

Potensi Senyawa Betalain pada Ekstrak Biji Binahong (*Anredera cordifolia*) sebagai Fotosensitizer Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Nafisa Cahyani*, I Gusti Made Sanjaya

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Science, States University of Surabaya, Jl. Ketintang Surabaya, Indonesia

*Corresponding Author: nafisacahyani4@gmail.com

Received: April,20,2021 /Accepted: December,31,2021
doi: 10.24252/al-kimiv9i2.20610

Abstract: This study aims to examine the extract of red trunk binahong seed as a dye in Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Anredera cordifolia* characterization was carried out by UV-Visible spectrophotometry and resulted in absorption at a wavelength of 537 nm, purification the extract of red trunk binahong seed was carried out by column chromatography using methanol: ethyl acetate as solvent with ratio of 3: 2 and 10 fractions color were produced. The identification of compounds and functional groups were analyzed by FTIR which showed the presence of betalain derivatives, namely betanidine, betanine, and neobetanin. Molecular weight analysis was carried out by LC-MS and the molecular weight of betanidine was 386.3171. The voltage and current from the DSSC results were measured using multimeter, the efficiency of the extract of red trunk binahong seed was 0.64% and the one that experienced a change in color to orange was 0.55%.

Key word: betalain, betanidine, betanine, DSSC, red trunk binahong

PENDAHULUAN

Keterbatasan energi mengharuskan manusia untuk mencari energi alternatif yang lebih terjangkau dengan bahan baku yang mudah diperoleh. Energi terbarukan adalah cara yang tepat untuk memenuhi konsumsi energi tanpa degradasi lingkungan. Energi matahari adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan saat ini (Sanjay, 2019). Beberapa tahun terakhir, sel surya merupakan alternatif yang menjanjikan untuk perangkat anorganik konvensional (A.R.N. Laily, 2016) (Suphawit Udomrunkhajornchai, 2019). Sel surya peka-warna (DSSC) dapat digunakan sebagai alternatif yang efisien untuk perangkat fotovoltaik ekonomis, dan catatan efisiensi tertinggi telah meningkat dari 7% menjadi 14% (Chuan-PeiLee, 2017). Zat warna pada DSSC ini diperoleh dari tanaman binahong merah (*Anredera Cordifolia*) yang diambil bijinya sebagai penghasil warna, pada ekstrak biji binahong berbatang merah terkandung senyawa betalain yang menghasilkan warna merah sampai merah keunguan (B. Y. Muryani, 2020).

Betalain dibagi menjadi dua kelompok struktural utama, yaitu betasianin dan betasantin yang masing-masing ditampilkan oleh pewarnaan merah-ungu dan kuning-oranye (Raja Ramamoorthy, 2016). Diantara betalain yang ditemukan, tujuh senyawa termasuk kelompok betasianin (betanidin, isobetanidin, betanine, isobetanin, 17-dekarboksyl-betanin, 17-dekarboksyl-isobetanin, dan 6'-O-ferulyl-betanin/ isobetanin), sedangkan satu milik kelompok betaxanthins (vulgaxanthin I) (Tomasz Sawicki, 2018).

Betanidin merupakan unit struktural dasar dari sebagian besar turunan betasianin, diikuti oleh betanine (betanidin 5-O- β -glukosida) yang berasal dari glukosilasi dan asilasi aglycon betanidine (I) (Moh Moh Zin, 2020). Betanine adalah senyawa warna merah yang paling stabil, dan kemampuan antioksidannya didasarkan pada sumbangan hidrogen dan elektronnya (Imen Belhadj Slimen, 2017).

Komponen DSSC terdiri dari zat warna sebagai fotosensitizer, elektrolit, elektron menjadi pewarna, katalis (elektroda lawan) untuk menarik elektron ke dalam elektrolit, dan lapisan semikonduktor yang menggunakan TiO_2 sebagai adsorpsi pewarna dan transportasi (Ahmed M. Ammar, 2019) (B. Y. Muryani, 2020).

Berbeda dari penelitian sebelumnya yang menggunakan ekstrak dari daun binahong merah (B. Y. Muryani, 2020) dan batang binahong merah sebagai pewarna pada DSSC (Neha Patni, 2020)(Lucia Aztatzi-Rugiero, 2019), pada penelitian ini bagian binahong berbatang merah yang digunakan sebagai pewarna pada DSSC yaitu bijinya yang diperkirakan mengandung senyawa betalain yang dapat menyerap energi cahaya dari matahari yang nantinya akan dikonversi menjadi listrik.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Ekstrak biji binahong berbatang merah, TiO_2 , CH_3COOH , KI, Iodin, Tween 80, metanol, etil asetat, aquades, silika gel.

Gelas kimia, gelas ukur, mortar alu, *hot plate*, kaca ITO, *magnetic stirrer*, klip, selotip, kromatografi kolom, instrumen FTIR shimadzu IRPrestige21, spektrofotometer UV-Visible Shimadzu 1800, instrumen LCMS AB Sciex 3200 Q Trap, multimeter.

