

## Peningkatan Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dari Antosianin Kulit Manggis (*Garcinia mangostana* L) Menggunakan Papain

Ika Nirmalasari, Ratri Ariatmi Nugrahani\*, Budiyanto

Prodi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah No. 27 Cempaka Putih, Jakarta Pusat, 10510

\*Penulis korespondensi: [ratri.ariatmi@umj.ac.id](mailto:ratri.ariatmi@umj.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v10.n2.38011>

**Abstrak:** Untuk membantu aksesibilitas energi listrik, sumber energi alternatif misalnya, sel berorientasi matahari telah dibuat. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) mengubah energi bertenaga matahari menjadi energi listrik dengan zat warna (*dye*) sebagai sensitizer dan semikonduktor sebagai elektroda. TiO<sub>2</sub> diaplikasikan pada kaca konduktif indium tin oxide (ITO) sebagai elektroda di DSSC. Warna sebagai sensitizer yang digunakan adalah antosianin dari kulit manggis. Tujuan penelitian ini adalah melakukan ekstraksi antosianin kulit manggis dengan metode maserasi, menghasilkan DSSC yang dapat mengkonversi secara maksimal energi cahaya menjadi energi listrik dengan material komposit grafit-TiO<sub>2</sub> menggunakan *dye* organik ekstrak manggis dan papain; menentukan pengaruh variasi waktu perendaman *dye* (2, 4, 6, 8 dan 10 jam) terhadap voltase dan kuat arus DSSC menggunakan *dye* organik ekstrak manggis; menentukan efisiensi voltase dan kuat arus DSSC menggunakan *dye* organik ekstrak manggis dengan variasi penambahan papain (1, 2, 3, 4 dan 5%). Metodologi penelitian yang dilakukan adalah: pembuatan DSSC dengan *dye* antosianin kulit manggis dan papain, meliputi preparasi *dye* kulit manggis, preparasi pasta TiO<sub>2</sub>, preparasi elektrolit, preparasi counter elektroda karbon, perakitan DSSC. Analisa yang dilakukan adalah analisa arus, tegangan, efisiensi DSSC, dan analisa antosianin menggunakan spektrofotometer UV Vis. Hasil pengujian di bawah cahaya setelah variasi waktu perendaman warna (2, 4, 6, 8 dan 10 jam), menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman *dye*, semakin meningkat tegangannya dan semakin meningkat kuat arusnya. Waktu perendaman warna terbaik adalah 6 jam. Variasi penambahan papain (1, 2, 3, 4 dan 5%) dilakukan pada waktu perendaman *dye* terbaik dengan hasil menunjukkan bahwa semakin banyak papain yang ditambahkan, semakin tinggi tegangan yang diperoleh dan semakin meningkat nilai arus yang didapat. Penambahan papain terbaik adalah 5%. Hasil uji antosianin dengan spektrofotometer UV Vis adalah sebesar 233,44 mg/kg. Nilai efisiensi ( $\eta$ ) DSSC tertinggi yaitu 0,0190%.

**Kata kunci:** antosianin, DSSC, *dye*, ITO, sensitizer

**Abstract:** To help the accessibility of electrical energy, alternative energy sources for example, solar oriented cells have been created. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) converts solar-powered energy into electrical energy with color (*dye*) as a sensitizer and a semiconductor as an electrode. TiO<sub>2</sub> is applied onto indium tin oxide (ITO) conductive glass as an electrode in DSSC. The color as a sensitizer used is anthocyanin from mangosteen peel. The purpose of this study was to extract mangosteen peel anthocyanins using the maceration method, producing a DSSC that can maximally convert light energy into electrical energy with graphite-TiO<sub>2</sub> composite materials using organic dyes of mangosteen extract and papain; determine the effect of variations in dye immersion time (2, 4, 6, 8 and 10 hours) on the voltage and current strength of DSSC using mangosteen extract organic dye; determine the efficiency of voltage and current strength of DSSC using mangosteen extract organic dye with variations in the addition of papain (1, 2, 3, 4 and 5%). The research methodology used was preparation of DSSC with mangosteen peel anthocyanin dye and papain, including preparation of mangosteen peel dye, TiO<sub>2</sub> paste preparation, electrolyte preparation, carbon electrode counter preparation, DSSC assembly. The analyzes carried out were current, voltage, DSSC efficiency analysis, and anthocyanin analysis using a UV-Vis spectrophotometer. The test results under light after various color immersion times (2, 4, 6, 8 and 10 hours), showed that longer dye immersion time lead to higher voltage and curret. The best dye soaking time is 6 hours. Variations of the addition of papain (1, 2, 3, 4 and 5%) were carried out at the best color immersion time with the results showing that more papain added, the higher the voltage obtained and the higher the current value obtained. The best addition of papain is 5%. The results of the anthocyanin test with the UV Vis spectrophotometer were 233.44 mg/kg. The highest DSSC efficiency value ( $\eta$ ) is 0.0190%.

