

PENGARUH KONSENTRASI PIGMEN WARNA DARI DAUN PACAR KUKU (*LAWSONIA INERMIS L.*) TERHADAP EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

Yulia Kirana Lahsmin, Rahmaniah dan Iswadi¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar

Abstract: Was research on *Dye Sensitized Solar Cell* to determine the effect of concentration Henna leaves pigments (*Lawsonia Inermis L.*) on the efficiency of DSSC. The solar cell is made with a sandwich structure, the dye used is made in three variations of concentration is concentration of 10 %, 20 % and 30 %. TiO₂ deposition on ITO glass made using the method of doctor blade with a cell area of 2.25 cm² for 24 hours of immersion in the dye. Based on the results of measurements of I-V by using a source of light, DSSC efficiency for dye obtained with a concentration of 30 % which is 0.003366667 %, to dye with a concentration of 20 % is 0.0033264 % and to dye with a concentration of 10 % which is 0.000312 %. This research can be concluded that the higher the concentration of dye used, the higher the efficiency of DSSC generated.

Keywords: dye, efficiency, henna leaves, solar cells.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan energi listrik meningkat setiap harinya. Sedangkan sumber energi fosil yang tidak terbarukan seperti minyak bumi dan batubara semakin menipis seiring waktu. Oleh karena itu perlu dilakukan eksplorasi sumber energi lain yang terbarukan, seperti energi matahari. Sel surya atau *Solar Cell* merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik.

Sel surya yang digunakan saat ini di dominasi oleh sel surya yang berbasis silikon. Namun mahalnya biaya produksi silikon membuat biaya penggunaannya lebih mahal dibandingkan dengan penggunaan sumber energi fosil. Tetapi seiring dengan perkembangan teknologi, sel surya generasi terbaru yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) telah ditemukan oleh Gratzel pada tahun 1991 (O'regan dan Gratzel 1991). Selain biaya fabrikasinya yang tergolong lebih murah, bahan *dye* yang digunakan pada DSSC pun mudah ditemukan di alam.

Penelitian tentang DSSC telah banyak dikembangkan oleh peneliti dengan menggunakan berbagai jenis bahan *dye* yang digunakan guna meningkatkan efisiensi dari DSSC yang sebelumnya. Diantaranya seperti yang dilakukan oleh peneliti dengan menggunakan ekstraksi bunga sepatu (Henni, dkk. 2012) dengan ekstrak kulit manggis (Zamrani, dkk. 2013), bahkan penelitian terbaru dengan menggunakan ekstrak daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*). Penelitian tersebut dilakukan dengan memvariasikan pelarut, suhu, serta pH yang digunakan pada saat

ekstraksi. Pada penelitian tersebut diperoleh tingkat efisiensi yang tinggi yaitu dengan menggunakan pelarut etanol, ekstraksi dengan suhu pelarut 75°C dan dengan ekstrak larutan yang memiliki pH 2 (Sakthivel, dkk. 2015).

Daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*) merupakan suatu bahan pewarna alami yang memiliki warna tampak kuning jingga setelah ekstraksi, berdasarkan skala spektrum cahaya tampak, warna yang diserap adalah warna biru dan biru kehijauan yang memiliki rentang panjang gelombang sekitar 435-490 nm. Ketika cahaya polikromatis mengenai suatu zat, maka cahaya dengan panjang gelombang tertentu saja yang akan diserap. Jika zat menyerap cahaya tampak (visibel) atau UV maka akan terjadi perpindahan elektron dari keadaan dasar menjadi keadaan tereksitasi.

Penentuan bahan dan metode yang digunakan, memiliki kontribusi yang besar terhadap tingkat efisiensi DSSC yang diperoleh. Seperti dalam proses ekstraksi bahan *dye*, pelarut yang digunakan (Prestiyana, dkk. 2010) serta karakteristik pasta *Titanium Dioxide* (TiO₂) (Mariya, dkk. 2013) sangat berpengaruh terhadap peningkatan efisiensi. Selain itu berdasarkan teori, tingkat absorpsi klorofil sangat bergantung pada konsentrasi klorofil yang dipengaruhi oleh jumlah daun yang digunakan (Doddy Fanditya, dkk: 1) sehingga dengan memperhitungkan konsentrasi *dye* maka, efisiensi yang baik dapat diketahui dari hasil yang akan diperoleh.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh konsentrasi pigmen warna (*dye*) dari daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC)?
- b. Berapa besar efisiensi *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC) yang dihasilkan dari pigmen warna daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*)?

Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi pigmen warna dari pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC).
- b. Untuk mengetahui efisiensi *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC) dari pigmen warna daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*)

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni-Oktober 2016 yang berlangsung di Laboratorium Organik Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar untuk proses ekstraksi bahan *dye*, Laboratorium Kimia Terpadu Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin untuk proses pengujian UV-VIS, Laboratorium Fisika Modern Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar untuk proses pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dan

Laboratorium Mikrostruktur Universitas Negeri Makassar untuk proses pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM).

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti kaca ITO dengan ukuran 20 mm × 20 mm × 0,7 mm, daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*) yang tua (berwarna hijau gelap) sekitar 3 kg, bubuk TiO₂ sebanyak 20 gram, larutan etanol 18 Liter, aquades 3 liter, KI padat sebanyak 10 gram, larutan Iodine 100 mL, rangkaian alat-alat ekstraksi, tabung reaksi, rak tabung, gelas kimia, cawan petri, spatula, dan pipet tetes, kertas saring, lilin, tissue, kompor listrik, neraca digital, aluminium foil dan corong.

Prosedur Kerja

Pembuatan Ekstrak Daun Pacar Kuku (*Lawsonia Inermis L.*)

Sampel daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis L.*) terlebih dahulu dicuci dengan menggunakan aquades lalu dikeringkan. Setelah kering, kemudian diremas hingga menjadi serbuk. Serbuk daun pacar kuku ditimbang sebanyak 275 gram, kemudian dimasukkan ke dalam toples untuk dimaserasi dengan cara direndam menggunakan etanol 96 % selama 24 jam. Selanjutnya hasil rendaman disaring untuk diambil filtratnya ke dalam botol dengan menggunakan corong dan kain penyaring. Kemudian ampasnya dimaserasi kembali selama 5 hari. Hasil maserasi lalu diuapkan pada suhu 63 °C dengan cara destilasi hingga membentuk ekstrak kental. Hasil ekstraksi ditempatkan dalam cawan yang ditutup dengan aluminium foil dan disimpan dalam lemari asam. Ekstrak kental tersebut kemudian ditimbang dan diperoleh sebanyak 175 gram massa ekstrak daun pacar kuku yang berwarna hijau kecoklatan.

Pembuatan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pacar Kuku (*Lawsonia Inermis L.*)

Ekstrak kental daun pacar kuku dibuat dengan 3 konsentrasi larutan yang berbeda (10 %, 20 % dan 30 %). Untuk larutan dye dengan konsentrasi 10 % dibuat dari 2 gram ekstrak kental daun pacar kuku ditambahkan dengan 20 mL etanol, kemudian larutan ekstrak daun pacar tersebut disaring ke dalam tabung reaksi dengan menggunakan kertas saring kemudian ditutup rapat agar tidak menguap. Untuk larutan dye dengan konsentrasi 20% dan 30% masing-masing menggunakan 4 gram dan 6 gram ekstrak kental daun pacar kuku yang ditambahkan dengan etanol masing-masing 20 mL.

Pembuatan Pasta TiO₂

Pasta TiO₂ dibuat dari 4 sendok sampel bubuk TiO₂ ditambahkan aquades 20 mL ke dalam gelas kimia. Kemudian larutan TiO₂ tersebut dipanaskan dengan

menggunakan kompor listrik hingga mendidih. Kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring sampai terbentuk pasta yang siap digunakan untuk deposisi.