Prosedur

Kromatografi kolom

Ekstrak biji binahong berbatang merah dibersihkan menggunakan aquades dan dihaluskan kemudian dilakukan kromatografi kolom. Silika gel sebanyak 50 gram ditambahkan fase gerakanya sedikit demi sedikit sampai berbentuk bubuk atau *slurry*. Fase gerak yang digunakan merupakan campuran dari metanol:etil asetat dengan perbandingan 3:2 (Aruna Singh, 2017). Penggunaan campuran metanol dan etil asetat dalam kromatografi kolom ini untuk mengidentifikasi pelarut terbaik untuk ekstraksi warna merah sampai merah keunguan yang menunjukkan adanya pigmen betalain (Aruna Singh, 2017). Fase gerak dimasukkan ke dalam kolom yang bagian bawahnya telah disumbat menggunakan kapas dan diatur kecepatan aliran pelarut dalam kolom sebanyak 30-40 tetes per menit.

Analisis Spektrofotometri UV-Visible

Serapan panjang gelombang senyawa betanidin yang diperoleh dari proses kromatografi kolom dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 400-600 nm (Lucia Aztatzi-Rugiero, 2019) (Yu Fu, 2020).

Dye Sensitized Solar Cell atau DSSC

Kaca yang digunakan dalam pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yaitu kaca ITO dengan ukuran 2x2 cm yang dilapisi menggunakan pasta TiO_2 (J. Xu, 2018). Pelapisan pasta TiO_2 dilakukan menggunakan teknik *doctor blade*. Pasta TiO_2 terbuat dari bubuk TiO_2 dengan CH_3COOH dan beberapa tetes Tween 80 kemudian dihomogenkan selama 30 menit. Selanjutnya pasta dilapiskan ke kaca ITO kemudian dikeringkan selama kurang lebih 30 menit dengan suhu 500°C (Norfatihah Mohd Adenam, 2020). Pembuatan larutan elektrolit menggunakan Iodin dan Kalium Iodida (KI). Setelah itu DSSC disusun *sandwich* dan diukur tegangan yang dihasilkan menggunakan multimeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemurnian ekstrak biji binahong berbatang merah

Pemurnian ekstrak biji binahong berbatang merah dilakukan dengan kromatografi kolom yang terdiri dari penambahan sampel ke dalam kolom dengan menggunakan campuran metanol dan etil asetat kemudian diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 1. Fraksi warna pemurnian ekstrak biji binahong berbatang merah

Tabel 1. Fraksi warna dari pemurnian menggunakan kromatografi kolom

Fraksi ke-	Warna
1	Hijau kekuningan
2	Kuning
3	Oranye
4	Merah pekat
5	Merah keunguan
6	Merah
7	Merah keunguan
8	Merah muda
9	Merah muda
10	Merah muda

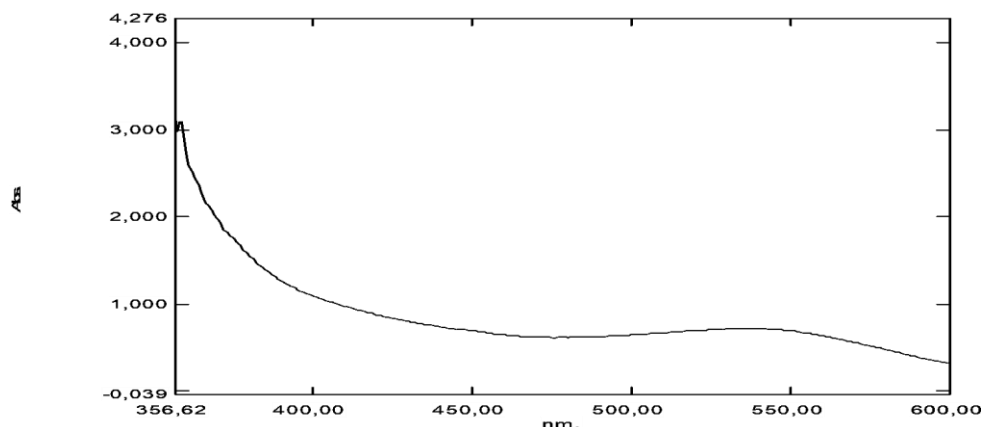
Pemurnian ekstrak biji binahong berbatang merah dengan kromatografi kolom menghasilkan 10 fraksi warna yang berbeda seperti pada Tabel 1 mulai dari warna hijau kekuningan sampai merah muda. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan pH yang terjadi, nilai pH untuk betalain ada pada rentang pH 4 – 6 dan mempunyai tingkat kestabilan tinggi pada pH 5. Jika pH menurun akan terjadi perubahan pigmen warna dari merah menjadi warna ungu, sedangkan kenaikan pH pada nilai pH 7 atau netral menyebabkan senyawa betalain mengalami perubahan warna dari warna kuning hingga coklat (María Jesús Cejudo-Bastante, 2016).

Setelah terbentuk beberapa fraksi warna hasil kromatografi kolom ditambahkan 5 tetes larutan buffer fosfat. Penambahan buffer fosfat dilakukan untuk mempertahankan pH agar tetap stabil sehingga mengurangi resiko terjadinya perubahan warna (J. Xu, 2018) (M. Alejandra Guerrero-Rubio, 2018).

