.



Gambar 3. Spektra ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH 1

### Spektra ekstrak antosianin pada pH 1-7

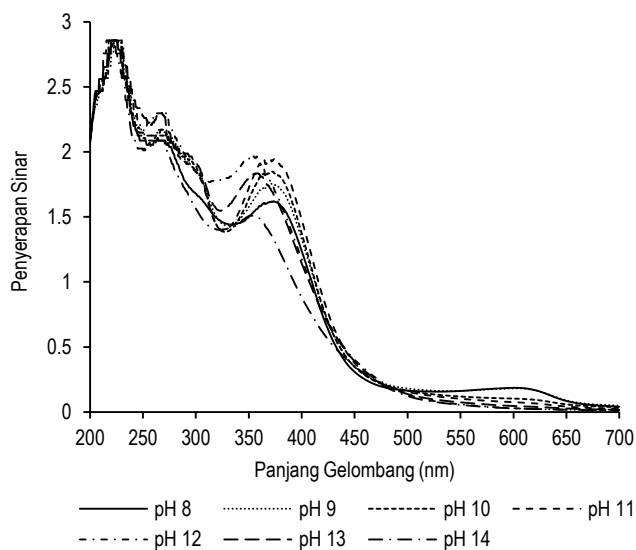
Spektra ekstrak antosianin mengalami pergeseran (*shifting*) sejalan dengan perubahan pH. Gambar 4 menunjukkan spektra ekstrak antosianin ubi jalar Cilembu pada pH 1-7. Pada pH 1-3 antosianin memiliki puncak penyerapan sinar maksimum pada kisaran panjang gelombang 520-525 nm. Dengan meningkatnya pH hingga mencapai pH 3, pergeseran hipokromik (*hypochromic shift*) terjadi ditandai dengan penyerapan maksimumnya menurun. Perubahan spektra ini adalah karena perubahan struktur antosianin dari bentuk kation flavilium menjadi hemiketal atau kuinonoidal (Brouillard, 1982). Jika pH dinaikkan dari pH 4 ke pH 7 terjadi pergeseran batokromik (*bathochromic shift*) dari kisaran panjang gelombang 520-525 nm (pH 3) ke panjang gelombang 535 nm (pH 4), 540 nm (pH 5), 582 nm (pH 6) dan 590 nm (pH 7).



Gambar 4. Spektra antosianin ubi jalar ungu Cilembu pH 1-7

### Spektra ekstrak antosianin pada pH 8-14

Pola spektra antosianin pada pH 8-14 mempunyai pola yang relatif berbeda dengan pH 1-7. Pada pH 8-9 penyerapan sinar terjadi pada panjang gelombang antara 600-630 nm (Gambar 5). Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada pH 8-11 antosianin memiliki puncak penyerapan sinar maksimum pada kisaran panjang gelombang 350-400 nm. Semakin naik pH dari 8 sampai pH 11, terjadi pergeseran hiperkromik (*hyperchromic shift*), yaitu penyerapan maksimumnya meningkat. Begitu juga pada pH 12 sampai pH 14, terjadi pergeseran hipokromik (*hypochromic shift*), yaitu penyerapan maksimumnya menurun. Perubahan spektra terjadi karena perubahan struktur antosianin dari bentuk kuinonoidal menjadi kalkon (Brouillard, 1982). Jika pH dinaikkan dari pH 11-14 terjadi pergeseran hipsokromik (*hypochromic shift*) dari kisaran panjang gelombang 365 nm (pH 11) ke panjang gelombang 355 nm (pH 12), 353 nm (pH 13), dan 350 nm (pH 14). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tempat tumbuh tidak mempengaruhi pola spektra warna ekstrak antosianin ubi jalar ungu. Pola spektra warna ekstrak antosianin hanya dipengaruhi pH.