Pembuatan Lapisan TiO₂ pada ITO (Elektroda Kerja)

Kaca konduktif ITO (*Indium Tin Oxide*) yang telah dibersihkan dengan menggunakan alkohol, dilakukan pengujian resistansi dengan menggunakan multimeter. Pendeposisian TiO₂ dilakukan dengan metode *doctor blade*. Pada metode *doctor blade*, sisi konduktif kaca ITO dibentuk area untuk pendeposisian TiO₂ berukuran (1,5 × 1,5) cm² diatas permukaan konduktif dengan sisi kaca ITO ditempeli selotip sebagai pembatas sesuai dengan pola yang telah dibuat. Pasta TiO₂ kemudian dideposisikan diatas permukaan kaca ITO dan diratakan dengan menggunakan spatula. Kemudian lapisan didiamkan selama 5 menit setelah itu disintering dengan menggunakan kompor listrik dari temperatur rendah sampai pada temperatur 450 °C selama 30 menit.

Perendaman Lapisan TiO₂ pada Dye

Lapisan TiO₂ yang telah dibuat dengan ukuran luas permukaan (1,5 × 1,5) cm² direndam pada ekstrak *dye* daun pacar kuku (*Lawsonia Inermis*) dalam cawan petri selama 24 jam. Kemudian dikeringkan dan dilakukan uji karakterisasi SEM untuk mengetahui morfologi, porositas, komposisi senyawa dan ketebalan film katalis.

Pembuatan Elektroda Karbon

Kaca ITO dibersihkan terlebih dahulu dan diukur resistansinya lalu dibakar pada api dari lilin sampai terbentuk lapisan karbon berwarna hitam. Pada sisi tepi kaca digosok menggunakan cotton bud untuk membuat batasan agar luasan karbon (1,5 × 1,5) cm².

Pembuatan Lapisan Sandwich DSSC

Lapisan DSSC dibuat dengan menyusun secara offset lapisan TiO₂ tersensitisasi *dye* dengan lapisan karbon (elektroda kerja dengan elektroda karbon). Kemudian dijepit dengan menggunakan penjepit kertas pada kedua sisinya.

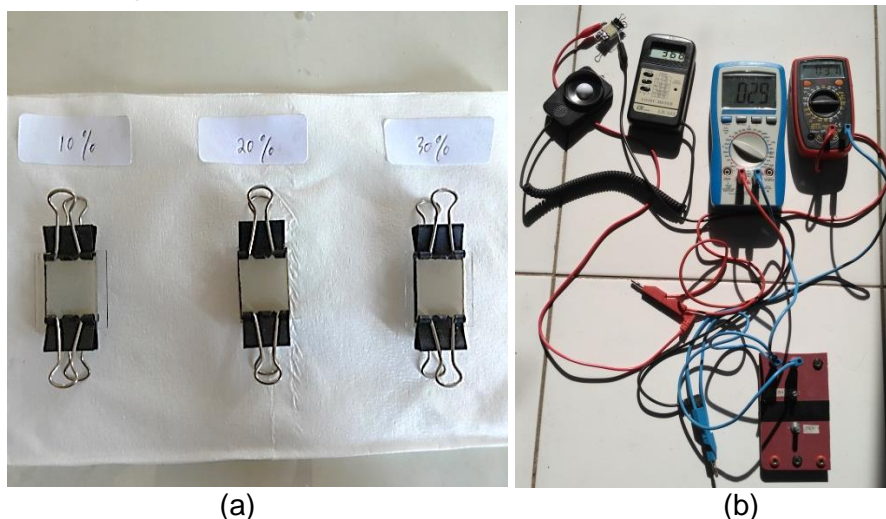
Penetesan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan yaitu pasangan redoks Iodine (I⁻) dan Triiodide (I₃⁻). Penetesan larutan elektrolit sebanyak 2 tetes pada sela-sela elektroda kerja dan elektroda karbon yang telah disusun menjadi lapisan *sandwich*.

Pengujian Arus dan Tegangan DSSC

Rangkaian DSSC yang terbentuk diuji arus dan tegangannya dengan menggunakan amperemeter dan voltmeter. Pengujian dilakukan dengan

menggunakan sumber foton cahaya matahari dan lampu halogen. Untuk pengujian arus dan tegangan dengan menggunakan sumber cahaya matahari, rangkaian pengukuran arus dan tegangannya menggunakan potensiometer 10 K Ω yang diputar sehingga hambatannya bervariasi dari 0 Ω sampai hambatan maksimumnya dimana DSSC dirangkai secara seri dengan amperemeter dan potensiometer dan parallel terhadap voltmeter.