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan betalain, yaitu kandungan pigmen, struktur kimia, pH, perlakuan termal, aktivitas air, oksigen, cahaya, dan suhu selama penyimpanan. Betalain tidak cukup stabil terhadap oksigen dan cahaya pada suhu tinggi (Yu Fu, 2020).

Spektrofotometri *Uv-Visible*

Ekstrak biji binahong berbatang merah dianalisis menggunakan spektrofotometri *Uv-Visible* untuk mengetahui serapan panjang gelombang dari ekstrak biji binahong berbatang merah yang sebelumnya sudah dimurnikan menggunakan kromatografi kolom. Hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar berikut:



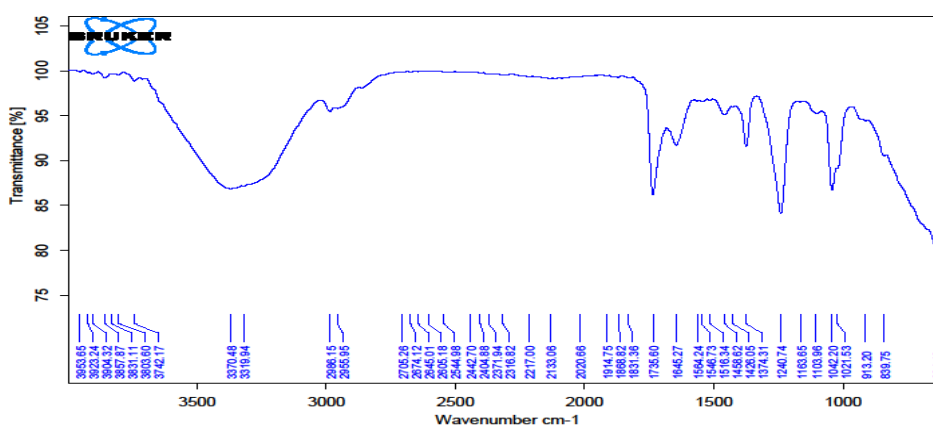
Gambar 2. Serapan panjang gelombang ekstrak biji binahong berbatang merah

Berdasarkan Gambar 2 dapat diamati bahwa panjang gelombang maksimum senyawa betalain dari ekstrak biji binahong berbatang merah terdapat pada serapan panjang gelombang 537 nm, hal tersebut karena betalain memiliki daya serap yang kuat di antara rentang panjang gelombang 400–600 nm dikarenakan kombinasi betasantin yang berwarna kuning-oranye dan betasianin yang berwarna merah-ungu (Norfatihah Mohd Adenam, 2020), pembacaan pada 600 nm digunakan untuk mengoreksi absorbansi kotoran (Virginia Prieto-Santiago, 2020).

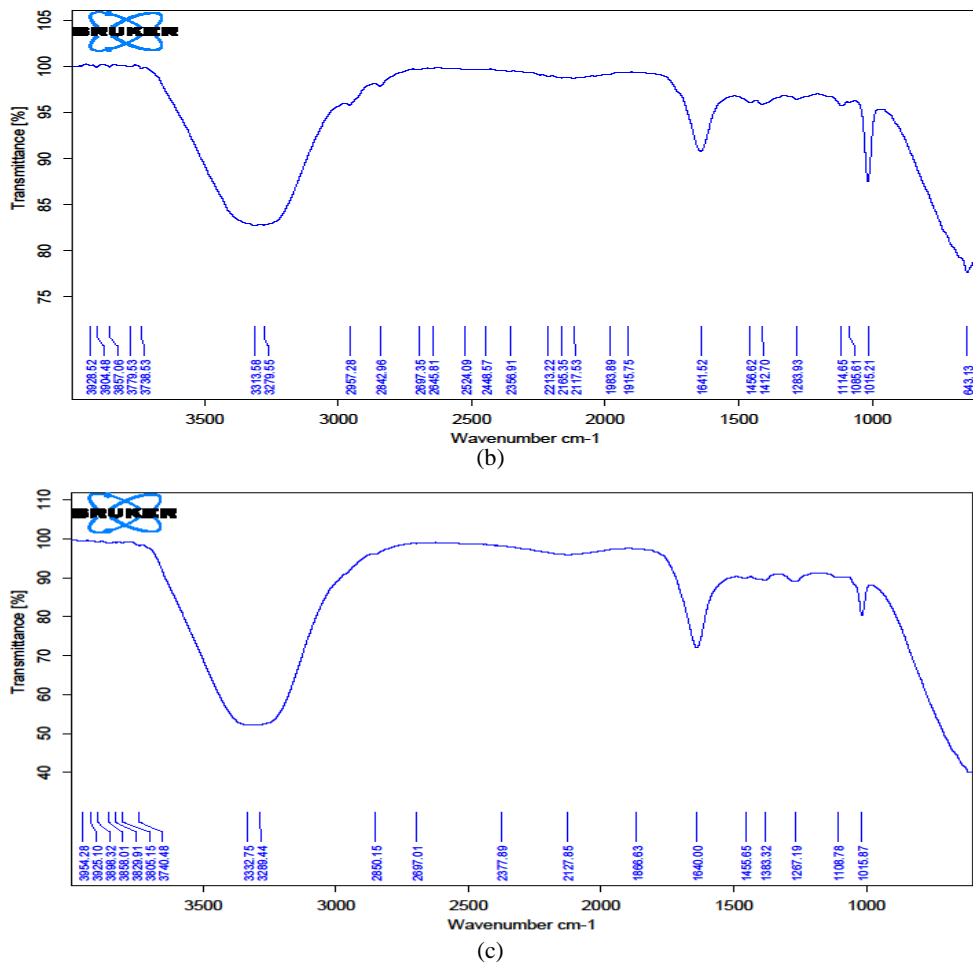
Penelitian sebelumnya tentang pigmen warna senyawa betalain pada ekstrak batang binahong berbatang merah (*Anredera cordifolia*) menunjukkan serapan panjang gelombang sebesar 538 nm (Lucia Aztatzi-Rugiero, 2019) dan 540 nm (Virginia Prieto-Santiago, 2020).