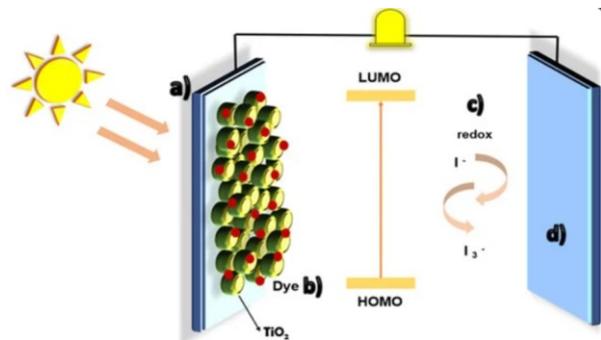
**Keywords:** anthocyanin, DSSC, *dye*, ITO, sensitizer

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi akan terus meningkat terutama kebutuhan energi listrik seiring dengan membaiknya perekonomian dan meningkatnya jumlah penduduk. Untuk memenuhi kebutuhan energi ini, beragam energi alternatif dari sumber berbeda seperti biomassa, panas bumi, energi angin dan energi yang menggunakan matahari (Kurniawidi dkk. 2018). Iklim tropis yang dimiliki oleh Indonesia, dipengaruhi oleh letak geografis dan kondisi astronomisnya (Adistia dkk. 2020). Indonesia, merupakan negara yang memiliki panas dan kelembaban tinggi, sehingga memiliki potensi menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi. Total energi yang dihasilkan oleh sinar matahari tidak sepenuhnya diterima oleh bumi, hanya 69% saja. Energi yang didapat adalah  $3 \times 10^{24}$  J setiap tahun, sebanding dengan  $2 \times 10^{17}$  W atau ribuan kali lipat penggunaan energi secara keseluruhan saat ini. Kita bisa mencukupi kebutuhan energi yang ada di seantero bumi dengan perangkat sel surya yang memiliki efisiensi 10% dan menutup 0,1% permukaan bumi (Yulianto 2006).

Cara paling umum untuk mengubah energi berbasis matahari menjadi sel bertenaga matahari didasarkan pada efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik merupakan peristiwa perubahan cahaya yang diserap menjadi energi listrik. Efek ini digambarkan sebagai keadaan dimana timbulnya beda potensial karena kontak dua elektroda yang terhubung dengan sistem padatan dan cairan saat terpapar cahaya (Tiwari & Dubey 2010). O'regan & Grätzel (1991) menemukan sel surya tersensitisasi pewarna *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) pada tahun 1991. DSSC telah mendapat banyak pertimbangan dari para peneliti karena metode perakitan yang sederhana, biaya minimal, dan efisiensi konversi yang tinggi (Grätzel 2003). DSSC berfungsi baik pada daerah sinar tampak sampai ke inframerah (Cari dkk. 2013). Energi dari celah  $\text{TiO}_2$  adalah 3,2 eV, sehingga diperlukan penggunaan warna yang sesuai dan mampu menyerap spectrum cahaya (Khan *et al.* 2012). Sebagai bagian penting pada DSSC, sensitizer menghimpun foton dan sampai pada keadaan tereksitasi di naungi pencahayaan, dan kemudian memasukan elektron ke dalam pita  $\text{TiO}_2$ . Saat cahaya dalam bentuk foton mengenai sel DSSC, energi foton terserap oleh ekstrak dye. Tingkat energi foton terserap tergantung pada dye yang dipakai. Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  bersifat fotoaktif dan dapat mengabsorpsi cahaya dengan panjang gelombang berkisar 360 – 380nm. Peningkatan daerah serapan dilakukan dengan mengsensitisasi menggunakan zat pewarna sehingga rentang serapan lebih lebar. Karakterisasi terpenting bahan dye adalah mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan sesuai dengan pita energi  $\text{TiO}_2$ . Antosianin adalah pigmen warna golongan flavonoid dan bisa digunakan sebagai sensitizer (Zahrok & Prajitno 2015).