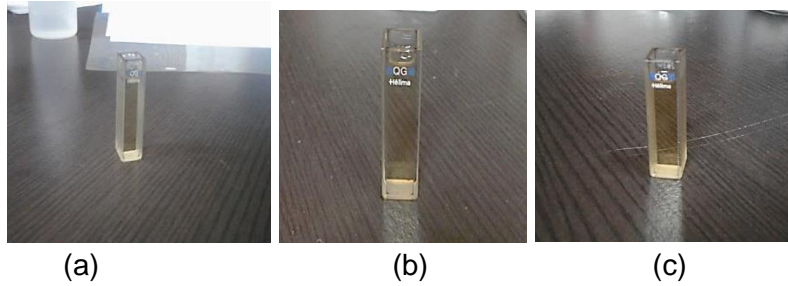
Gambar 1 (a) Lapisan sandwich DSSC; (b) Rangkaian Pengukuran Arus Dan Tegangan DSSC

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian UV-Vis

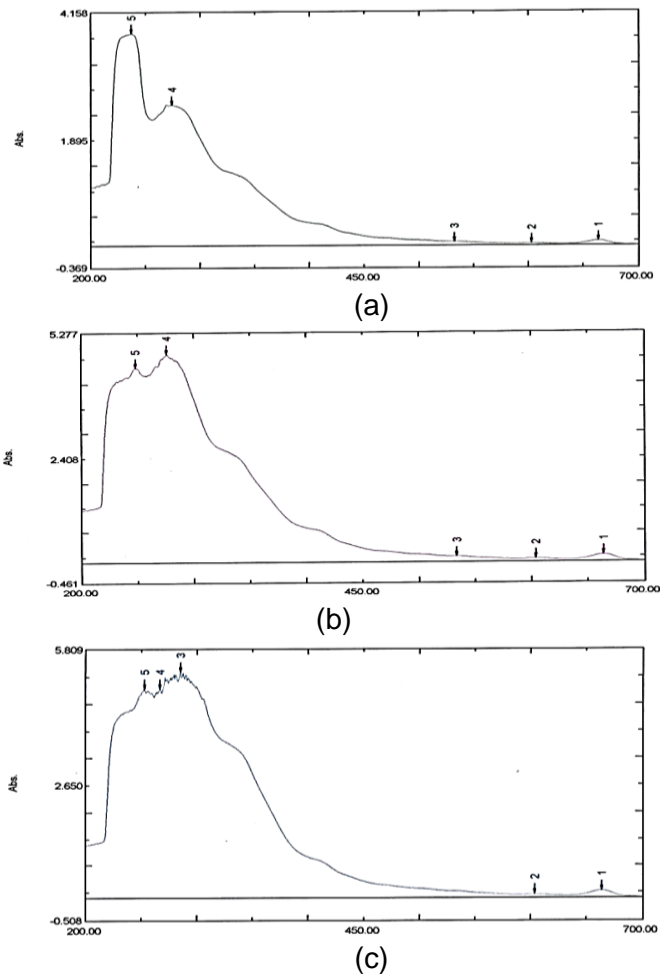
Ekstrak daun pacar kuku yang berfungsi sebagai sensitizer, dapat menyerap dan meneruskan spektrum cahaya tampak. Untuk mengetahui daya absorpsi ekstrak daun pacar kuku terhadap panjang gelombang spektrum cahaya tampak dilakukan pengujian dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis 2600 Series Shimadzu.

Dye dengan konsentrasi 10 %, 20 % dan 30 % diencerkan sebanyak 250 kali. Pengenceran ini dilakukan agar larutan dye tersebut dapat terbaca oleh detektor. Hasil pengenceran ekstrak daun pacar kuku (dye) tersebut berwarna kuning jingga seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 berikut ini:



Gambar 2 Dye dari ekstrak daun pacar kuku: (a) konsentrasi 10%, (b) konsentrasi 20 % dan (c) konsentrasi 30 %

Hasil pengujian UV-Vis yang dibaca oleh detektor, ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara panjang gelombang (nm) terhadap absorbansi seperti yang terlihat pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Grafik hasil pengujian UV-Vis larutan dye ekstrak daun pacar kuku (a) dye dengan konsentrasi 10 %, (b) dye dengan konsentrasi 20 % dan (c) dye dengan konsentrasi 10 %.