Fourier-Transform Infrared Spectroscopy atau (FTIR)

Analisis menggunakan *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* atau FTIR ini dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa, mendeteksi gugus fungsi, dan menganalisis campuran yang terdapat dalam ekstrak biji binahong berbatang merah (Lucia Aztatzi-Rugiero, 2019). Hasil analisis FTIR ditunjukkan pada gambar berikut:



(a)



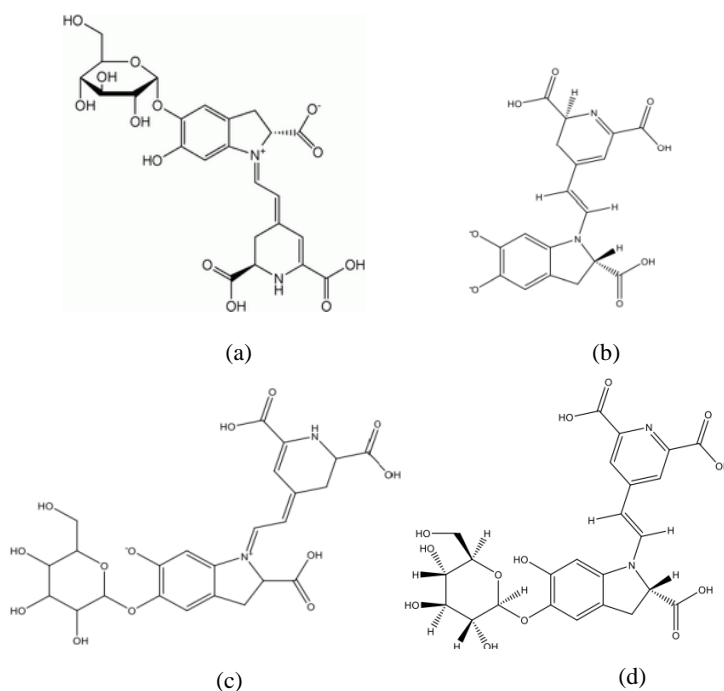
Gambar 3. a). Spektrum FTIR senyawa betalain dalam binahong berbatang merah setelah di kromatografi kolom, b). Setelah di kromatografi kolom dan diberi buffer fosfat, c). Setelah di kromatografi kolom, diberi buffer fosfat dan berubah warna

Berdasarkan hasil identifikasi menggunakan spektroskopi FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan adanya interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang 4000 – 600 cm^{-1} .

Spektrum tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 yang merupakan sampel ekstrak biji binahong berbatang merah setelah dimurnikan menggunakan kromatografi kolom memiliki serapan lebih kuat dan tajam sedangkan pada gambar b dan c terlihat memiliki serapan yang kurang kuat dan ada beberapa serapan pada gugus fungsi C-H alifatik, C-O vibrasi ulur asimetri, dan C-H yang terdapat dalam cincin benzene yang seharusnya serapannya kuat namun tidak terdeteksi. Pada daerah frekuensi 3370,48 cm^{-1} , 3313,58 cm^{-1} , 3332,75 cm^{-1} merupakan gugus OH dengan vibrasi ulur. Pada daerah ini biasanya juga terdapat gugus NH. Ikatan hidrogen menyebabkan puncak melebar dan terjadi pergeseran ke arah bilangan gelombang yang lebih pendek. Pada bilangan gelombang 1374,31 cm^{-1} , merupakan daerah serapan C-H alifatik, 1735,60 cm^{-1} , 1641,52 cm^{-1} , 1640,00 cm^{-1} merupakan C=O dengan vibrasi ulur dari asam karboksilat, 1374,31 cm^{-1} , 1283,93 cm^{-1} , 1267,19 cm^{-1} merupakan C=N vibrasi ulur, 1042,20 cm^{-1} , 1108,78 cm^{-1} merupakan ikatan

C=O dengan vibrasi ulur asimetri, $839,75\text{ cm}^{-1}$ merupakan C-H yang terdapat dalam cincin benzen.

