

KARAKTERISASI BUAH SALAK SEBAGAI BAHAN *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Characterization of Salacca Zalacca for Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Nyoman Wendri^{1*}, Putu Ekayani Sri Tussniari², Hery Suyanto³

^{1, 2, 3}Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Email: *wendri@unud.ac.id, pututussniari@gmail.com, hery@unud.ac.id

Abstrak - Telah dilakukan penelitian karakterisasi daging buah salak untuk bahan dasar *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Karakterisasi dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR dan Principle Component Analysis (PCA) dari software unscrambler X.10.5.1. Kulit buah manggis digunakan sebagai validator dari buah salak. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa buah salak merupakan satu kelompok (cluster) dengan kulit buah manggis. Buah salak mempunyai kandungan senyawa yang mirip dengan kulit buah manggis yang dapat digunakan sebagai sensitizer karena mengandung antosianin. DSSC dibuat dengan metode sandwich yang terdiri dari elektroda pembanding, larutan elektrolit dan elektroda kerja. Elektroda kerja dibuat dengan fungsi waktu perendaman ke dalam dye buah salak yaitu 6, 12 dan 24 jam. Data menunjukkan bahwa semakin lama perendaman TiO₂ di dalam dye buah salak semakin besar arus, tegangan maupun efisiensinya. Perendaman selama 24 jam dihasilkan arus, tegangan serta efisiensinya yaitu masing-masing 6 mA, 9,16 V dan 0,011 %

Kata kunci: buah salak, DSSC, PCA, efisiensi, cluster

Abstract- Snake fruit (*salacca zalacca*) characterization for *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) material was conducted using Fourier transform Infrared (FTIR) and Principle Component Analysis (PCA) method. Dragon fruit and mangos teen were used as validator since they are containing anthocyanin. Data shows that snake fruit and mangos teen are in one cluster. Therefore, snake fruit can be used as DSSC material. DSSC fabrication using sandwich method that contains counter electrode, electrolyte and working electrode. The working electrode was made of thin film of titanium dioxide (TiO₂) into indium Tin Oxide (ITO) which then was soaked in dye snake fruit as time function of 6, 12 and 24 hours. Result showed that the longer time of soaking, the current and efficient increased. In twenty four hours soaking, the current, voltage and efficiency were 6 mA, 9.16 V and 0.011 % respectively.

Keywords: snake fruit, DSSC, PCA, efficiency, clustering

1. Latar Belakang

Krisis energi adalah persoalan yang krusial, dimana semakin hari ketersediaan energi semakin menipis seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi di dunia. Persediaan energi di seluruh dunia masih didominasi oleh sumber-sumber energi fosil utama, yaitu minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Energi baru dan terbarukan mulai mendapat perhatian sejak terjadinya krisis energi dunia pada tahun 1970. Energi tersebut diantaranya adalah sumber energi surya, biomassa, angin dan tenaga air [1].

Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia [2]. Dengan melimpahnya energi surya tersebut, Indonesia berpotensi untuk mengembangkan tenaga sel surya baik dengan bahan anorganik maupun organik yang mana sebagai energi alternatif. Bahan anorganik didominasi oleh bahan semikonduktor salah satunya silicon, sedangkan bahan organik merupakan senyawa organik berasal dari sumber hayati yaitu tumbuh-tumbuhan termasuk buah-buahan. Sel surya berbahan anorganik mempunyai efisiensi lebih tinggi dibandingkan berbahan organik. Akan tetapi sel surya anorganik biaya produksinya mahal dan proses fabrikasinya tidak sederhana bila dibandingkan sel surya dengan bahan organik [3].

Sel surya berbahan organik sering disebut *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Keunggulan dari DSSC adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah. Berbeda dengan sel surya anorganik yang berbasis semikonduktor yang mana semua pembuatannya melibatkan bahan silikon, Pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang

terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul zat pewarna (*dye*) dan separasi muatan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki energi gap besar. Salah satu bahan semikonduktor yang sering digunakan adalah TiO_2 (titanium dioksida). Hal ini dikarenakan TiO_2 relatif murah, banyak dijumpai dan juga tidak beracun [3].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menggunakan zat pewarna organik sebagai *sensitizer* sel surya. Sebagian besar senyawa organik berasal dari tumbuhan hayati. Penelitian yang telah ada membuktikan bahwa *dye* yang berasal dari alam dapat digunakan sebagai *fotosensitizer*, misalnya pada penelitian ekstrak buah delima (Arifin, 2011) [4], buah berry (Smestad, dkk, 1998), buah duwet (Garcia, dkk, 2002) [5], dan penelitian Zhou, dkk, (2011) [6], tentang penggunaan 20 pewarna alami dalam DSSC.

