



Pemanfaatan Ekstrak Antosianin dari Limbah Kulit Bawang Merah (*Allium cepa*) sebagai Zat Pemeka (*Sensitizer*) pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Risna Erni Yati Adu*, Gebhardus Gelyaman, Marlince Kabosu

Jurusan Kimia, Fakultas Pertanian, Universitas Timor
 Jalan El Tari Km. 9, Kefamenanu 85614 Indonesia

*Corresponding author: risnaadul2@unimor.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.18.1.56104.103-111

Received 29 October 2021, Accepted 25 January 2022, Published 01 March 2022

Kata kunci:

antosianin;
 ekstraksi;
 kulit bawang
 merah;
 sel surya;
 sensitizer.

ABSTRAK. Fabrikasi DSSC dengan menggunakan sensitizer zat warna sintetik yang mahal dan susah diperoleh dapat diatasi dengan memanfaatkan zat warna alami dari limbah biomassa kulit bawang merah. Penelitian tentang ekstraksi antosianin dari limbah kulit bawang merah (*Allium cepa*) dan pemanfaatannya sebagai zat pemeka (*sensitizer*) pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) telah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik warna ekstrak antosianin dalam limbah kulit bawang merah dan potensinya sebagai zat pemeka dalam DSSC. Antosianin dalam limbah kulit bawang merah diekstraksi dengan menggunakan pelarut etanol 95% dengan penambahan asam (ET) dan etanol tanpa penambahan asam (ETT). Ekstrak kulit bawang merah dikarakterisasi serapan warna dan gugus fungsinya dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200 nm – 800 nm dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) pada bilangan gelombang 4000 cm^{-1} – 500 cm^{-1} . Selanjutnya DSSC difabrikasi dan efisiensi DSSC ditentukan melalui perhitungan tegangan dan kuat arus yang terukur oleh multimeter. Hasil karakterisasi warna menunjukkan bahwa ekstrak kulit bawang merah baik dengan pelarut etanol terasamkan dan tidak terasamkan memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang UV dengan serapan utama pada panjang gelombang 221, 251, 291 dan 366 nm. Spektrum FTIR ekstrak kulit bawang menunjukkan serapan khas gugus fungsi pada molekul antosianin pada rentang bilangan gelombang 3418 cm^{-1} – 3375 cm^{-1} untuk gugus –OH, 2842 cm^{-1} – 2959 cm^{-1} untuk C–H alifatik, 1635 cm^{-1} – 1668 dan 714 cm^{-1} masing-masing untuk C=C dan C–H aromatic, 1040 cm^{-1} – 1091 cm^{-1} untuk C–O–C dan 1198 cm^{-1} – 1122 cm^{-1} untuk C–O alkohol. Hasil pengujian efisiensi sel menunjukkan bahwa sel DSSC yang difabrikasi menggunakan ekstrak etanol TT memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi yaitu sebesar 0,0491%.

Keywords:

anthocyanin;
 extraction;
 red onion peel;
 solar cell;
 sensitizer.

ABSTRACT. The Application of Anthocyanins Extracts from Red Onion Peel Waste (*Allium cepa*) as a Sensitizer in Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). DSSC fabrication using synthetic dye sensitizers which are expensive and difficult to obtain can be overcome by utilizing natural dyes from onion peel. Anthocyanin extraction from red onion peel (*Allium cepa*) and its use as a sensitizer in dye-sensitized solar cells (DSSC) has been investigated. The purpose of this study was to determine the color characteristics of anthocyanin extract in onion peel waste and its potential as a sensitizer. Anthocyanin in onion peel waste was extracted using 95% ethanol as a solvent with acid (ET) and ethanol without acid (ETT). The color absorption and functional groups of onion peel extract were characterized using UV-Vis spectrophotometer at 200 nm – 800 nm wavelength and Fourier Transform Infrared (FTIR) at wavenumber of 4000 cm^{-1} – 500 cm^{-1} . Furthermore, DSSC was fabricated, and an efficiency value was achieved by calculating the voltage and current measured by the multimeter. Onion peel extract has maximum absorption in acidified and unacidified ethanol at UV wavelengths, with the main absorption at 221, 251, 291, and 366 nm. The FTIR spectrum of onion peel extract shows typical absorption of functional groups in anthocyanin at wavenumbers of 3418 cm^{-1} – 3375 cm^{-1} for the –OH group, 2842 cm^{-1} – 2959 cm^{-1} for aliphatic CH, 1635 cm^{-1} – 1668 cm^{-1} , and 714 cm^{-1} for C=C and C–H aromatics, respectively. The absorption band at 1040 cm^{-1} – 1091 cm^{-1} and 1198 cm^{-1} – 1122 cm^{-1} correspond to C–O–C and C–O alcohol. DSSC cells fabricated using unacidified ethanol extract have the highest efficiency of 0.0491%.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia terus menanjak seiring dengan semakin pesatnya pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Berdasarkan skenario Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), permintaan energi Indonesia pada tahun 2050 akan mencapai 641,5 MTOE (1 MTOE=11630000). Sebagian besar energi tersebut masih berasal dari sumber yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara, yang dapat memicu terjadinya krisis energi di masa depan. Penggunaan sumber ini dapat berdampak pada perubahan

iklim, berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil dan masalah lingkungan seperti pencemaran udara, air, suara dan lainnya.