Berdasarkan analisis tersebut dapat dilihat bahwa pada ekstrak biji binahong berbatang merah diduga terdapat senyawa betalain dan turunannya seperti betanin, betanidin dan neobetainin. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya gugus utama antara lain gugus karbonil C=O, O-H, C-H, N-H untuk amina dan ikatan aromatik C=C yang merupakan gugus fungsi dari senyawa betalain (Aruna Singh, 2017). Berikut struktur betalain dan turunannya (betanin, betanidin dan neobetainin):



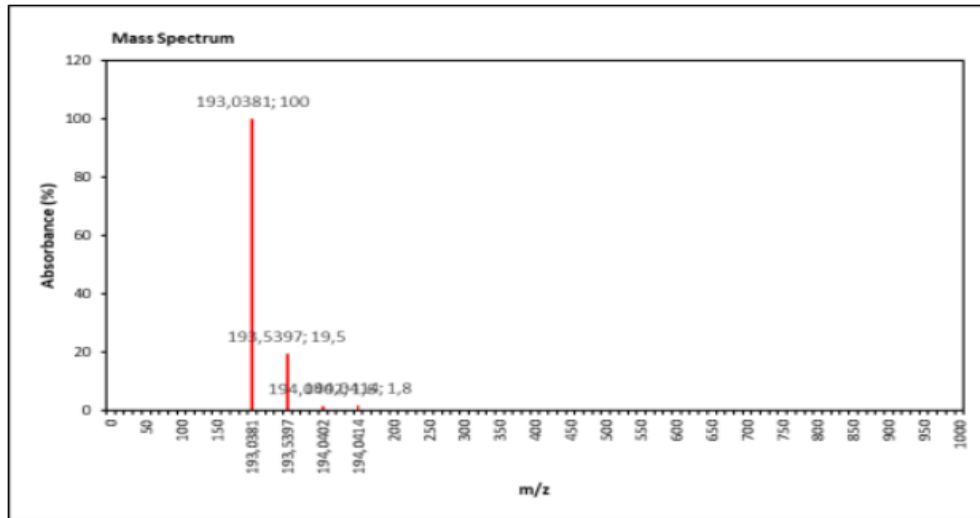
Gambar 4. a) Struktur senyawa betalain, b) betanidin, c) betanin, d) neobetainin

Liquid Chromatography - Mass Spectrometer (LC-MS)

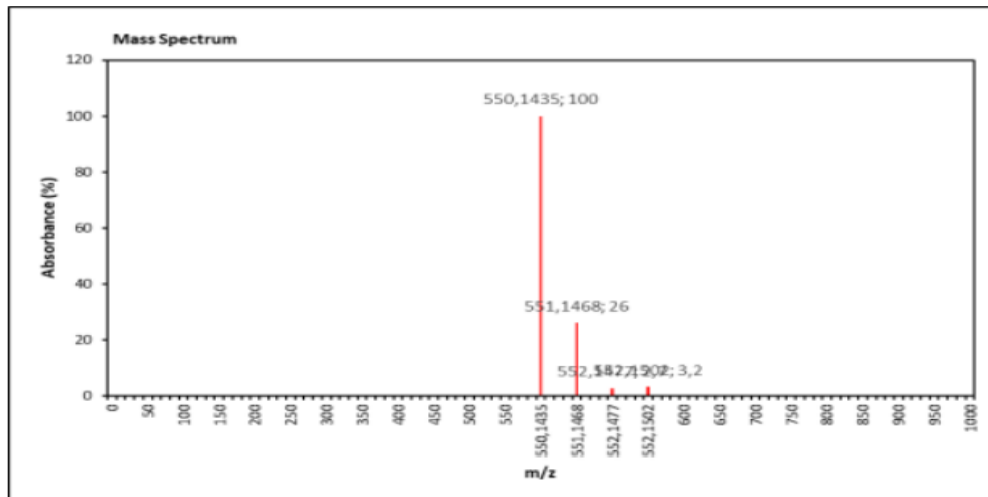
Analisis menggunakan *Liquid Chromatography - Mass Spectrometer* atau LC-MS ini dilakukan untuk mengetahui berat molekul, mendeteksi dan mengonfirmasikan identitas molekul secara selektif senyawa yang terdapat dalam ekstrak biji binahong berbatang merah.

Uji LC-MS dilakukan pada 2 sampel ekstrak biji binahong berbatang merah, sampel 1 yaitu ekstrak biji binahong berbatang merah yang telah dimurnikan menggunakan kromatografi kolom yang menghasilkan larutan berwarna merah dan sampel 2 yaitu ekstrak biji binahong berbatang merah yang telah dimurnikan menggunakan kromatografi kolom yang sudah dibiarkan selama beberapa hari kemudian mengalami perubahan warna menjadi oranye.