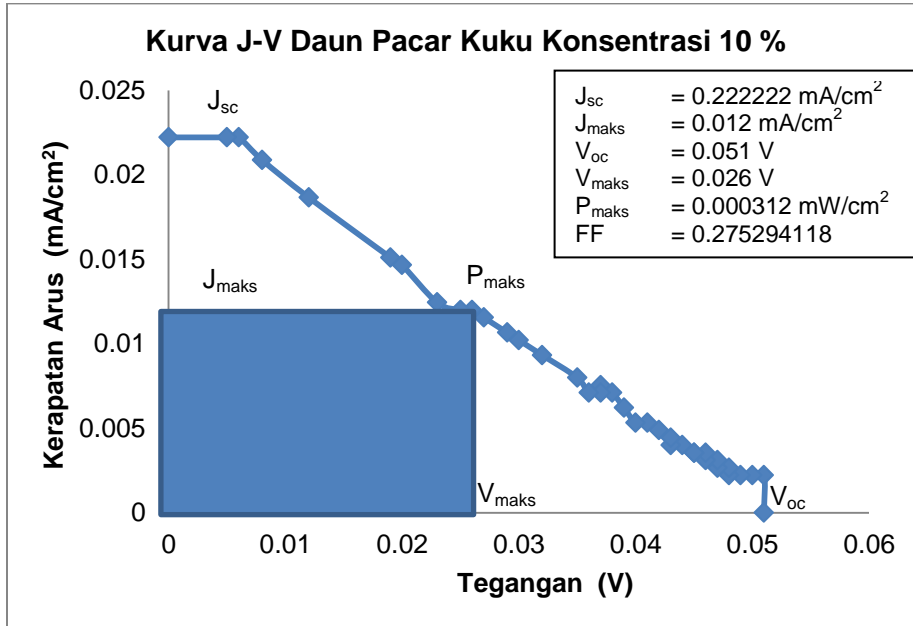
Spektrum absorbansi ekstrak daun pacar kuku diukur pada rentang panjang gelombang 200-700 nm. Berdasarkan gambar 3, hasil pengujian tersebut memperlihatkan bahwa spektrum serapan ekstrak daun pacar kuku dengan konsentrasi 10 %, 20 % dan 30 % terletak pada panjang gelombang yang hampir sama, dengan tingkat absorpsi yang berbanding terbalik terhadap panjang gelombang. Hal ini telah sesuai dengan Hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa absorbansi berbanding lurus terhadap konsentrasi. Tinggi rendahnya konsentrasi larutan, akan mempengaruhi intensitas serapan, namun tidak mempengaruhi panjang gelombang. Grafik pada gambar 3 menunjukkan bahwa puncak panjang gelombang tertinggi terletak pada daerah dengan panjang gelombang 664 nm dengan tingkat absorpsi 0.160. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun pacar kuku bekerja pada cahaya Visibel atau tampak dengan warna yang diserap yaitu warna merah (610-800 nm). Disamping itu daun pacar kuku juga bekerja pada cahaya UV, hal ini terlihat pada absorpsi cahaya tertinggi terletak pada panjang gelombang 285 nm dengan tingkat absorpsi sebesar 5.282.

Spektrum serapan ekstrak daun pacar kuku cukup lebar yaitu berada pada rentang panjang gelombang 237-664 nm. Semakin banyak puncak yang terbentuk pada serapan panjang gelombang UV dan Visibel, semakin bagus karena *dye* tersebut mampu menyerap lebih banyak energi foton untuk dapat mengeksitasi elektron-elektron dari *dye* agar terjadi pergerakan elektron yang dapat menghasilkan arus listrik. Sehingga dapat dikatakan bahwa ekstrak daun pacar kuku ini juga cukup bagus untuk dijadikan sebagai sensitizer pada DSSC.