Penelitian mengenai pengembangan sumber energi terbarukan (*renewable energy*) dan berkelanjutan (*sustainable energy*) yang ramah lingkungan telah banyak dilakukan untuk menggantikan sumber energi tak terbarukan serta menciptakan iklim global yang lebih kondusif. Indonesia mempunyai beberapa potensi sumber energi terbarukan, misalnya penggunaan tenaga air (94,3 GW), panas bumi (28,5 GW), bioenergi (32,6 GW), angin (60,6 GW), energi laut (17,9 GW), dan matahari (207,8 GW). Potensi penggunaan energi matahari yang sangat besar di Indonesia mendorong adanya terobosan-terobosan penelitian untuk memanfaatkan sumber energi matahari sebagai sumber energi listrik menggunakan perangkat sel surya. Sel surya yang umum digunakan saat ini adalah sel surya berbasis silikon. Namun begitu, meskipun sel surya berbasis silikon memiliki efisiensi yang cukup tinggi (~40%), terdapat beberapa kekurangan pada sel surya tipe ini yaitu tidak fleksibel, proses fabrikasi yang harus sangat bersih, dan memiliki celah pita tertentu yang tidak mudah diatur (Heeger, 2001). Salah satu jenis sel surya yang mudah difabrikasi, biaya produksi murah dan fleksibel adalah sel surya tersensitasi zat warna atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC menggunakan zat warna untuk memanen energi dari cahaya matahari. DSSC memiliki 4 komponen utama yaitu fotoanoda, zat pemeka (*sensitizer*), elektrolit, dan elektroda lawan (Ye *et al.*, 2015).

Zat pemeka merupakan salah satu komponen DSSC yang mempunyai peranan penting dalam mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Zat pemeka berperan dalam menangkap energi matahari yang diikuti oleh eksitasi elektron dari orbital HOMO ke LUMO pada antarmuka semikonduktor (Pathak *et al.*, 2019; Ye *et al.*, 2015). Zat pemeka yang umum digunakan saat ini adalah senyawa-senyawa kimia yang mahal dan susah diperoleh seperti zat warna ruthenium polipiridil, porfirin dan perovskit halida (Ghann *et al.*, 2017; Ye *et al.*, 2015). Untuk mengatasi permasalahan tersebut telah dimanfaatkan zat warna alami sebagai zat pemeka pada DSSC. Zat warna alami mempunyai beberapa keunggulan yakni lebih murah, mudah diperoleh, tersedia dalam jumlah banyak dan ramah lingkungan serta mempunyai koefisien serapan yang tinggi. Oleh karena itu, pada zat warna tersebut memungkinkan terjadi eksitasi elektron dari HOMO ke LUMO dan injeksi elektron ke semikonduktor secara efisien (Ammar *et al.*, 2019; Cari *et al.*, 2018; Das *et al.*, 2020; Ghann *et al.*, 2017). Zat warna alami yang digunakan sebagai zat pemeka pada DSSC umumnya mengandung senyawa antosianin, klorofil dan karoten (Ghann *et al.*, 2017; Hosseinnazhad *et al.*, 2017). Senyawa-senyawa ini dapat diperoleh dari daun, batang, akar, atau buah tanaman tertentu. Penggunaan zat warna alami sebagai zat pemeka pada DSSC harus tetap memperhatikan kelestarian lingkungan, ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan, tidak bergantung musim dan tidak bersaing dengan produk pangan. Penggunaan limbah biomassa sebagai sumber zat warna alami dapat menjadi solusi terbaik untuk menjaga kelestarian lingkungan dan kebutuhan pangan.

Salah satu limbah biomassa yang berpotensi sebagai sumber zat warna alami untuk digunakan sebagai zat pemeka pada DSSC adalah kulit bawang merah (*Allium cepa*). Hasil analisa kandungan senyawa kimia kulit bawang merah memperlihatkan bahwa kulit bawang merah tersebut banyak mengandung antosianin (Collings, 2019; Hemmatzadeh and Jamali, 2015; Oancea and Drăghici, 2013). Antosianin merupakan salah satu pigmen berwarna gugus fenolik yang disusun oleh antosianidin sebagai struktur dasar yang terikat pada gula. Berbagai bentuk kimia dari antosianin dapat ditemukan tergantung pada pH larutan (Enaru *et al.*, 2021). Kation *flavylium* merupakan spesies dominan pada pH 1 dan berkontribusi terhadap warna ungu dan merah. Adapun spesies quinoidal berwarna biru dominan pada nilai pH 2 – 4, dua spesies tidak berwarna (*pseudobase* karbinol dan kalkon) teramati pada pH 5 – 6, sedangkan pada nilai pH lebih tinggi dari 7, antosianin terdegradasi menjadi kelompok substituenya. Antosianin yang kaya akan gugus karbonil dan hidroksil akan terikat pada permukaan semikonduktor TiO₂. Adsorpsi antosianin ke permukaan TiO₂ menghasilkan kompleks yang kuat dalam bentuk quinonodial dimana gugus –OH (atau =O) terikat pada situs Ti(IV) pada film semikonduktor (Syafinar *et al.*, 2015). Bawang merah dilaporkan mengandung antosianin terasilasi dan tidak terasilasi seperti sianidin monodan diglukosida, petunidin glukosida, peonidin mono dan diglukosida, dan 5-karboksi pirano sianidin 3-glikosida (Oancea and Drăghici, 2013). Selain kandungan antosianin, kulit bawang merah tersedia dalam jumlah banyak dan mudah diperoleh karena bawang merah merupakan kebutuhan pokok yang terus dikonsumsi di setiap rumah tangga hingga rumah makan. Hal ini menjadikan kulit bawang merah sebagai sumber zat warna alami yang potensial untuk digunakan pada DSSC. Pada penelitian ini akan dilakukan ekstraksi dan karakterisasi zat warna alami yang terkandung pada kulit bawang merah dengan pelarut etanol menggunakan asam dan tanpa asam. Selanjutnya, ekstrak zat warna alami tersebut akan digunakan sebagai zat pemeka pada DSSC dan diukur efisiensi sel surya tersebut.