Sensitizer DSSC biasanya menggunakan *antosianin* yang berasal dari pigmen alami. Hal ini karena *antosianin* memiliki keunggulan absorpsi yang lebih dari pada klorofil (Hao, dkk, 2006) [7]. Senyawa *antosianin* memiliki gugus karbonil dan hidroksil pada struktur molekulnya, sehingga membuatnya mampu berikatan kimia dengan permukaan TiO_2 . Selain itu, *antosianin* bisa dipergunakan sebagai *sensitizer* akan memiliki spektrum cahaya dalam rentang yang cukup lebar, dari merah hingga biru. Sementara, pada klorofil terdapat gugus alkil pada struktur molekulnya yang tidak bisa berikatan kimia dengan lapisan TiO_2 . Demikian pula, rantai alkena yang panjang yang dimiliki klorofil dan karoten juga mencegah terjadinya ikatan yang efektif ke permukaan TiO_2 . Oleh karena itu, klorofil dan karoten sedikit dapat diserap oleh lapisan TiO_2 (Hao, dkk, 2006) [7]. *Antosianin* juga dapat digunakan sebagai pH-indikator, karena banyak dari *antosianin* mengubah warna tergantung pada pH lingkungan mereka.

Pada penelitian ini mengkarakterisasi buah salak sebagai bahan DSSC dengan *Fast Fourier Transform InfraRed* (FTIR) yang akan diklaster dan divalidasi dengan buah kulit manggis dan naga (Khoiruz Zaidit Taqwa, dkk) [8], Hardani [9] yang sering dimanfaatkan sebagai bahan DSSC serta aplikasinya untuk menghasilkan listrik. Pengelompokan (*clustering*) dengan menggunakan *software Unscrambler X.10.5.1*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Dye sensitized solar cell (DSSC)

Grätze [3] menemukan bahwa TiO_2 (*titanium dioksida*) yang dilapisi oleh *dye* dalam larutan elektrolit dapat menghasilkan arus listrik dengan efisiensi 7,1 %. *Solar cell* ini kemudian disebut sebagai *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Peningkatan efisiensi dari DSSC terus dikembangkan. Hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan yaitu 10 %.

Dye sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang tersensitasi oleh *dye*. Sel surya ini dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. DSSC tersusun dari tiga komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*counter electrode*) dan larutan elektrolit. Elektroda kerja merupakan lapisan tipis TiO_2 pada konduksi substrat kaca transparan (*Transparent Conductive Oxide, TCO*) seperti *indium Tin Oxide* (ITO) yang mengadsorpsi *dye* kompleks sebagai *sensitizer*. Sedangkan elektroda pembanding pada sel Grätzel berupa konduksi substrat kaca transparan yang dilapisi karbon sebagai katalis reaksi redoks. Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks I^-/I_3^- dalam pelarut organik.

2.2 Dye antosianin buah salak (*salacca zalacca*)

Sinar matahari menghasilkan 5 % spektra di daerah ultraviolet dan 45 % di daerah cahaya tampak. TiO_2 hanya menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm), oleh karena itu untuk meningkatkan serapan spektra, maka TiO_2 perlu dilapisi *dye* sebagai *sensitizer*. *Sensitizer* yang digunakan dalam sel surya bisa berupa senyawa kompleks organik maupun *dye* organik. *Sensitizer* tersebut bisa mensensitisasi *solar cell* secara efektif jika *dye* terjadi ikatan dengan TiO_2 [10].

Molekul *dye* yang teradsorpsi pada permukaan TiO_2 berfungsi menyerap cahaya tampak, memompa elektron ke dalam semikonduktor (TiO_2), menerima elektron dari pasangan redoks dalam larutan, dan seterusnya dalam suatu siklus, sehingga *dye* berperan sebagai pompa elektron molekuler. *Sensitisasi* semikonduktor biasanya menggunakan *antosianin* yang berasal dari pigmen alami. *Antosianin* memiliki keunggulan yang lebih dari klorofil sebagai *sensitizer* DSSC [7]. Sehingga *Dye* yang dipakai harus mempunyai kandungan *antosianin* yang tinggi, mempunyai serapan yang kuat di daerah cahaya tampak, stabilitas tinggi dan reverseibilitas dalam bentuk teroksidasinya. *Dye* yang digunakan dalam DSSC mempunyai gugus kromofor terkonjugasi sehingga memungkinkan terjadinya transfer elektron. Salah satu contoh pewarna organik dengan kandungan antosianin tinggi yaitu daging buah salak (*salacca zalacca*), yang mempunyai gugus kromofor yang terkonjugasi sehingga dapat melakukan transfer elektron.