DSSC mulai bekerja ketika cahaya menerpa permukaan elektroda. Permukaan elektroda mengandung  $\text{TiO}_2$  dan zat warna.  $\text{TiO}_2$  bertindak sebagai akseptor elektron. Energi foton dari cahaya yang menerpa diserap oleh zat warna, sehingga elektron dari zat warna mendapat cukup energi agar tereksitasi ( $D^*$ ) dan masuk ke dalam pita energi  $\text{TiO}_2$ , sedangkan zat warna yang tertinggal akan teroksidasi ( $D^+$ ). Elektron kemudian bergerak menuju elektroda karbon (a). Proses siklus dalam sel dapat terjadi dengan elektrolit sebagai mediator elektron. Elektron akan ditangkap dengan bantuan karbon sebagai katalis oleh triiodida dari elektrolit. Elektrolit yang bereaksi dengan elektron tereksitasi ke dalam sel menghampiri zat warna yang teroksidasi (b). Elektron pengganti yang dibutuhkan oleh zat warna disediakan oleh elektrolit. Hal ini membuat zat warna menjadi ke keadaan semula (Kumara & Prajitno 2012). Proses ini dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Komponen dan mekanisme DSSC (Castillo-Robles *et al.* 2021)

Kinerja DSSC diukur berdasarkan Nilai efisiensi ( $\eta$ ) dari DSSC dan dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \times 100\% \dots (1)$$

Dimana daya tertinggi yang dapat dihasilkan dari DSSC dinotasikan dengan  $P_{\max}$ , sedangkan daya yang menggunakan sumber cahaya sebagai  $P_{in}$  (Maddu dkk. 2010).

Baik atau tidaknya performa dari DSSC secara signifikan dipengaruhi oleh pewarna yang digunakan. Kompleks ruthenium merupakan zat warna yang mempunyai efisiensi tinggi dan umum digunakan pada DSSC (Maulina dkk. 2014). Namun jenis ini tidak murah dan tidak mudah disintesis. Alternatif lain yang dapat dilakukan yaitu dengan penggunaan zat warna dari buah-buahan, khususnya antosianin (Septina dkk. 2007). Beberapa jenis pewarna alami yang sangat potensial digunakan sebagai sensitizer pada DSSC yaitu karotenoid, antosianin, dan flavonoid (Yulianto 2019).

Zat warna pada sel surya jenis DSSC dapat memanfaatkan manggis (*Garcinia mangostana* L)

karena banyak mengandung antosianin pada kulitnya (Rahman 2013). Antosianin menyebabkan berbagai warna pada tumbuhan dikarenakan susunan ikatan rangkap terkonjugasi. Susunan itu membuat zat antosianin mampu menyerap cahaya dengan rentang lebar. Kandungan antosianin yang terdapat pada kulit buah manggis sebesar 59,3 mg pada setiap 100 gr kulit buah manggis (Supiyanti dkk. 2010). Protease dari papaya yaitu enzim papain menurut Martanty (2013) dapat dimanfaatkan sebagai warna pada DSSC. Sebanyak 0,1046 mcu/gr (*milk cooling unit*) papain yang dihasilkan pada ekstrak daun papaya dari hasil penelitiannya. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi DSSC adalah dengan mencampur pewarna. Pencampuran zat warna dimaksudkan untuk memperluas jangkauan penyerapan cahaya tampak karena peningkatan eksitasi elektron yang ditransmisikan ke TiO<sub>2</sub> untuk meningkatkan arus DSSC (Pramananda *et al.* 2020). Pada penelitian ini, DSSC menggunakan sensitizer dari antosianin kulit manggis dengan variasi penambahan papain untuk meningkatkan efisiensinya.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: kulit manggis, ethanol 96%, enzim papain, aquadest, TiO<sub>2</sub>, asetonitril, PEG (6000), asam nitrat 0,1 M, KI 0,5 M, I<sub>2</sub> 0,05 M dan pensil 8B.