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan yaitu blender, spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Bruker Alpha, spektrofotometer UV-Vis Genesys 10S Thermo Scientific, ayakan 200 mesh, peralatan gelas, penangas, ORIEL S013A solar simulator dan I-V meter Keithley 2400. Bahan-bahan yang digunakan yaitu etanol 98%, HCl 37%, TiO₂ (99,5 %, Merck), KI (99,7%, Merck), I₂ (99,8%, Merck), 4-pyridinecarboxylic acid hydrazide (97%, Merck) dan asetonitril (99,8%, Merck).

Ekstraksi Zat Warna Alami Kulit Bawang Merah

Kulit bawang merah yang digunakan diambil dari warung-warung makan yang ada di kota Kefamenanu, Kabupaten Timor Tengah Utara, Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Kulit bawang merah dihaluskan dan diayak dengan ukuran 200 mesh. Serbuk kulit bawang merah sebanyak 100 g ditempatkan dalam gelas kimia berukuran 1 L, kemudian ditambahkan dengan 250 mL etanol dan didiamkan selama 24 jam. Ekstrak yang dihasilkan dipisahkan dari padatan dan akan digunakan lebih lanjut untuk karakterisasi dan fabrikasi sel surya. Proses maserasi juga dilakukan menggunakan pelarut etanol yang terasamkan.

Karakterisasi Ekstrak Zat Warna Kulit Bawang Merah

Karakteristik ekstrak zat warna kulit bawang merah yang ingin diketahui pada penelitian ini adalah gugus fungsi dan pita serapan terhadap cahaya UV dan cahaya tampak. Gugus fungsi ekstrak zat warna kulit bawang merah dikarakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR, sementara pita serapan ekstrak tersebut dikarakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis.

Fabrikasi Sel Surya dan Pengujian Efisiensi Sel

Fabrikasi perangkat DSSC terdiri dari fotoanoda, zat pemeka, elektrolit, dan elektroda lawan. Fotoanoda dipersiapkan dengan screen printing pasta TiO₂ ke atas permukaan kaca indium tin oxide (ITO) lalu dikeringkan diatas penangas pada suhu 120 °C selama 15 menit. Film TiO₂ diatas kaca ITO dikalsinasi selama 1 jam di suhu 500 °C. Fotoanoda tersebut kemudian diimpregnasi dalam ekstrak kulit bawang merah selama 20 jam lalu dibilas dengan isopropil alkohol dan dikeringkan diatas penangas pada suhu 80 °C sebelum fabrikasi sel. Larutan elektrolit dipersiapkan dengan melarutkan KI, I₂, dan 4-pyridinecarboxylic acid hydrazide dalam asetonitril. Elektroda lawan dipersiapkan dengan menempelkan grafit sintetik di atas kaca preparat kemudian dilapisi pasta PANI:Grafit (1:3) dengan cara screen printing. Film yang diperoleh kemudian dikeringkan di atas penangas pada suhu 120 °C selama 15 menit. Elektrolit kemudian diteteskan ke atas fotoanoda lalu dijepit bersama elektroda lawan menggunakan klip sebelum pengukuran performa perangkat DSSC. Pengukuran performa perangkat DSSC dilakukan menggunakan ORIEL S013A solar simulator dan I-V meter Keithley 2400. Efisiensi sel dihitung menggunakan [Persamaan 1](#).

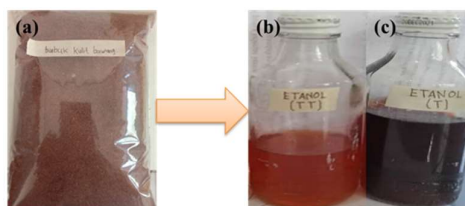
$$\eta = \frac{J_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

η merupakan = efisiensi sel (%), J_{sc} adalah = *short-circuit current* (mA), V_{oc} adalah = *open-circuit voltage* (V), FF adalah = *fill factor*, dan P_{in} adalah = daya lampu solar simulator (100 mW).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Zat Warna

Zat warna alami pada kulit bawang merah diekstraksi secara maserasi dengan menggunakan pelarut etanol 95% yang tidak terasamkan (ETT) dan terasamkan dengan HCl (ET). Sampel kulit bawang merah sebelum dan setelah maserasi ditunjukkan pada [Gambar 1](#).



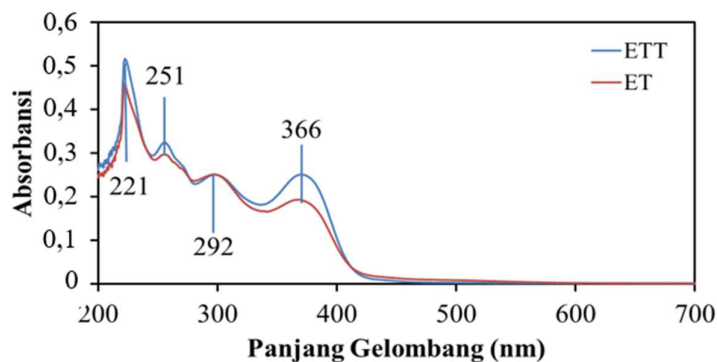
Gambar 1. (a) Kulit bawang merah sebelum dimaserasi, (b) setelah maserasi dengan pelarut etanol dan (c) etanol terasamkan.