Gambar 5. Spektrum antosianin ubi jalar ungu Cilembu pH 8-14

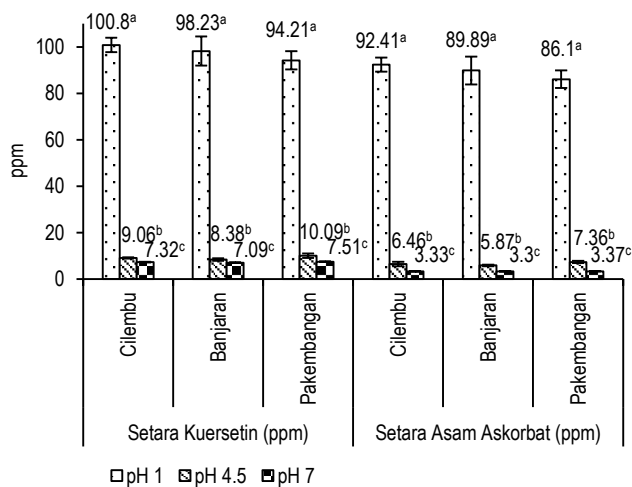
### Aktivitas antioksidasi ekstrak antosianin

Pengujian aktivitas antioksidasi ekstrak antosianin dilakukan terhadap ekstrak ubi jalar ungu pada pH 1, 4,5; dan 7. Pengujian aktivitas antioksidasi ekstrak antosianin dilakukan dengan metode penangkapan radikal bebas DPPH dan analisa kekuatan mereduksi besi (III) sianida. Antioksidan sebagai standar digunakan kuersetin dan asam askorbat sehingga hasil penelitian ini dinyatakan sebagai setara kuersetin dan setara asam askorbat. Kuersetin dan asam askorbat merupakan zat antioksidan yang larut dalam air seperti halnya antosianin.

Konsentrasi ekstrak antosianin yang digunakan untuk menguji aktivitas antioksidan disamakan untuk semua sampel yaitu 7.35 mg/L setara sianidin-3-glukosida. Aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH dan kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Cilembu, Banjaran, dan Pakembangan tidak berbeda nyata ( $p > 0.05$ ). Patut diduga jenis antosianin dari semua sampel adalah sama. DPPH merupakan radikal bebas yang memiliki elektron tidak berpasangan, berwarna ungu, dan mempunyai absorpsi maksimum pada panjang gelombang 517 nm. Antioksidan dapat mendonorkan hidrogen atau elektron, sehingga elektron radikal pada DPPH menjadi berpasangan, yang ditandai dengan berubahnya warna DPPH dari ungu menjadi kuning. Kecepatan perubahan warna dari ungu menjadi kuning menunjukkan kekuatan penangkapan radikal bebas dari senyawa antioksidan, ditandai dengan semakin menurunnya absorbansi pada panjang gelombang 517 nm. Untuk menguji aktivitas kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu digunakan kalium feri sianida. Antioksidan dapat mendonorkan elektron untuk mereduksi  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$ . Konsentrasi  $Fe^{2+}$  dapat dimonitor dengan mengukur absorpsi pada panjang gelombang 700 nm (Hinneburg *et al.* 2006).

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Cilembu, Banjaran, dan Pakembangan tidak berbeda nyata ( $p > 0.05$ ). Aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH ekstrak antosianin dipengaruhi oleh pH. Aktivitas penangkapan radikal

bebas DPPH ekstrak antosianin ubi jalar ungu tertinggi pada pH 1, diikuti oleh aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH pada pH 4.5 dan pH 7. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menemukan aktivitas antioksidan ekstrak *lowbush blueberry* (Kalt *et al.* 2008), ekstrak bunga telang (Marpaung, 2012) lebih tinggi pada pH 1 dan secara berturut-turut diikuti oleh pH 4.5 dan pH 7. Hasil penelitian ini berbeda dengan yang dilaporkan oleh Ruenroengklin *et al.* (2008) yang menunjukkan bahwa aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH ekstrak antosianin kulit litchi pada pH 3-5 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pH 1 dan 7. Antosianin dari ubi jalar ungu mempunyai aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH mendekati kemampuan penangkapan radikal bebas dari asam askorbat (Terahara *et al.* 2004; Jiao *et al.* 2012)