### Preparasi Zat Warna dari Kulit Manggis

Zat warna yang diperoleh berasal dari kulit manggis yang dimaserasi menggunakan ethanol. Bahan yang sudah dipilih, dibersihkan dan dikeringkan. Setelah itu dihaluskan, ditimbang lalu dimaserasi dengan ethanol dengan perbandingan 1:5 dan dibiarkan selama 3 jam dalam botol gelap (Zhou *et al.* 2011). Campuran lalu difiltrasi dengan kertas saring dan dipisahkan hingga sepertiga bagian lalu disimpan dalam botol gelap.

### Preparasi Pembuatan DSSC

Kaca ITO dibersihkan menggunakan aquades dan ethanol. Pasta TiO<sub>2</sub> kemudian dibuat dengan menimbang 1,5 g TiO<sub>2</sub> yang dicampur dengan 3 mL asam nitrat 0,1 M dan 0,6 g polietilen glikol dan diaduk selama 1 jam (Valiulis & Silickas 2007). Pasta yang terbentuk kemudian dioleskan membentuk lapisan tipis pada kaca ITO seluas 1×1 cm<sup>2</sup>. Lalu dipanaskan pada suhu 200°C selama 30 menit. Setelah itu direndam dalam warna dengan variasi waktu (2, 4, 6, 8 dan 10 jam). Sisa larutan kemudian dibersihkan dengan etanol dan lapisan TiO<sub>2</sub> tersensitisasi siap digunakan. Preparasi dari elektroda lawan menggunakan kaca ITO yang dilapisi grafit seluas 1×1 cm<sup>2</sup> dari pensil 8B kemudian dipanaskan di pada suhu 200°C selama 30 menit. Campuran dari 0,5 M KI dan 0,05 M I<sub>2</sub> dengan pelarut asetonitril digunakan sebagai elektrolit (Dahlan & Fahyuan

2014). Lapisan TiO<sub>2</sub> yang tersensitisasi dan elektroda lawan disusun seperti *sandwich* dan larutan elektrolit diantaranya, dan siap diuji. Setelah diuji dan didapatkan waktu terbaik, diberikan variasi konsentrasi papain (1, 2, 3, 4 dan 5%) yang ditambahkan pada warna. Menurut Rizali *et al.* (2020) penggunaan dye dari ekstrak daun papaya tanpa dicampur dengan dye lain yaitu dengan variasi konsentrasi 25, 50, 75, dan 100%.

### Pengujian Antosianin

Hasil maserasi dari kulit manggis diuji menggunakan spektrofotometer untuk mengetahui kandungan antosianin yang terdapat didalamnya.

### Pengujian Tegangan dan Kuat Arus

DSSC yang telah disusun disinari dengan cahaya lampu halogen 400 W. Kuat arus dan tegangan terukur menggunakan multimeter digital YX-360TRD.