Ekstraksi zat warna pada limbah kulit bawang merah dilakukan dengan menggunakan pelarut etanol. Pemilihan etanol sebagai ekstraktan didasarkan pada sifat kepolarannya sehingga dapat mengekstraksi antosianin dari sampel. Penambahan asam pada etanol berfungsi untuk mendenaturasi membran kulit bawang merah sehingga pigmen antosianin terlarutkan dan dapat diekstraksi secara maksimal. Penambahan asam juga berfungsi untuk menstabilkan warna antosianin dalam bentuk kation *flavylium* sehingga mampu menyerap sinar tampak. Warna ekstrak dalam etanol dengan penambahan asam (ET) lebih pekat dibandingkan dengan ekstrak dalam etanol tanpa penambahan asam (ETT). Warna merah pekat ekstrak dengan penambahan asam mengindikasikan antosianin yang didominasi oleh kation *flavylium* yang stabil pada kondisi asam. Seiring dengan peningkatan pH menjadi netral, kation *flavylium* secara bertahap berubah menjadi quinoidal basa karena kehilangan proton. Kondisi ini selaras dengan pernyataan ([Chang *et al.*, 2013](#)) bahwa sifat asam pada pelarut etanol dapat mengubah warna antosianin menjadi lebih merah, sedangkan sifat basa menyebabkan antosianin menjadi hijau kebiruan.

Serapan Ekstrak Kulit Bawang Merah

Serapan ekstrak kulit bawang dalam pelarut ETT dan ET diuji untuk mengukur kemampuan zat warna dalam menyerap cahaya sebelum digunakan sebagai zat pemeka dalam DSSC. Spektrum serapan ekstrak kulit bawang dengan pelarut ETT dan ET ditentukan pada panjang gelombang 200 nm – 800 nm dan ditampilkan pada [Gambar 2](#). Sebagaimana yang terlihat di gambar, pigmen warna dalam kulit bawang merah hasil ekstraksi baik dengan pelarut ETT maupun ET memiliki karakteristik serapan yang lebih baik pada daerah sinar UV dengan serapan utama pada panjang gelombang 221, 251, 291 dan 366 nm. Nilai serapan maksimum ekstrak antosianin kulit bawang merah mendekati nilai serapan maksimum ekstrak antosianin dari mawar merah yaitu berada pada rentang panjang gelombang 250 nm – 400 nm ([Wahyuningsih *et al.*, 2017](#)).

Serapan maksimum pada beberapa panjang gelombang UV yang sama menunjukkan bahwa senyawa yang terdapat dalam ekstrak kulit bawang merah baik dalam ETT dan ET adalah senyawa-senyawa yang mengandung gugus aromatik dan sejenis. Keberadaan gugus aromatik pada struktur antosianin menunjukkan serapan pada panjang gelombang 340 nm (gugus benzoil) dan 400 nm – 500 nm (gugus cinnamoil) ([Maylinda *et al.*, 2019](#)). Serapan maksimum ekstrak antosianin kulit bawang merah yang teramati pada daerah UV sekitar 200 – 370 nm dalam penelitian ini mengindikasikan bahwa antosianin dalam limbah kulit bawang merah sebagian besar merupakan antosianin terasilasi dengan gugus asam aromatik sebagaimana telah dilaporkan oleh ([Rodrigues *et al.*, 2017](#)). Spektrum UV-Vis antosianin menunjukkan pola serapan yang khas dimana serapan maksimum antosianin umumnya teramati pada daerah sinar tampak sekitar 510 nm – 520 nm dan pada daerah UV sekitar 260 nm – 280 nm tergantung pada jenis antosianin dan substituenya ([Saha *et al.*, 2020](#)). Puncak lain juga dapat teramati di kisaran 400 nm – 450 nm dan merupakan serapan untuk antosianin tidak terasilasi. Adapun puncak yang teramati pada rentang panjang gelombang 310 nm – 340 nm merupakan serapan untuk antosianin terasilasi. Di lain sisi, puncak serapan yang khas untuk antosianin pada daerah sinar tampak tidak teramati dalam penelitian ini, diperkirakan karena puncak serapan tersebut mengalami pergeseran hipsokromik akibat proses alkilasi pigmen oleh pelarut etanol. Faktor lain diduga akibat degradasi warna yang cepat akibat pengaruh cahaya, suhu, kelembaban dan pH selama penyimpanan.



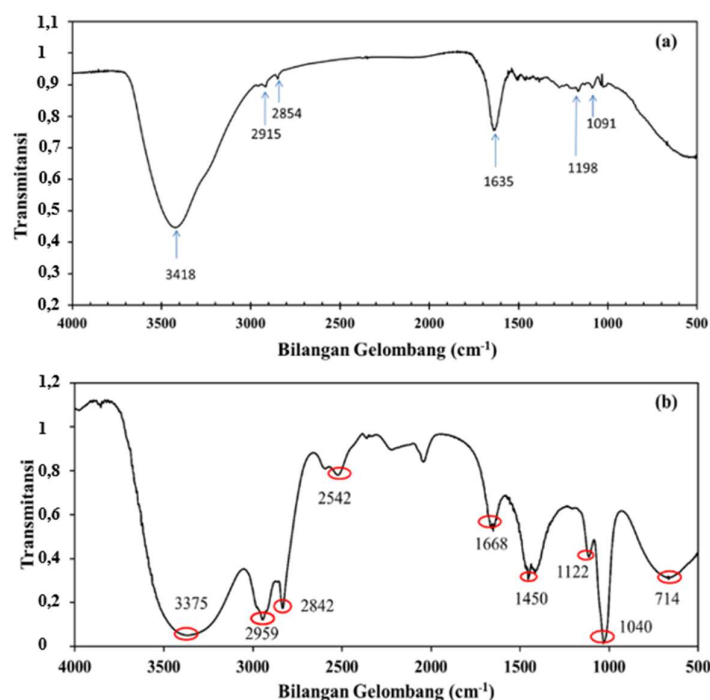
Gambar 2. Spektra UV-Vis ekstrak kulit bawang.