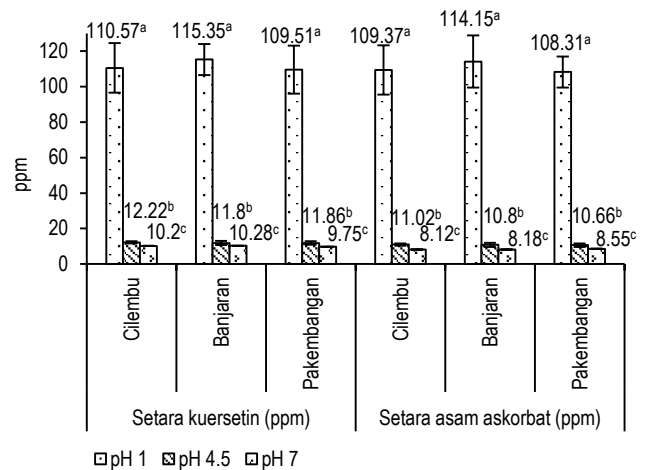


Gambar 6. Aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH ekstrak antosianin ubi jalar ungu. Notasi berbeda menunjukkan kedua nilai berbeda signifikan ( $p < 0.05$ )

Hasil penelitian ini juga menunjukkan konsentrasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Cilembu 7.35 mg/L pada pH 1, 4.5; dan 7 memiliki aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH secara berurutan setara kuersetin 100.8, 9.06, dan 7.32 mg/L; juga setara asam askorbat 92.41, 6.46, dan 3.33 mg/L. Konsentrasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Banjaran 7.35 mg/L pada pH 1, 4.5; dan 7 memiliki aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH secara berurutan setara kuersetin 98.23, 8.38, dan 7.09 mg/L; juga setara asam askorbat 89.89, 5.87, dan 3.3 mg/L. Konsentrasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Pakembangan 7.35 mg/L pada pH 1, 4.5; dan 7 memiliki aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH secara berurutan setara kuersetin 94.21, 10.09, dan 7.51 mg/L; juga setara asam askorbat 86.1, 7.36, dan 3.37 mg/L. Aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH 1 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH asam askorbat dan kuersetin. Aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH 4.5 relatif sama dengan aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH asam askorbat dan kuersetin. Aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH 7 relatif lebih rendah dibandingkan dengan

aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH asam askorbat dan kuersetin.

Pengujian kekuatan mereduksi dilakukan terhadap ekstrak ubi jalar ungu pada pH 1, 4.5; dan 7. Sebagai standar kekuatan mereduksi digunakan kuersetin dan asam askorbat sehingga hasil penelitian ini dinyatakan sebagai setara kuersetin dan setara asam askorbat. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Cilembu, Banjaran, dan Pakembangan tidak berbeda nyata ( $p > 0.05$ ). Kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu tertinggi pada pH 1, diikuti oleh kekuatan mereduksi pada pH 4.5 dan pH 7.



Gambar 7. Aktivitas kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu. Notasi berbeda menunjukkan kedua nilai berbeda signifikan ( $p < 0.05$ )

Hasil penelitian ini menunjukkan konsentrasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Cilembu 7.35 mg/L pada pH 1, 4.5; dan 7 memiliki kekuatan mereduksi secara berurutan setara kuersetin 110.57, 12.22, dan 10.2 mg/L; juga setara asam askorbat 109.37, 11.02, dan 8.12 mg/L. Konsentrasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Banjaran 7.35 mg/L pada pH 1, 4.5; dan 7 memiliki aktivitas kekuatan mereduksi secara berurutan setara kuersetin 115.35, 11.8, dan 10.28 mg/L; juga setara asam askorbat 114.15, 10.8, dan 8.18 mg/L. Konsentrasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu dari Pakembangan 7.35 mg/L pada pH 1, 4.5; dan 7 memiliki aktivitas kekuatan mereduksi secara berurutan setara kuersetin 109.51, 11.86, dan 9.75 mg/L; juga setara asam askorbat 108.31, 10.66, dan 8.55 mg/L. Kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH 1, 4.5; dan 7 lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan mereduksi asam askorbat dan kuersetin.