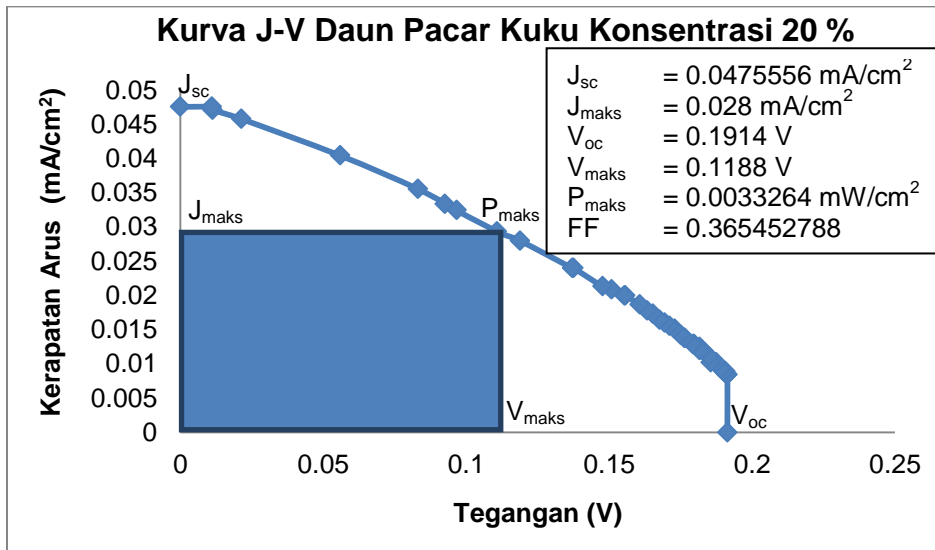
Hasil Pengujian Arus Dan Tegangan

Pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan cara merangkaikan DSSC secara seri terhadap amperemeter dan potensiometer 10 k Ω sedangkan terhadap voltmeter dirangkai secara paralel seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

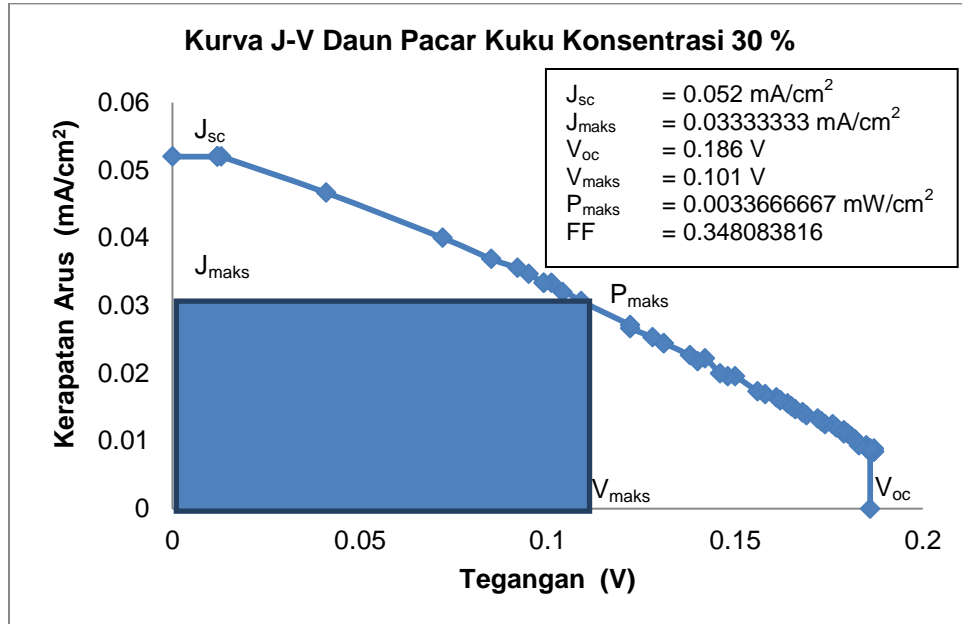
Ketika DSSC disinari cahaya matahari dan menghasilkan arus listrik menunjukkan bahwa telah terjadi eksitasi pada elektron *dye* oleh foton cahaya matahari. Ketika sel dalam kondisi *short circuit* tidak dihasilkan tegangan sehingga arus menjadi maksimum, inilah yang disebut arus *short circuit* (I_{sc}). Sedangkan pada kondisi *open circuit*, tidak ada arus yang mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut dengan tegangan *open circuit* (V_{oc}).