Stabilitas warna ekstrak antosianin kulit bawang merah yang disimpan pada kondisi netral akan mengalami degradasi lebih cepat melalui pembentukan endapan dan proses pencoklatan dibandingkan dengan ekstrak yang

disimpan dalam kondisi asam (pH 1). Pada kondisi asam kuat, antosianin ada sebagai sianidin terprotonasi atau dalam bentuk kation *flavylium* yang menunjukkan degradasi yang lebih rendah. Peningkatan pH akan menyebabkan terjadinya deprotonasi molekul membentuk ion negatif atau anion yang disebut sebagai basa quinoidal yang tidak stabil dan berikatan dengan air membentuk *chromenol* yang tidak berwarna. Menurut (Oancea and Drăghici, 2013), antosianin dalam ekstrak bawang merah lebih stabil pada nilai pH rendah (1,0) dan sangat tidak stabil dalam kondisi basa (pH 9,0).

Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Karakterisasi gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak kulit bawang merah dilakukan dengan menggunakan instrumen FTIR pada bilangan gelombang $4000\text{ cm}^{-1} - 500\text{ cm}^{-1}$ (Gambar 3). Ekstrak kulit bawang merah menunjukkan serapan pada rentang bilangan gelombang $3650\text{ cm}^{-1} - 3200\text{ cm}^{-1}$ untuk vibrasi regangan $-\text{OH}$. Pita serapan lain teramati pada rentang bilangan gelombang $1680\text{ cm}^{-1} - 1600\text{ cm}^{-1}$ untuk vibrasi regangan $\text{C}=\text{C}$ aromatik, sedangkan serapan yang muncul di bilangan gelombang $1430\text{ cm}^{-1} - 1690\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus $\text{C}-\text{N}$ untuk kelompok klorofil. Gugus $\text{C}-\text{O}$ yang terdeteksi pada $1040\text{ cm}^{-1} - 1091\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya karbohidrat sedangkan regangan $\text{C}-\text{H}$ muncul pada bilangan gelombang $2842\text{ cm}^{-1} - 2959\text{ cm}^{-1}$ masing-masing untuk $\text{C}-\text{H}_3$ dan $\text{C}-\text{H}_2$. Keberadaan gugus aromatik dari data UV diperkuat dalam spektra IR yang menunjukkan serapan pada bilangan gelombang 714 cm^{-1} untuk CH aromatik dan $1650\text{ cm}^{-1} - 1600\text{ cm}^{-1}$ untuk $\text{C}=\text{C}$ aromatik (Favaro *et al.*, 2018). Puncak serapan yang menunjukkan ciri khas vibrasi $\text{C}=\text{O}$ antosianin tidak terdeteksi pada bilangan gelombang 1724 cm^{-1} diduga akibat laju transformasi gugus $-\text{C}=\text{O}$ menjadi gugus $-\text{O}-$ yang cepat baik dalam kondisi asam maupun tanpa asam.



Gambar 3. (a) Spektra IR ekstrak kulit bawang dengan etanol terasamkan dan (b) Etanol tidak terasamkan.

Adanya karakteristik serapan yang khas pada spektrum FTIR menggambarkan bahwa ekstrak kulit bawang merah memiliki gugus hidroksi dan gugus aromatik dimana serapan gugus fungsi tersebut sesuai dengan serapan khas antosianin dalam ekstrak bunga mawar yang dipaparkan oleh (Wahyuningsih *et al.*, 2017), sehingga ekstrak kulit bawang merah pada penelitian ini memiliki karakteristik sebagai antosianin. Menurut (Swier *et al.*, 2018) keberadaan gugus fungsional $\text{O}-\text{H}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}=\text{C}$ dan $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ pada spektra analisis dengan FT-IR merupakan ciri khas serapan oleh kelompok senyawa antosianin. Selain antosianin, keberadaan gugus $\text{C}-\text{N}$ menunjukkan bahwa ekstrak kulit bawang merah juga mengandung kelompok senyawa klorofil (Hardeli *et al.*, 2019). Gugus fungsi dan daerah serapan yang karakteristik untuk antosianin dalam ekstrak kulit bawang merah ditunjukkan dalam Tabel 1.

Perubahan struktur molekular akibat penambahan asam saat ekstraksi dikonfirmasi oleh spectra FTIR dimana serapan gugus fungsi dalam ekstrak tanpa asam dan ekstrak dalam kondisi asam menunjukkan sedikit perbedaan. Pada kondisi asam (**Gambar 3a**), serapan gugus OH pada rentang bilangan gelombang 3100 cm^{-1} – 3400 cm^{-1} menunjukkan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas serapan –OH dalam ekstrak tanpa asam (**Gambar 3b**) pada bilangan gelombang yang sama. Peningkatan intensitas –OH berkaitan dengan bentuk antosianin yang terprotonasi oleh asam, demikian pula sebaliknya pada **Gambar 3b** terdapat penurunan intensitas serapan –OH sebagai akibat dari deprotonasi kation *flavylium*. Perbedaan lain yang teramati yaitu hilangnya beberapa puncak pada **Gambar 3a** antara lain serapan C–H aromatic yang bergeser dan beberapa puncak serapan lain yang sulit diidentifikasi. Hal ini diduga disebabkan oleh degradasi pigmen selama ekstraksi terutama akibat hidrolisis asam yang terjadi pada residu gugus asil dan gula yang tidak stabil (*Amelia et al.*, 2013).