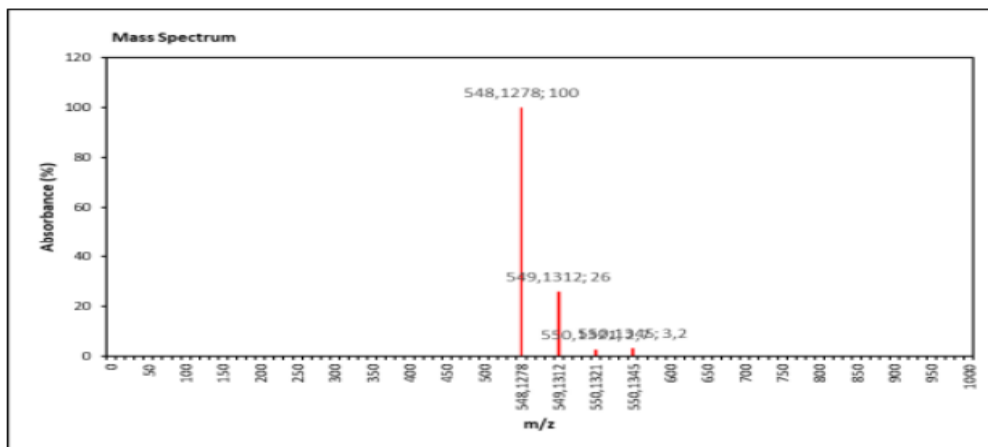
Perubahan warna pada sampel terjadi karena perubahan pH yang seharusnya nilai pH untuk betalain akan stabil pada rentang pH 4 – 6 dan mempunyai tingkat kestabilan tinggi pada pH 5, serta akan mengalami kerusakan pada pH dibawah 4 yang menyebabkan betalain berubah warna menjadi coklat (María Jesús Cejudo-Bastante, 2016). Hasil analisis dengan *Liquid Chromatography - Mass Spectrometer* atau LCMS ditunjukkan pada gambar berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. a). Spektrum senyawa betanidin binahong berbatang merah, b). betanin, c). neobetainin

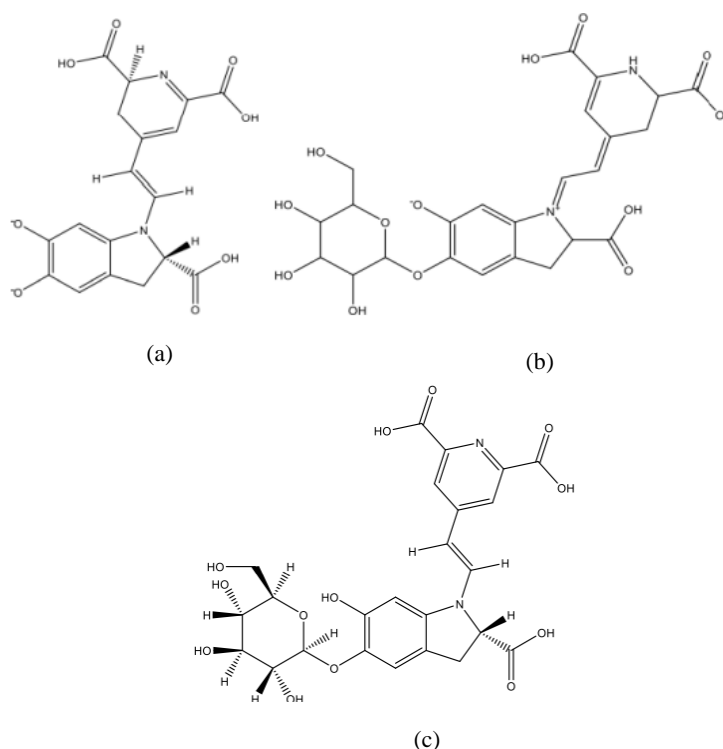
Berdasarkan gambar di atas dapat dua sampel ekstrak biji binahong berbatang merah yang diuji sama-sama mengandung senyawa turunan betalain yaitu betanidin, betanin, dan neobetani (Tomasz Sawicki, 2018). Hasil spektogram MS menunjukkan harga berat molekul senyawa betanidin yang merupakan turunan dari senyawa betalain sebesar 386,0761 g/mol ditunjukkan pada Gambar 5 dengan adanya m/z 193,0381 $[M+H]^+$ dan m/z 194,0414 $[M+Na]^+$. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa berat molekul senyawa betalain dan turunannya sebesar 389 g/mol (Lucia Aztatzi-Rugiero, 2019).

Terdapat perbedaan nilai komposisi dan persamaan berat molekul senyawa betanidin, betanin, dan neobetani di dalam ekstrak biji binahong berbatang merah. Berikut nilai komposisi dan berat molekul sampel 1 dan 2:

Tabel 2. Nilai komposisi dan berat molekul sampel 1 dan 2 ekstrak biji binahong berbatang merah

Senyawa	Betanidin		Betanin		Neobetani	
	1	2	1	2	1	2
Sampel	1	2	1	2	1	2
Komposisi (%)	0,64364	0,63651	1,34945	1,36456	0,88173	0,87197
Berat molekul (g/mol)	386,3171		550,4730		548,4570	

Sehingga dapat diduga bahwa pada ekstrak biji binahong berbatang merah mengandung senyawa turunan betalain yaitu betanidin ($C_{18}H_{16}N_2O_8$), betanin ($C_{24}H_{26}N_2O_{13}$), dan neobetani ($C_{24}H_{24}N_2O_{13}$). Berikut struktur senyawanya:



Gambar 6. a) Struktur senyawa betanidin, b) betanin, c) neobetani

Potensi ekstrak biji binahong berbatang merah sebagai bahan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Ekstrak biji binahong berbatang merah dianalisis menggunakan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang dilakukan dengan salah satu model perakitan komponen sel DSSC yaitu *sandwich* kemudian diukur tegangan dan arus yang dihasilkan menggunakan alat ukur multimeter. Pengukuran pada DSSC ekstrak biji binahong berbatang merah menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil pengukuran V_{maks} , I_{maks} , dan luas permukaan (A) dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Warna sampel	V_{maks} (V)	I_{maks} (A/m ²)	Luas permukaan/A (m ²)
Merah	$35,9 \times 10^{-3}$	$5,26 \times 10^{-5}$	4×10^{-4}
Oranye	$33,5 \times 10^{-3}$	$5,26 \times 10^{-5}$	4×10^{-4}