Gambar 4 Kurva J-V daun pacar kuku dengan konsentrasi 10 %



Gambar 5 Kurva J-V daun pacar kuku dengan konsentrasi 20 %



Gambar 6 Kurva J-V daun pacar kuku dengan konsentrasi 30 %

Selanjutnya nilai-nilai yang didapatkan dari grafik inilah yang digunakan sebagai parameter yang akan digunakan dalam menghitung efisiensi DSSC dengan menggunakan persamaan berikut ini:

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

Keterangan:

- η : Efisiensi (%)
- P_{out} : Daya yang dihasilkan sel (mW/cm^2)
- P_{in} : Daya yang diterima sel (W/cm^2)

Tabel 1. Hasil perhitungan efisiensi DSSC dengan ekstrak daun pacar kuku

Konsentrasi (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	Efisiensi (%)
10	0.051	0.0222222	0.275294118	0.000312
20	0.1914	0.0475556	0.365452788	0.0033264
30	0.186	0.052	0.348083816	0.003366667

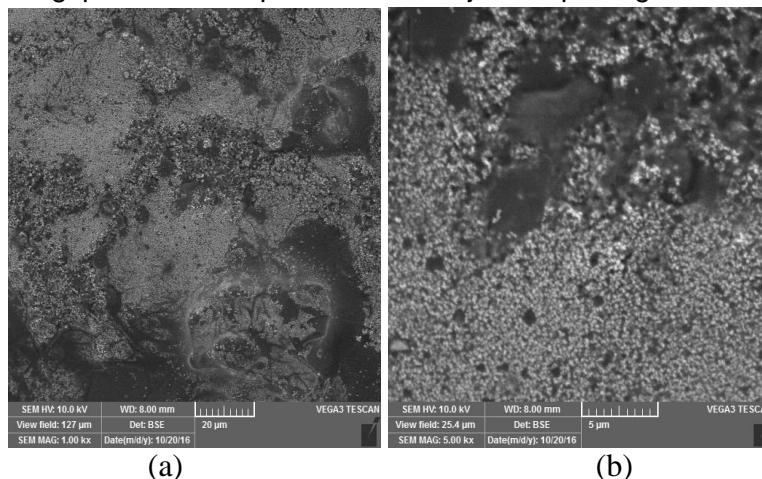
Tabel di atas menunjukkan bahwa pacar kuku dengan konsentrasi 30% memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan pacar kuku dengan konsentrasi 10% dan 20%. Panjang gelombang yang mampu diserap oleh dye dari ekstrak daun pacar kuku terletak pada rentang panjang gelombang 239 nm-664 nm. Sehingga dapat dikatakan bahwa dye tersebut mampu menyerap cahaya tampak

dan cahaya UV. Sehingga kemampuan *dye* dari ekstrak daun pacar kuku untuk mengabsorpsi cahaya cukup baik. Disamping itu, *dye* dengan konsentrasi 30 % mampu melekat banyak pada permukaan TiO_2 sehingga banyak elektron-elektron dari *dye* yang tereksitasi oleh energi foton pada elektroda kerja. Hal ini terlihat pada kerapatan arus yang dihasilkan oleh sel dengan konsentrasi *dye* 30 % yang lebih besar daripada *dye* dengan konsentrasi 10 % dan 20 %.

Hasil Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Tahap akhir penelitian dilakukan dengan cara pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan *dye* pada TiO_2 yang digunakan sebagai elektroda kerja dalam pembuatan DSSC. Pengujian yang dilakukan ini yaitu pada elektroda kerja hasil rendaman pada *dye* konsentrasi 30% karena DSSC dengan konsentrasi ini memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC dengan konsentrasi 10% dan 20%.

Pengujian SEM dilakukan menggunakan alat SEM tipe Vega 3 Tescan. Gambar morfologi permukaan lapisan TiO_2 ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini:



Gambar 5: Hasil pengujian SEM (a) perbesaran 1.000x, (b) perbesaran 5.000x

Hasil permukaan lapisan TiO_2 dan *dye* yang diperoleh pada gambar 5 (a) dengan perbesaran 1.000 x pada skala 20 µm terlihat struktur yang cukup halus. Warna terang menunjukkan TiO_2 sedangkan warna putih menunjukkan *dye* pada permukaan partikel-partikel TiO_2 . Dari gambar tersebut terlihat bagian dimana *dye* tidak seragam pada permukaan partikel TiO_2 . Hal ini disebabkan karena ketebalan lapisan TiO_2 yang tidak rata pada kaca.