Tabel 1. Karakteristik serapan antosianin dalam spektra FTIR.

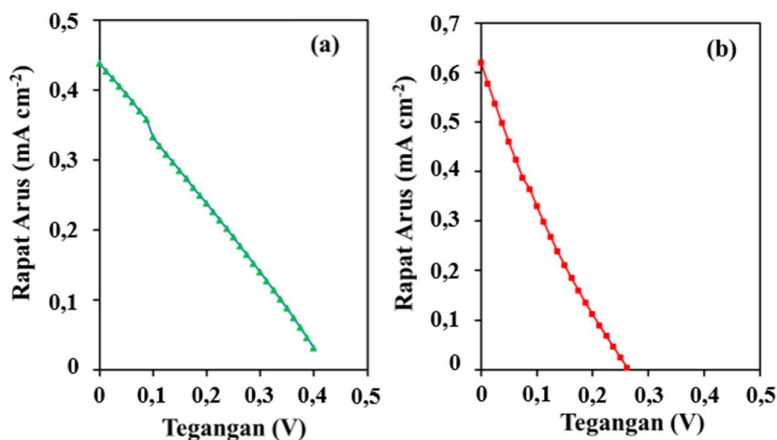
Daerah Serapan		Literatur	Gugus Fungsi
ET	ETT	(Sani <i>et al.</i> , 2019)	
3418	3375	3500 – 3000	–OH
2915	2959	2926	CH ₃
2854	2842	2855	CH ₂ –
1635	1668	1650 – 1600	C=C aromatik
1434	1450	1430 – 1690	CN
1198	1122	1300 – 1000	C–O alkohol
1091	1040	1040 – 1091	C–O–C
620	714	820 – 760	CH aromatik

Berdasarkan hasil FTIR dapat disimpulkan bahwa ekstrak kental yang diperoleh dari maserasi sampel kulit bawang merah mengandung senyawa antosianin. Akan tetapi, spektrum FTIR yang diperoleh juga menunjukkan adanya serapan dari senyawa lain yang teramati. Hal ini karena sampel yang digunakan adalah ekstrak etanol kasar dan tidak dalam bentuk antosianin yang murni, sehingga penyerapan gugus fungsi senyawa selain antosianin masih tampak. Oleh karena itu, tahapan pemurnian lebih lanjut dibutuhkan terhadap ekstrak kulit bawang merah menggunakan kolom untuk mendapatkan senyawa antosianin dalam keadaan murni. Menurut (*Magsi et al.*, 2012) sampel dengan kemurnian tinggi akan menghasilkan sel surya dengan efisiensi dan nilai Voc yang tinggi sedangkan *fill factor* dan J_{sc} tidak berkorelasi secara signifikan dengan kemurnian zat warna.

Efisiensi Sel

Zat pemeka pada DSSC mempunyai peran penting dalam memanen energi matahari. Ketika zat pemeka menyerap energi matahari, terjadi eksitasi elektron dari tingkat energi HOMO ke LUMO pada molekul zat pemeka tersebut. Elektron tersebut kemudian berpindah ke pita konduksi TiO₂ dan kemudian mengalir melewati sirkuit luar menuju elektroda lawan. Saat tiba di elektroda lawan, elektron tersebut memicu terjadinya reaksi redoks I/I_3^- yang kemudian kembali menghasilkan elektron untuk regenerasi zat pemeka. Proses ini berlangsung terus-menerus selama zat pemeka tersebut menyerap energi matahari, sehingga menghasilkan arus listrik (*Adedokun et al.*, 2016).

Pada penelitian ini, ekstrak kulit bawang digunakan sebagai zat pemeka pada DSSC, dengan hasil pengujian efisiensi DSSC berbasis zat pemeka ekstrak kulit bawang ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Tabel 2**. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai *short-circuit current* (J_{sc}) dan *fill factor* (FF) mempunyai perbedaan yang cukup signifikan, sedangkan nilai *open-circuit voltage* (V_{oc}) tidak mempunyai perbedaan sama sekali. Perlu diketahui bahwa nilai V_{oc} bergantung pada perbedaan energi fermi semikonduktor dan potensial redoks semikonduktor. Pada penelitian ini digunakan pasangan redoks dan semikonduktor yang sama, sehingga tentu saja nilai V_{oc} tidak mempunyai perbedaan.



Gambar 4. Kurva rapat arus-tegangan (J-V) dari DSSC berbasis zat pemeka ekstrak kulit bawang, (a) ekstraksi dengan etanol tanpa penambahan asam, (b) ekstraksi dengan penambahan asam.

Penggunaan ekstrak yang berbeda sebagai zat pemeka hanya mempengaruhi nilai J_{SC} dan FF, yang kemudian berpengaruh pada nilai efisiensi sel.

Tabel 2. Nilai parameter DSSC dan efisiensi sel dengan ekstrak kulit bawang.