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 3 dapat dihitung besar nilai efisiensi yang dihasilkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{maks} = \frac{V_{maks} \times I_{maks}}{A} \quad (\text{Pers. 1})$$

Nilai efisiensi sel surya (η) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut (Danladi Eli, 2016):

$$\eta = \frac{P_{maks}}{i} \times 100\% \quad (\text{Pers. 2})$$

Berdasarkan persamaan diatas didapatkan hasil pengukuran nilai efisiensi untuk sampel ekstrak biji binahong berbatang merah yang masih berwarna merah sebesar 0,64% dan pada ekstrak biji binahong berbatang merah yang sudah mengalami perubahan warna menjadi warna oranye sebesar 0,55% karena kadar kandungan betalain pada ekstrak biji binahong berbatang merah yang masih berwarna merah lebih tinggi sehingga penyerapan cahaya matahari yang dikonversi menjadi listrik makin tinggi.

Pasta TiO_2 digunakan sebagai pelapis kaca ITO 2x2 cm karena merupakan semikonduktor yang paling banyak digunakan dalam *photoanode* DSSC dengan ketebalan sekitar 10 μm (Samanta PK, 2019).

Pada penelitian sebelumnya pengaplikasian senyawa betalain yang digunakan sebagai pewarna dalam DSSC memiliki efisiensi konversi terbaik senyawa betalain dari ekstrak bugenvil (*Bougainvillea*) sebesar 0,38% (Ariza, 2019), dan 0,36% (Sérgio S. de Jesus, 2019), pada ekstrak bit merah (*Beta vulgaris L.*) menunjukkan efisiensi sebesar 0,47% (Ariza, 2019), dan 2,7% (María Jesús Cejudo-Bastante, 2016)

SIMPULAN

Ekstrak biji binahong berbatang merah memiliki potensi untuk digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC dengan memanfaatkan senyawa betalain dan turunannya seperti betanidin, betanin, dan neobetanin yang menghasilkan warna merah pada binahong berbatang merah. Spektrum UV-Vis menunjukkan serapan panjang gelombang pada 537 nm, dan diperoleh berat molekul senyawa betanidin sebesar 386,3171 g/mol. Diperkirakan senyawa betalain dari ekstrak biji binahong berbatang merah yang berwarna merah akan memiliki efisiensi sebesar 0,64% yang lebih tinggi daripada yang sudah berubah warna

menjadi oranye sebesar 0,55%. Efisiensi tersebut bisa diperbesar lagi untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan kaca ITO dengan ukuran dan skala yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- A.R.N. Laily., S, Hasiah., Nik, Ik Aziz, AN, Dagang. (2016). Poly (3-Dodecylthiophene)/Natural Dye Bulk Heterojunction, *Procedia Chemistry*, 19(1), 2-9.
- Ahmed, M., Ammar., Hemdan, SH. (2019). Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) Based on Extracted Natural Dyes, *Journal of Nanomaterials*, 19(2), 1-10.
- Ariza, Maria., J. G.S, Maria J. (2019). Optimizing a Simple Natural Dye Production Method for Dye-Sensitized Solar Cells: Examples for Betalain (*Bougainvillea* and Beetroot Extracts) and Anthocyanin Dyes, *Applied Science*, 12(1), 2-20.
- Aruna, S., Mahesh, G., Nirmala, G. (2017). Optimizat on of extraction of betalain pigments from beta vulgaris peels by microwave pretreatment, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 68(2), 3-11.
- BY, Muryani., F, Nurosyid., Kusumandari. (2020). Effect of working electrode thickness using binahong leaves (*Anredera cordifolia*) dye to the efficiency of dye-sensitized solar cell (DSSC), *AIP Conference Proceedings*, 17(2), 2-3.
- Carolina, B., Maria, JC., Francisco, J. (2017). Pigment composition and antioxidant capacity of betacyanins and betaxanthins fractions of *Opuntia dillenii* (Ker Gawl) Haw cactus fruit, *Food Research International*, 101(1), 173-179.
- Chuan-PeiLee, Chun-Tingli, Kuo-Chuanho. (2017). Use of organic materials in dye-sensitized solar cells, *Materials today*, 20(5), 267-283.
- Danladi, E., Muhammad, A., Idodo, M., Danladi, E. (2016). Dye-Sensitized Solar Cells Using Natural Dyes Extracted from Roselle (*Hibiscus Sabdariffa*) Flowers and Pawpaw (*Carica Papaya*) Leaves as Sensitizers, *Journal of Energy and Natural Resources*, 5(1), 3-6.
- F Farabegoli, ES Scarpa, A Frati, G Serafini. 2017. Betalains increase vitexin-2-O-xyloside cytotoxicity in CaCo-2 cancer cells. *Food Chemistry*, 218(2), 356-364.
- Fu-Quan, B., Wei, Li., Hong-Xing, Z. (2017). Theoretical Studies of Titanium Dioxide for Dye-Sensitized Solar Cell and Photocatalytic Reaction, in: Titan Dioxide, *InTech*, 68(7), 230-243.
- Imen, BS., Taha, N., Manef, A. (2017). Chemical and Antioxidant Properties of Betalains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(1), 675-689.
- J, Xu., J, Zhang., K, Kuang. (2018). Manufacturing Solar Cells: Assembly and Packaging, in: Conveyor Belt Furn, Therm, Process, *Springer International Publishing*, 32(3), 35-41.