Hasil ini sejalan dengan temuan peneliti sebelumnya yang menemukan kekuatan mereduksi antosianin ekstrak ubi jalar ungu (Jiao *et al.* 2012), antosianin kulit leci (Duan *et al.* 2007) lebih besar dibandingkan kekuatan mereduksi asam askorbat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tempat tumbuh tidak mempengaruhi aktivitas antioksidan ekstrak antosianin ubi jalar ungu. Aktivitas antioksidan ekstrak antosianin hanya dipengaruhi pH.

Aktivitas penangkapan radikal bebas dan kekuatan mereduksi ekstrak antosianin ubi jalar ungu tertinggi pada pH 1, diikuti oleh kekuatan mereduksi pada pH 4.5 dan pH 7. Pada pH 1 antosianin dominan dalam bentuk kation flavilium, pada pH 4.5 dalam bentuk campuran kation flavilium, karbinol dan kuinonoidal, dan pada pH 7 antosianin dominan dalam bentuk kuinonoidal. Aktivitas penangkapan radikal bebas dan kekuatan mereduksi pada pH 1 paling tinggi, dikarenakan struktur antosianin dominan dalam bentuk kation flavilium sehingga dapat mendonorkan kation hidrogen dengan mudah untuk menstabilkan elektron DPPH dan mereduksi  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$ .