Jenis Zat Pemeka	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (mV)	FF	Efisiensi Sel (%)
Etanol TT	0,4384	338	0,3254	0,0491
Etanol T	0,0652	338	0,1523	0,0034

Nilai J_{SC} berhubungan dengan banyaknya elektron yang mengalir pada komponen DSSC. Hal ini secara langsung dipengaruhi oleh kemampuan zat pemeka dalam memanen energi matahari dan menginjeksikan elektron ke semikonduktor. Ekstrak kulit bawang yang mengandung banyak senyawa yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik pada daerah cahaya tampak dapat memberikan nilai J_{SC} dan efisiensi sel yang lebih besar. Data pada [Tabel 2](#) menunjukkan bahwa kulit bawang yang diekstraksi dengan etanol tanpa penambahan asam menunjukkan nilai J_{SC} dan efisiensi sel yang jauh lebih besar dibandingkan dengan etanol dengan penambahan asam. Kemungkinan hal ini disebabkan karena lebih banyak senyawa-senyawa berwarna yang terekstrak menggunakan pelarut yang tidak diasamkan. Semakin banyak molekul pewarna yang terekstrak, semakin banyak jumlah molekul yang terikat pada permukaan TiO_2 . Adapun ikatan antara antosianin dan semikonduktor dapat terbentuk melalui gugus hidroksil pada cincin-B antosianin setelah terjadi deprotonasi

Kondisi pH yang tidak asam dapat mendorong deprotonasi kation *flavylium* sehingga dapat meningkatkan laju pembentukan ikatan antosianin. Selain itu, muatan negatif pada molekul antosianin pada kondisi tidak asam dapat meningkatkan injeksi elektron ke pita konduksi TiO_2 dan probabilitas rekombinasi muatan. Berdasarkan analisis dan uji kedua ekstrak kulit bawang yang digunakan sebagai zat pemeka, diperoleh efisiensi sel tertinggi adalah sel DSSC yang difabrikasi menggunakan ekstrak etanol TT, yakni sebesar 0,0491 %. Efisiensi sel surya dengan menggunakan ekstrak kulit bawang merah dalam etanol tidak terasamkan bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak zat warna dari buah naga (0,02%) dan ekstrak beras hitam (0,03%) ([Ahliha *et al.*, 2018](#)). Meskipun ekstrak kulit bawang merah dalam etanol tidak terasamkan cenderung lebih efektif dalam mengkonversi energi foton menjadi energi listrik, nilai efisiensinya masih terbilang sangat rendah sehingga perlu ada optimasi lebih lanjut untuk mendapatkan efisiensi DSSC yang lebih tinggi. Optimasi ini dapat berupa pemilihan pelarut dan rentang pH ekstraksi yang cocok dan pemurnian senyawa hasil ekstraksi.

KESIMPULAN

Sel surya tersensitasi warna dapat difabrikasi menggunakan ekstrak kulit bawang merah yang diekstraksi dengan pelarut etanol terasamkan dan tidak terasamkan sebagai sensitizer. Ekstrak kulit bawang merah memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang UV serta memiliki sejumlah gugus fungsi yang memiliki serapan khas untuk antosianin yaitu -OH, C-H alifatik, C=C dan C-H aromatik, C-O-C dan C-O alkohol. Hasil