### Pengujian ANOVA

Uji Anova merupakan uji hipotesis statistika. Kesimpulan diambil berdasarkan data atau kelompok statistika inferentif. Hipotesis nol dari uji Anova adalah bahwa data merupakan simple random dari populasi yang sama maka memiliki ekspektasi mean dan varians yang sama, nilai Uji F-statistik lebih besar dari F tabel dengan tingkat kepercayaan tertentu (Septiadi & Ramadhani 2020) dan uji R<sup>2</sup> yaitu merupakan nilai yang dapat memperlihatkan seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap dependen, angka berkisar antara 0 sampai dengan 1, hal ini mengindikasikan besarnya kombinasi variabel independen terhadap dependen (Hair *et al.* 2010). Pada penelitian ini diuji hipotesis untuk korelasi waktu perendaman dye dan konsentrasi papain yang ditambahkan terhadap efisiensi DSSC.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Zat warna (dye) yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil maserasi serbuk manggis menggunakan ethanol 96%. Dari hasil uji antosianin didapatkan nilai antosianin sebesar 235,24 mg/kg dan 233,44 mg/kg. Kaca konduktor yang digunakan merupakan jenis ITO. Voltase dan kuat arus diukur setelah DSSC menyerap cahaya lampu halogen 400 W. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil efisiensi DSSC seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil Tabel 1 nilai tegangan dan efisiensi tertinggi terdapat pada waktu perendaman 6 jam. Sehingga dilakukan variasi penambahan papain pada waktu perendaman 6 jam. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2.

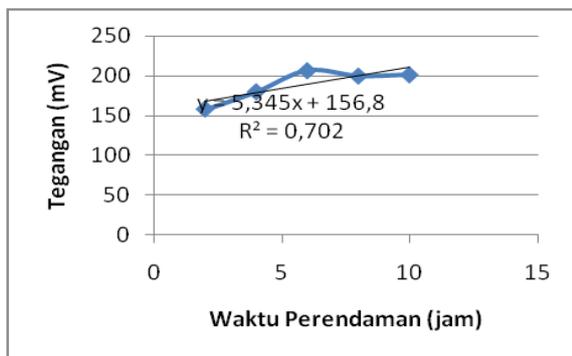
Hasil penentuan pengaruh waktu perendaman terhadap tegangan dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat dilihat hubungan antara waktu

**Tabel 1.** Hasil uji pengaruh waktu perendaman terhadap tegangan dan kuat arus yang dihasilkan pada DSSC

Waktu Perendaman (jam)	Tegangan (mV)	Kuat arus (mA)	$\eta$ (%)
2	157,7	0,07	0,0079
4	179,7	0,09	0,0108
6	206,3	0,11	0,0156
8	199,6	0,12	0,0147
10	201,2	0,11	0,0148

**Tabel 2.** Hasil uji pengaruh penambahan papain terhadap tegangan dan kuat arus yang dihasilkan pada DSSC

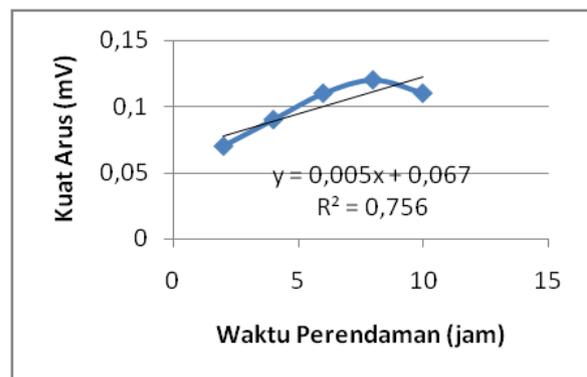
Konsentrasi Penambahan Enzim Papain (%)	Tegangan (mV)	Kuat arus (mA)	$\eta$ (%)
1	210,6	0,11	0,0107
2	222,4	0,13	0,0138
3	228,4	0,12	0,0179
4	232,2	0,14	0,0188
5	242,7	0,14	0,0190



**Gambar 1.** Pengaruh waktu perendaman terhadap tegangan

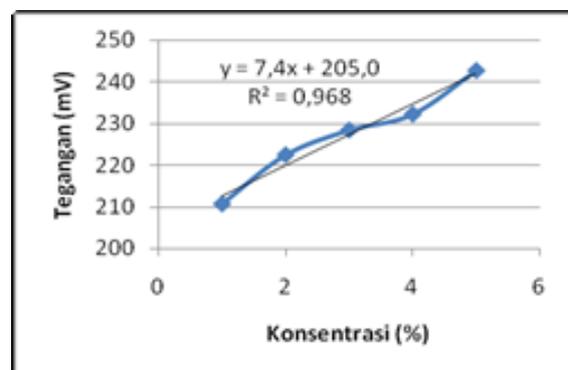
perendaman dengan tegangan yang dihasilkan. Dari grafik dapat terlihat nilai tegangan yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu perendaman warna. Nilai  $R^2$  sebesar 0,702 menunjukkan adanya hubungan antara waktu perendaman warna dengan kenaikan tegangan. ANOVA waktu perendaman (jam) terhadap tegangan (mV), didapatkan nilai F hitung 100,6344 dan nilai F tabel 5,1921. Nilai F hitung > F tabel maka perlakuan waktu perendaman berpengaruh secara signifikan terhadap tegangan. Semakin lama waktu perendaman maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya zat warna yang terserap ke dalam  $TiO_2$ .