## KESIMPULAN

Kandungan monomerik antosianin ubi jalar yang berasal dari Cilembu lebih tinggi dibandingkan antosianin ubi yang berasal dari Banjarnan dan Pakembangan. Warna ekstrak antosianin ubi jalar ungu secara konsisten hanya dipengaruhi oleh pH, yaitu berubah dari merah, merah pudar, ungu, biru, hijau dan kuning seiring dengan kenaikan pH 1 hingga pH 14. Aktivitas antioksidasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu lebih tinggi pada pH 1 dibandingkan dengan aktivitas pada pH 4.5 dan pH 7. Jumlah monomerik antosianin berbeda dari ubi jalar yang berasal dari lokasi yang berbeda, tetapi pola warna, spektra, dan aktivitas antioksidasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu relatif sama. Pola warna, spektra, dan aktivitas antioksidasi ekstrak antosianin ubi jalar ungu secara konsisten hanya dipengaruhi oleh pH. Untuk mendapatkan aktivitas antioksidan ekstrak antosianin yang maksimal, disarankan ubi jalar ungu dikonsumsi dalam suasana relatif asam.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DIKTI dan Universitas Pendidikan Indonesia atas dana penelitian Hibah Disertasi Doktor 2014.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boo HO, Hwang SJ, Bae CS, Park SH, Heod BG, Gorinsteine S. 2012. Extraction and characterization of some natural plant pigments. *Ind Crop Prod* 40: 129–135. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.02.042.
- Brouillard R. 1982. Chemical Structure of Anthocyanins. In P. Markakis (Ed.), *Anthocyanins as Food Colours*. p. 26–28. New York: Academic Press.
- Brown CR, Durst RW, Wrolstad R, De Jong W. 2008. Variability of phytonutrient content of potato in relation to growing location and cooking method. *Potato Res* 51: 259–270. DOI: 10.1007/s11540-008-9115-0.
- Burdulis D, Ivanauskas L, Dirsė V, Kazlauskas S, Ražukas A. 2007. Study of diversity of anthocyanin composition in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruits. *Medicina (Kaunas, Lithuania)* 43: 971–977.
- Burdulis D, Sarkinas A, Jasutienė I, Stackevičienė E, Nikolajevs L, Janulis V. 2009. Comparative study of anthocyanin composition, antimicrobial and antioxidant activity in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits. *Acta Pol Pharm* 66: 399–408.
- Burgos G, Amoros W, Munoa, Sosa P, Cayhualla E, Sanchez C, Díaz C, Bonierbale M. 2013. Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. *J Food Compos Anal* 30: 6–12. DOI: 10.1016/j.jfca.2012.12.001.
- Cevallos-Casals BA, Cisneros-Zevallos L. 2004. Stability of anthocyanin based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chem* 86: 69–77. DOI: 10.1016/j.foodchem.2003.08.011.
- Chisté RC, Lopes AS, de Faria LJG. 2010. Thermal and light degradation kinetics of anthocyanin extracts from mangosteen peel (*Garcinia mangostana* L.). *Int J Food Sci Tech* 45: 1902–1908. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2010.02351.x.
- Choi JH, Hwang YP, Choi CY, Chung YC, Jeong HG. 2010. Anti-fibrotic effects of the anthocyanins isolated from the purple-fleshed sweet potato on hepatic fibrosis induced by dimethylnitrosamine administration in rats. *Food Chem Toxicol* 48: 3137–3143. DOI: 10.1016/j.fct.2010.08.009.
- Delgado-Vargas F, Jiménez AR, Paredes-López O. 2000. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and Betalains—characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Crit Rev Food Sci* 40: 173–289. DOI: 10.1080/10408690091189257.
- Duangmall K, Saicheua B, Sueeprasan S. 2008. Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. *LWT-Food Sci Technol* 41: 1437–1445. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.08.014.
- George NA, Pecota KV, Bowen BD, Schultheis JR, Yencho GC. 2011. Root pieceplanting in sweetpotato—a synthesis of previous research and directions for the future. *Hort Technology* 21: 703–711.
- Huang CL, Liao WC, Chan CF, Lai YC. 2010. Optimization for extraction anthocyanin from purple sweet potato roots using response surface methodology. *J Taiwan Agric Res* 59: 143–150.
- Husnah S. 2010. Pembuatan Tepung Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* varietas Ayamurasaki) dan Aplikasinya dalam Pembuatan Roti Tawar. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Jensen MB, Bergamo CA, Payet RM, Liu X, Konczak I. 2011. Influence of copigment derived from Tasmannia pepper leaf on Davidson's plum anthocyanins. *J Food Sci* 76: C447–C453. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2011.02077.x.
- Jiao Y, Jiang Y, Zhai W, Yang Z. 2012. Studies on antioxidant capacity of anthocyanin extract from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Afr J Biotechnol* 11: 7046–7054. DOI: 10.5897/AJB11.3859.
- Kano M, Takayanagi T, Harada K, Makino K, Ishikawa F. 2005. Antioxidative activity of anthocyanins from purple sweet