Untuk menghasilkan arus dan tegangan yang efisien pada DSSC, dibutuhkan kaca konduktif yang memiliki nilai resistansi yang rendah disamping itu dibutuhkan pula keseragaman antara TiO_2 dengan *dye*. Sebab jika pori-pori TiO_2 seragam, maka *dye* yang terserap banyak, sehingga banyak pula elektron yang dapat tereksitasi ketika cahaya matahari menimpa permukaan DSSC tersebut.

Berdasarkan hasil dari gambar 5 (b) dengan perbesaran 5000x pada skala 5 μm terlihat ada bagian antara TiO_2 dan *dye* yang cukup seragam dan ada pula bagian dimana *dye* yang lebih dominan. Perbedaan ini disebabkan karena ketebalan lapisan TiO_2 pada permukaan kaca yang tidak rata. Bagian yang seragam antara TiO_2 dengan *dye* merupakan hasil pelapisan TiO_2 yang permukaannya rata. Sedangkan untuk bagian dimana *dye* lebih dominan, merupakan bagian hasil pelapisan TiO_2 yang sangat tipis. Lapisan TiO_2 yang tidak merata ini disebabkan oleh metode pelapisan TiO_2 dengan cara *doctor blade* pada kaca.

4. KESIMPULAN

Hasil akhir yang dapat disimpulkan dari penelitian ini yaitu:

- Konsentrasi pigmen warna (*dye*) berpengaruh terhadap efisiensi, semakin tinggi konsentrasi *dye* yang digunakan, maka semakin tinggi pula efisiensi DSSC yang dihasilkan.
- Efisiensi DSSC untuk *dye* dengan konsentrasi 30 % yaitu 0.003366667 %, untuk *dye* dengan konsentrasi 20 % yaitu 0.0033264 % dan untuk *dye* dengan konsentrasi 10 % yaitu 0.000312 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Fanditya Rakhman, Doddy., dkk. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Klorofil terhadap Daya Keluaran Dye Sensitized Solar Sell (DSSC)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Henni, dkk.2012. *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell(DSSC) Menggunakan Ekstraksi Bunga Sepatu(Hibiscus Rosa Sinensis L) sebagai Dye Sensitized dengan Variasi Lama Absorpsi Dye*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ariya,dkk.2013. *Karakteristik Pasta TiO_2 Suhu Rendah untuk Aplikasi Dye Sensitied Solar Cell (DSSC)*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- O'regandanGratzel, M. 1991. A Low Cost, High Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitized Colloidal TiO_2 Film. *Nature*. vol. 353. Issue 6346, 737.
- Prestiyana, dkk. 2010. Pengaruh Pelarut Metanol dan Metanol-Asam Asetat-Air Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* dari Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus Sabdariffa*). *Jurnal Sains dan Matematika (JSM)*. Volume 18, Nomor 4. Universitas Diponegoro.
- Sakthivel, dkk.2015. Dye Sensitized Solar Cell Properties and Fabrication Using Lawsonia Inermis. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, Vol 5 (2), 85-92. ISSN 2229-760X. India: University Grants Commission (UGC).
- Shadily, Hassan. *Ensiklopedi Indonesia*. IchtiarBaru-Van Hoevedan Elsevier Publishing Projects. Jakarta, 1984. Hal. 2498 dalam Wikipedia (Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Pacar_kuku) (Diakses 4 Januari 2016).

- Smestad, G.P, dan Gratzel, M. 1998. *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Nature Dye Sensitized Nanocrystalline Energy Converter. J. Chem. Educ.* Vol. 75 No. 6. 752-756.
- Zamrani, dkk. 2013. Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) menggunakan Ekstraksi Kulit Buah Manggis sebagai Dye Sensitizer dengan Metode Doctor Balde. *Jurnal Sains dan Seni POMITS* Vol. 1, No. 2. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.