- Katarzyna, MB., Sylwia, P. (2016). The Effect of Thermal Treatment on Antioxidant Capacity and Pigment Contents in Separated Betalain Fractions, *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment*, 15(3), 257–265.
- Kenneth, O., Liliya, F., Pau, F. (2020). Preparation and performance of prickly pear (*Opuntia phaeacantha*) and mulberry (*Morus rubra*) dye-sensitized solar cells, *Solar Energy*, 208(2), 312-320.
- Leonildo, D., Bastian, F., Tuomo, F., Shin, I. (2020). Automated multistep column chromatography on ÄKTA pure system using in-line sample dilution, *Separation and Purification Technology*, 240(3), 2-4.
- Lucia, AR., Sulem, YG., Yimi, ZC. (2019). Analysis of the degradation of betanin obtained from beetroot using Fourier transform infrared spectroscopy, *J Food Science Technology*, 56(8), 3677–3686.
- M, Alejandra GR., Samanta, HG., Francisco, G. (2018). Extension of life-span using a RNAi model and in vivo antioxidant effect of *Opuntia* fruit extracts and pure betalains in *Caenorhabditis elegans*, *Food Chemistry*, 72(3), 6-20.
- María, Jesús CB., Nelson, H., Angelica, D. (2016). Impact of pH and temperature on the colour and betalain content of Colombian yellow pitaya peel (*Selenicereus megalanthus*), *Association of Food Scientists & Technologists (India)*, 53(5), 2405–2413.
- Moh, Moh Z., Chukwuka, BA., Szilvia, B. (2020). Recovery of Phytochemicals via Electromagnetic Irradiation (Microwave-Assisted-Extraction): Betalain and Phenolic Compounds in Perspective, *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 9(7), 918.
- Nallamuthu, A., MSP, Subathra., Emmanuel. (2019). Preparation and characterization of two dyesensitized solar cells using *Acalypha Godseffia* and *Epipremnum Aureum* dyes as sensitizers, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 21(4), 1-12.
- Neha, D., Kishorkumar, V., Tukaram, D., Kevin, P. (2019). Development of dye sensitized TiO₂ thin films for efficient energy, *Elsevier*, 1011-1013.
- Neha, P., Shibu, G., Pranjali, S. (2020). Effect of using betalain, anthocyanin and chlorophyll dyes together as a sensitizer on enhancing the efficiency of dye-sensitized solar cell, *International Journal of Energy Research*, 2-12.
- Norfatihah, MA., Nur, AP., Pranjali, S. (2020). Study of *Beta vulgaris* (Beetroot) Extraction in Polar Solvents as Photoabsorber in Dye-Sensitized Solar Cells Application, *IOP Science*, 596.
- Raja, R., Natarajan, R., Govindaraj, M. (2016). Betalain and anthocyanin dye-sensitized solar cells, *Springer Science*, 46(9), 929-941.
- Samanta, PK. (2019). Opto-electronic properties of stable blue photosensitisers on a TiO₂ anatase-101 surface for efficient dye-sensitized solar cells, *Chem Phys Lett*, 731.

- Sanjay, K, Deepa., M, Victor AR., J, Madhavanb., S, Senthil. (2019). Dye-Sensitized Solar Cells Using Natural Dye as Light-Harvesting Material Extracted From the Leaves of *Peltophorum Pterocarpum*, *Materials Today: Proceedings*, 8(2) 123-129.
- Sérgio, S., Gabriela, FF., Maria, RWM., Rubens, M. (2019). Biodiesel purification by column chromatography and liquid-liquid extraction using green solvents, *Fuel*, 235(2), 1123-1130.
- Suphawit, U., Irén, JJ., Andrea, E. (2019). Optimization of the TiO₂ layer in DSSCs by a nonionic surfactant, *Journal of Optic*, 163(1), 3-9.
- Tomasz, S., Joana, T., Ewa, R., Wieslaw, W. (2018). Profile and Content of Betalains in Plasma and Urine of Volunteers after Long-Term Exposure to Fermented Red Beet Juice, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(16), 4155-4163.
- Virginia, PS., Mar, Cavia., Sara, R. (2020). Relationship between color and betalain content in different thermally treated beetroot products, *Journal of Food, Science, and Technology*, 533-560.
- Yohannes, MH., Minh, Tho N., Jyh-Chiang, J. (2018). Effects of Terminal Donor Unit in Dyes with D–D– π –A Architecture on the Regeneration Mechanism in DSSCs: A Computational Study, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 175(3), 22-34.
- Yu Fu, Jia Shi, Si-Yie. (2020). Red Beetroot Betalains: Perspectives on Extraction, Processing, and Potential Health Benefits, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(4), 2-17.