- potato, *Ipomoea batatas* cultivar *Ayamurasaki*. *Biosci Biotechnol Biochem* 69: 979-988.
- Kalt W, Blumberg JB, McDonald JE, Vinqvist-Tymchuk MR, Fillmore SAE, Graf BA, O'Leary JM, Milbury PE. 2008. Identification of anthocyanins in the liver, eye, and brain of blueberry-fed pigs. *J Agr Food Chem* 56: 705-712. DOI: 10.1021/jf071998l.
- Kim EH, Lee OK, Kim JK, Kim SL, Lee J, Kim SH, Chung IM. 2014. Isoflavones and anthocyanins analysis in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) from three different planting locations in Korea. *Field Crops Res* 156: 76-83. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.10.020.
- Lee J, Durst W, Wrolstad RE. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *J AOAC Int* 88: 1269-1278.
- Lee J, Rennaker C, Wrolstad RE. 2008. Correlation of two anthocyanin quantification methods: HPLC and spectrophotometric methods. *Food Chem* 110: 782-786. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.03.010.
- Li J, Li XD, Zhang Y, Zheng ZD, Qu ZY, Liu M, Zhu SH, Liu S, Wang M, Qu L. 2013. Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. *Food Chem* 136: 1429-1434. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.09.054.
- Lim S. 2012. Anthocyanin-enriched Purple Sweet Potato for Colon Cancer Prevention [Disertasi]. Kansas: Department of Human Nutrition, Kansas State University Manhattan.
- Março PH, Poppi RJ, Scarminio IS, Tauler R. 2011. Investigation of the pH effect and UV radiation on kinetic degradation of anthocyanin mixtures extracted from *Hibiscus acetosella*. *Food Chem* 125: 1020-1027. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.10.005.
- Marpaung AM. 2012. Optimasi Proses Ekstraksi Antosianin Pada Bunga Teleng (*Clitoria ternatea* L.) dengan Metode Permukaan Tanggap. [Tesis]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Reyes LF, Miller JC, Cisneros-Zevallos L. 2004. Environmental conditions influence the content and yield of anthocyanins and total phenolics in purple- and red-flesh potatoes during tuber development. *Am J Potato Res* 81: 187-193. DOI: 10.1007/BF02871748.
- Reyes LF, Cisneros-Zevallos L. 2007. Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chem* 100: 885-894. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.11.002.
- Ruenroengklin N, Zhong J, Duan J, Yang B, Li J, Jiang Y. 2008. Effects of various temperatures and pH values on the extraction yield of phenolics from litchi fruit pericarp tissue and the antioxidant activity of the extracted anthocyanins. *Int J Mol Sci* 9: 1333-1341. DOI: 10.3390/ijms9071333.
- Sancho RAS, Pastore GM. 2012. Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes. *Food Res Int* 46: 378-386. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.11.021.
- Sandra P, Verica DU, Branka L, Dubravka S. 2010. Effect of maturity and geographical region on anthocyanin content of sour cherries (*Prunus cerasus* var. marasca). *Food Technol Biotechnol* 48: 86-93.
- Sari P, Wijaya CH, Sajuthi D, Supratman U. 2012. Colour properties, stability, and free radical scavenging activity of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit anthocyanins in a beverage model system: Natural and copigmented anthocyanins. *Food Chem* 132: 1908-1914. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.12.025.
- Suda I, Oki T, Masuda M, Kobayashi M, Nishiba Y, Furuta S. 2003. Physiological functionality of purple-fleshed sweet potatoes containing anthocyanins and their utilization in foods-Review. *Japan Int Res Center Agr Sci* 37: 167-173.
- Takahata Y, Kai Y, Tanaka M, Nakayama H, Yoshinaga M. 2011. Enlargement of the variances in amount and composition of anthocyanin pigments in sweetpotato storage roots and their effect on the differences in DPPH radical-scavenging activity. *Hortic-Amsterdam* 127: 469-474. DOI: 10.1016/j.scienta.2010.10.010.
- Terahara N, Konczak I, Ono H, Yoshimoto M, Yamakawa O. 2004. Characterization of acylated anthocyanins in callus induced from storage root of purple-fleshed sweet potato, *Ipomoea batatas* L. *J Biomed Biotechnol* 2004: 279-286.
- Torskangerpoll K, Andersen OM. 2005. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. *Food Chem* 89: 427-440. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.03.002.
- Truong VD, Deighton N, Thompson RT, McFeeters RF, Dean LO, Pecota KV, Yencho GC. 2010. Characterization of anthocyanins and anthocyanidins in purple-fleshed sweetpotatoes by HPLC-DAD/ESI-MS/MS. *J Agr Food Chem* 58: 404-410. DOI: 10.1021/jf902799.
- Truong VD, Hu Z, Thompson RL, Yencho GC, Pecota KV. 2012. Pressurized liquid extraction and quantification of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato genotypes. *J Food Compos Anal* 26: 96-103. DOI: 10.1016/j.jfca.2012.03.006.
- Wiczowski W, Szawara-Nowak D, Topolska J. 2013. Red cabbage anthocyanins: Profile, isolation, identification, and antioxidant activity. *Food Res Int* 51: 303-309. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.12.015.