pengujian efisiensi sel menunjukkan bahwa sel DSSC yang difabrikasi menggunakan ekstrak etanol TT memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi yaitu sebesar 0,0491%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM) Universitas Timor yang telah membiayai penelitian ini dan menyediakan fasilitas yang dibutuhkan dalam penelitian ini sesuai dengan kontrak program Penelitian Dosen Pemula Nomor 45/UN60/LPPM/PP/2021. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Faperta Universitas Timor dan Laboratorium Kimia ITB Bandung dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adedokun, O., Titilope, K., and Awodugba, A.O., 2016. Review on Natural Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *International Journal of Engineering Technologies*, IJET 2, 34. doi: 10.19072/ijet.96456.
- Ahliha, A.H., Nurosyid, F., Supriyanto, A., and Kusumaningsih, T., 2018. Optical Properties of Anthocyanin Dyes on TiO₂ as Photosensitizers for Application of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 333, 012018. doi: 10.1088/1757-899X/333/1/012018.
- Amelia, F., Afnani, G.N., Musfiroh, A., Fikriyani, A.N., and Ucce, S., 2013. Extraction and Stability Test of Anthocyanin From Buni Fruits (*Antidesma Bunius L*) As an Alternative Natural and Safe Food Colorants. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences* 1, 49–53. doi: 10.14499/jfps.
- Ammar, A.M., Mohamed, H.S.H., Yousef, M.M.K., Abdel-Hafez, G.M., Hassanien, A.S., and Khalil, A.S.G., 2019. Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) Based on Extracted Natural Dyes. *Journal of Nanomaterials* 2019, 1–10. doi: 10.1155/2019/1867271.
- Cari, C., Khairuddin, Septiawan, T.Y., Suciarmoko, P.M., Kurniawan, D., and Supriyanto, A., 2018. The Preparation of Natural Dye for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). p. 020106. doi: 10.1063/1.5054510.
- Chang, H., Kao, M.-J., Chen, T.-L., Chen, C.-H., Cho, K.-C., and Lai, X.-R., 2013. Characterization of Natural Dye Extracted from Wormwood and Purple Cabbage for Dye-Sensitized Solar Cells. *International Journal of Photoenergy* 2013, 1–8. doi: 10.1155/2013/159502.
- Collings, D.A., 2019. Anthocyanin in the Vacuole of Red Onion Epidermal Cells Quenches Other Fluorescent Molecules. *Plants* 8, 596. doi: 10.3390/plants8120596
- Das, S.K., Ganguli, S., Kabir, H., Khandaker, J.I., Ahmed, F., 2020. Performance of Natural Dyes in Dye-Sensitized Solar Cell as Photosensitizer. *Transactions on Electrical and Electronic Materials* 21, 105–116. doi: 10.1007/s42341-019-00158-y.
- Enaru, B., Dreţcanu, G., Pop, T.D., Stănilă, A., and Diaconeasa, Z., 2021. Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants* 10, 1967. doi: 10.3390/antiox10121967.
- Favaro, L., Balcão, V., Rocha, L., Silva, E., Oliveira Jr., J., Vila, M., and Tubino, M., 2018. Physicochemical Characterization of a Crude Anthocyanin Extract from the Fruits of Jussara (*Euterpe edulis Martius*): Potential for Food and Pharmaceutical Applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. doi: 10.21577/0103-5053.20180082.
- Ghann, W., Kang, H., Sheikh, T., Yadav, S., Chavez-Gil, T., Nesbitt, F., Uddin, J., 2017. Fabrication, Optimization and Characterization of Natural Dye Sensitized Solar Cell. *Scientific Reports* 7, 41470. doi: 10.1038/srep41470.
- Hardeli, Zainul, R., and Isara, L.P., 2019. Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) using Anthocyanin Color Dyes from Jengkol Shell (*Pithecellobium lobatum Benth.*) by the Gallate Acid Copigmentation. *Journal of Physics: Conference Series* 1185, 012021. doi: 10.1088/1742-6596/1185/1/012021.
- Heeger, A.J., 2001. Semiconducting and Metallic Polymers: The Fourth Generation of Polymeric Materials. *The Journal of Physical Chemistry B* 105, 8475–8491. doi: 10.1021/jp011611w.
- Hemmatzadeh, R., and Jamali, A., 2015. Enhancing the Optical Absorption of Anthocyanins for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 7, 013120. doi: 10.1063/1.4907599.
- Hosseinneshad, M., Gharanjig, K., Moradian, S., and Saeb, M.R., 2017. In Quest of Power Conversion Efficiency in Nature-Inspired Dye-Sensitized Solar Cells: Individual, Co-Sensitized or Tandem Configuration? *Energy* 134, 864–870. doi: 10.1016/j.energy.2017.06.045.
- Magsi, K., Lee, P., Kang, Y., Bhattacharya, S., and Fortmann, C.M., 2012. Enhanced Chlorophyll A Purification and Dye Sensitized Solar Cell Performance. *Mrs Proceedings* 1390, mrsf11-1390-h13-36. doi: 10.1557/opl.2012.797.
- Maylinda, E.V., Rinadi, A., Putri, E.A., Fadillah, G., and Wayuningsih, S., 2019. Color Stability of Anthocyanins Copigmentation from Red Rice (*Oryza sativa L.*) Bran by Spectrophotometry UV-Vis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 578, 012001. doi: 10.1088/1757-899X/578/1/012001.

- Oancea, S., and Drăghici, O., 2013. pH and Thermal Stability of Anthocyanin-Based Optimised Extracts of Romanian Red Onion Cultivars. *Czech Journal of Food Sciences* 31, 283–291. doi: 10.17221/302/2012-CJFS.
- Pathak, C., Surana, K., Kumar Shukla, V., and Singh, P.K., 2019. Fabrication and characterization of dye sensitized solar cell using natural dyes. *Materials Today: Proceedings* 12, 665–670. doi: 10.1016/j.matpr.2019.03.111.
- Rodrigues, A.S., Almeida, D.P.F., Simal-Gándara, J., and Pérez-Gregorio, M.R., 2017. Onions: A Source of Flavonoids, in: *Flavonoids - From Biosynthesis to Human Health*. InTech. doi: 10.5772/intechopen.69896.
- Saha, S., Singh, J., Paul, A., Sarkar, R., Khan, Z., and Banerjee, K., 2020. Anthocyanin Profiling Using UV-Vis Spectroscopy and Liquid Chromatography Mass Spectrometry. *Journal of AOAC INTERNATIONAL* 103, 23–39. doi: 10.5740/jaoacint.19-0201.
- Sani, A., Ahmad, A., and Zenta, F., 2019. Effect Of Metal Ion Cu (Ii) And Mg (Ii) On The Activities Antioxidant Anthocyanin Of Extract Ethanol Skin Dragon Fruit Red(Hylocereuspolyrhizus). *Jurnal Akta Kimia Indonesia (Indonesia Chimica Acta)* 11, 11. doi: 10.20956/ica.v11i1.6400.
- Swier, T.L., Mukhim, C., Bashir, K., and Chauhan, K., 2018. Optimization of Enzyme Aided Extraction of Anthocyanins from *Prunus nepalensis* L. *LWT* 91, 382–390. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.043.
- Syafinar, R., Gomesh, N., Irwanto, M., Fareq, M., and Irwan, Y.M., 2015. Cocktail Dyes from Blueberry and Dragon Fruit in the Application for DSSC. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 10, 6348–6353.
- Wahyuningsih, S., Wulandari, L., Wartono, M.W., Munawaroh, H., and Ramelan, A.H., 2017. The Effect of pH and Color Stability of Anthocyanin on Food Colorant. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 193, 012047. doi: 10.1088/1757-899X/193/1/012047.
- Ye, M., Wen, X., Wang, M., Iocozzia, J., Zhang, N., Lin, C., and Lin, Z., 2015. Recent Advances in Dye-Sensitized Solar Cells: from Photoanodes, Sensitizers and Electrolytes to Counter Electrodes. *Materials Today* 18, 155–162. doi: 10.1016/j.mattod.2014.09.001.