Dari Gambar 1 dapat dilihat nilai voltase tertinggi dicapai saat perendaman selama 6 jam. Pada perendaman 8 jam dan 10 jam nilai voltase yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh kemampuan rongga  $TiO_2$  dalam menyerap zat warna telah mencapai batas maksimal. Lamanya waktu perendaman juga berpengaruh terhadap lapisan  $TiO_2$  yang mulai terkikis oleh larutan warna sehingga kemampuan  $TiO_2$  untuk mengikat pewarna menjadi kurang optimal.



**Gambar 2.** Pengaruh waktu perendaman terhadap kuat arus

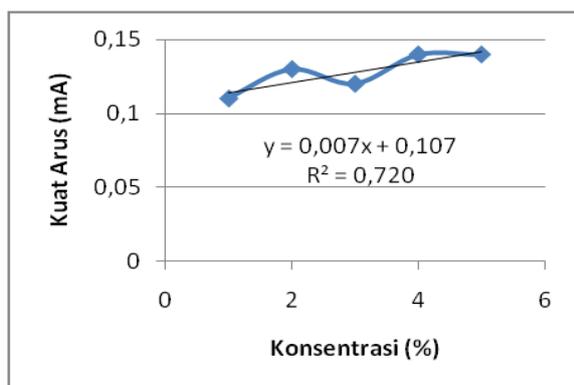
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu perendaman dengan kuat arus yang dihasilkan. Dari grafik dapat terlihat nilai kuat arus yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu perendaman warna. Nilai  $R^2$  sebesar 0,756 menunjukkan adanya hubungan antara waktu perendaman warna dengan kenaikan kuat arus. ANOVA waktu perendaman (jam) terhadap kuat arus (mA), didapatkan nilai F hitung 9,5555 dan nilai F tabel 5,1921. Nilai F hitung > F tabel maka perlakuan waktu perendaman berpengaruh secara signifikan terhadap kuat arus. Semakin lama waktu perendaman maka nilai kuat arus yang dihasilkan semakin meningkat.



**Gambar 3.** Pengaruh penambahan papain terhadap tegangan yang dihasilkan

Gambar 3 menunjukkan hubungan penambahan papain dengan voltase yang dihasilkan. Dari grafik

dapat terlihat nilai voltase yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi papain yang ditambahkan. Nilai  $R^2$  sebesar 0,968 menunjukkan adanya hubungan antara konsentrasi papain dengan kenaikan voltase. ANOVA papain (%) dan tegangan (mV), didapatkan nilai F hitung 252,3536 dan nilai F tabel 5,1921. Nilai F hitung > F tabel maka perlakuan penambahan papain berpengaruh secara signifikan terhadap tegangan.



**Gambar 4.** Pengaruh konsentrasi papain terhadap kuat arus

Pengaruh konsentrasi papain terhadap kuat arus dapat dilihat pada Gambar 4. Dari Gambar 4 dapat dilihat hubungan konsentrasi penambahan papain dengan kuat arus yang dihasilkan. Dari Gambar 4 dapat terlihat nilai kuat arus yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu perendaman warna. Nilai  $R^2$  sebesar 0,720 menunjukkan adanya hubungan antara penambahan papain dengan kenaikan kuat arus. Dari ANOVA didapatkan nilai F hitung 11,5 dan nilai F tabel 5,1921. Nilai F hitung > F tabel maka perlakuan penambahan papain berpengaruh secara signifikan terhadap kuat arus.

Nilai efisiensi ( $\eta$ ) yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pada variasi waktu perendaman 6 jam mencapai nilai  $\eta$  tertinggi sebesar 0,0156%. Nilai  $\eta$  meningkat setelah penambahan papain 3, 4 dan 5% masing-masing menjadi 0,0179%, 0,0188% dan 0,0190%. Antosianin yang merupakan bahan fotoaktif yang diperlukan sebagai pengindera untuk menerima energi matahari pada DSSC (Ati 2020). Menurut Susmiyanto dkk. (2013), waktu perendaman berpengaruh terhadap tegangan dan kuat arus dari DSSC. Semakin lama waktu perendaman, maka semakin tinggi tegangan dan kuat arus yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan Martanty (2013) yang menyatakan bahwa enzim papain dari papaya termasuk protease yang bisa dimanfaatkan sebagai dye pada DSSC. Dari hasil yang didapatkan papain terbukti dapat meningkatkan efisiensi DSSC.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian hasil maserasi didapatkan antosianin dalam kulit manggis sebesar 235,24 mg/kg dan 233,44 mg/kg, sehingga ekstrak kulit manggis dapat dijadikan warna untuk DSSC. Waktu perendaman dye dari ekstrak kulit manggis terhadap tegangan menunjukkan korelasi kuat, semakin lama waktu perendaman warna maka nilai tegangan semakin besar dan pengaruh terhadap kuat arus menunjukkan korelasi kuat, semakin lama waktu perendaman warna, nilai kuat arus semakin besar. Penambahan papain pada ekstrak kulit manggis sebagai dye pada DSSC menunjukkan semakin banyak papain yang ditambahkan, semakin tinggi tegangan yang diperoleh dan semakin meningkat nilai arus yang didapat dengan penambahan papain terbaik adalah 5%. Berdasarkan penelitian pengaruh waktu perendaman warna terhadap tegangan dan kuat arus didapatkan nilai  $\eta$  tertinggi pada waktu perendaman 6 jam, yaitu 0,0156%. Berdasarkan penelitian ini didapatkan nilai  $\eta$  tertinggi 0,0190% dengan waktu perendaman warna 6 jam dan papain 5%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada: Kemdikbud Ristek atas pendanaan penelitian dalam Program Talenta Inovasi, LPPM UMJ, Prodi Magister Teknik Kimia UMJ

## DAFTAR PUSTAKA

- Adistia, N.A., Nurdiansyah, R.A., Fariko, J., Vincent, V. & Simatupang, J.W. (2020). Potensi energi panas bumi, angin, dan biomassa menjadi energi listrik di Indonesia. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*. **22(2)**: 105-116.
- Ati, L. (2020). Ekstraksi jantung pisang untuk fabrikasi dye sensitized solar cell menggunakan iradiasi gelombang mikro. Skripsi. FMIPA. Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Cari, Nurussaniah, Boisandi, Anita, Supriyanto, A. & Suryana R. (2013). Pengaruh konsentrasi poly(3-hexylthiophene) (P3HT) terhadap peningkatan efisiensi dye sensitized solar cells. *2<sup>nd</sup> Lontar Physics Forum 2013*. Surakarta. pp. LPF1331-1 - LPF1331-6.
- Castillo-Robles, J.A., Rocha-Rangel, E., Ramírez-de-León, J.A., Caballero-Rico, F.C. & Armendáriz-Mireles, E.N. (2021). Advances on dye-sensitized solar cells (DSSCs) nanostructures and natural colorants: A review. *Journal of Composites Science*. **5(11)**: 288.
- Dahlan, D. & Fahyuan, H.D. (2018). Pengaruh beberapa jenis dye organik terhadap efisiensi sel surya dye sensitized solar cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. **15(2)**: 74-79.
- Grätzel, M. (2003). Dye-sensitized solar cells. *Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry Reviews*. **4(2)**: 145-153.

- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. & Anderson, R.E. (2010). *Multivariate Data Analysis*. 7<sup>th</sup> ed. rentice Hall International. New York.
- Khan, M.A., Khan, S.M., Mohammed, M.A., Sultana, S., Islam, J.M. & Uddin, J. (2012). Sensitization of nanocrystalline titanium dioxide solar cells using natural dyes: Influence of acids medium on coating formulation. *American Academic & Scholarly Research Journal*. **4(5)**: 1-10.
- Kumara, M.S. & Prajitno, G. (2012). Studi awal fabrikasi dye sensitized solar cell (DSSC) dengan menggunakan ekstraksi daun bayam (*Amaranthus hybridus* L.) sebagai dye sensitizer dengan variasi jarak sumber cahaya pada DSSC. Laporan Penelitian. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Kurniawidi, D.W., Alaa, S. & Rahayu, S. (2018). Ekstrak getah pepaya (*Carica papaya*) dengan penambahan Cu sebagai dye sensitizer solar cell (DSSC). *Indonesian Physical Review*. **1(1)**: 1-6.
- Maddu, A., Yudaswara, E., Irmansyah, & Arif, A. (2010). Sel surya tersensitasi dye padat menggunakan fotoelektroda komposit TiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan elektrolit gel polimer. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. **2**: 234-241.
- Martantyo, D. (2013). Isolasi Enzim Papain dari Getah Buah dan Sari Daun Pepaya (*Carica papaya*). Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Maulina, A., Hardeli, H. & Bahrizal, B. (2016). Preparasi dye sensitized solar cel menggunakan ekstrak antosianin kulit buah manggis (*Garcinia mangostana* L). *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*. **6(2)**: 158-167.
- O'regan, B. & Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature*. **353(6346)**: 737-740.
- Pramananda, V., Fityay, T.A.H. & Misran, E. (2021). Anthocyanin as natural dye in DSSC fabrication: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **1122(1)**: 012104).
- Rahman, H. (2013). Pengaruh pemberian space (bantalan) untuk mendapatkan kestabilan arus dan tegangan prototype DSSC dengan ekstraksi kulit manggis (*Garcinia mangostana* L) sebagai dye sensitizer. Skripsi. FMIPA. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- Rizali, D., Suryanto, H. & Sukarni, S. (2020). The effect of chlorophyll concentration from papaya leaves on the performance of dye sensitized solar cell. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*. **3(2)**: 59-69.
- Septiadi, A. & Ramadhani, W.K. (2020). Penerapan metode anova untuk analisis rata-rata produksi donat, burger, dan croissant pada toko roti Animo Bakery. *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theory*. **1(2)**: 60-64.
- Septina, W., Dimas, F., & Mega, A. (2007). Pembuatan prototype solar cell murah dengan bahan organik-inorganik (dye sensitized solar cell). Laporan Akhir. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Supiyanti, W., Wulansari, E.D. & Kusmita, L. (2010). Uji aktivitas antioksidan dan penentuan kandungan antosianin total kulit buah manggis (*Garcinia mangostana* L). *Majalah Obat Tradisional*. **15(2)**: 64-70.
- Susmiyanto, D., Wibowo, N.A. & Sutresno, A. (2013). Fabrikasi sel surya pewarna tersensitisasi (SPPT) dengan memanfaatkan ekstrak antosianin ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII UKSW*. **4(1)**: 104-105.
- Tiwari, G. N. & Dubey, S. (2010). *Fundamentals of Photovoltaic Modul and Their Applications*. RSC Publishing. London.
- Valiulis, A.V. & Silickas, P. (2007). Liquid phase deposition methods monitoring techniques influence for solid substrates and thin metal oxide films properties. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. **24(1)**: 188-192.
- Yuliarto, B. (2006). Energi Surya: Alternatif Sumber Energi Masa Depan Indonesia. Berita Iptek .
- Yuliarto, B. (2019). *Material Nano Untuk Aplikasi Sensor Lingkungan, Kesehatan dan Energi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Zahrok, Z.L. & Prajitno, G. (2015). Ekstrak buah murbei (morus) sebagai sensitizer alami dye-sensitized solar cell (DSSC) menggunakan substrat kaca ito dengan teknik pelapisan spin coating. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. **4(1)**: B26-B31.
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y. & Ma, T. (2011). Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. **219(2-3)**: 188-194.