Salak merupakan tumbuhan yang dapat tumbuh didataran rendah sampai lebih dari 800 meter diatas permukaan laut. Habitat Salak pada menyukai tanah yang subur, gembur dan lembab. Derajat keasaman yang cocok untuk budidaya salak adalah 4,5-7,5. Salak menyukai sinar matahari yang cukup tetapi tidak langsung. Cahaya optimal 70% dengan suhu harian rata-rata 20 - 30°C [11]. Salak yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Karangasem Bali.

2.2 Kinerja DSSC

Kinerja sel surya dapat ditentukan berdasarkan efisiensi konversi energi cahaya ke energi listrik. Nilai efisiensi η dari sebuah sel surya dihitung dengan persamaan (1) [12].

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{LIGHT}} \times 100 \% \quad (1)$$

Dengan P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan sel surya (dalam watt) yang dinyatakan dengan persamaan (2):

$$P_{MAX} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (2)$$

Dimana $P_{Light} = P_{input}$ adalah daya dari sinar yang mengenai sel surya (dalam watt), dan FF (*Fill Factor*) adalah ukuran kuantitatif kualitas sel surya, yang ditentukan dengan persamaan (3).

$$FF = \frac{(V_{MAX} \times I_{MAX})}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (3)$$

Dimana I_{max} adalah arus yang dihasilkan pada saat daya maksimum dari solar sel, V_{max} adalah tegangan yang dihasilkan pada saat daya maksimum dari solar sel, I_{SC} adalah arus yang dihasilkan ketika terjadi hubungan pendek (beban mendekati 0Ω), dan V_{OC} adalah tegangan yang dihasilkan ketika belum terjadi aliran arus.

3. Prosedur Penelitian

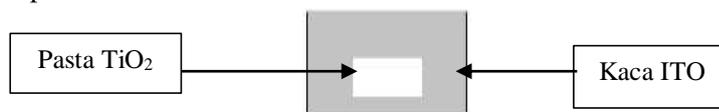
Prosedur penelitian untuk fabrikasi DSSC dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: pembuatan ekstrak dye, pembuatan pasta TiO_2 dan deposisi lapisan tipis TiO_2 . Preparasi elektrolit, pembuatan pasta *carbon* dan deposisi lapisan tipis *carbon*.

A. Pembuatan ekstrak dye

Buah salak masa 5 kg diiris tipis-tipis kemudian dikeringkan di dalam ruangan hingga 2-3 minggu dan kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk dengan blender. Bubuk daging buah salak diambil sebanyak 50 gr, kemudian ditambahkan 105 ml *aquades* dan 21 ml *ethanol*, selanjutnya diaduk selama 10 menit kemudian direndam selama 24 jam. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring *whatman* dengan mesh 125. Hasil ekstraksi disimpan dalam botol dan selanjutnya dievaporasi untuk mendapatkan larutan ekstrak daging buah salak yang kental. Hasil ekstrak disimpan dalam lemari es agar tidak membusuk [13].

B. Pembuatan pasta TiO_2 dan deposisi lapisan tipis TiO_2

Bubuk TiO_2 sebanyak 3,5 gram ditetesi 15 ml *ethanol* sambil diaduk selama lebih kurang 30 menit hingga terbentuk pasta TiO_2 . Pasta TiO_2 yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam botol dan ditutup [14]. Kaca ITO bagian konduktifnya diberi pembatas berbentuk persegi $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dengan selotip ketebalan $50 \mu\text{m}$. Selanjutnya pasta TiO_2 ditetaskan di atas kaca ITO tersebut, kemudian dilakukan perataan dengan menggunakan mortir/penggilingan yang berupa spatula dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 1. Setelah kering selotip dilepaskan dari kaca ITO.



Gambar 1. Skema Area deposisi pasta TiO_2 [14].

Setelah terbentuk lapisan TiO_2 pada kaca ITO, selanjutnya kaca ITO direndam ke dalam larutan *dye* salak dengan variasi waktu 6, 12 dan 24 jam.

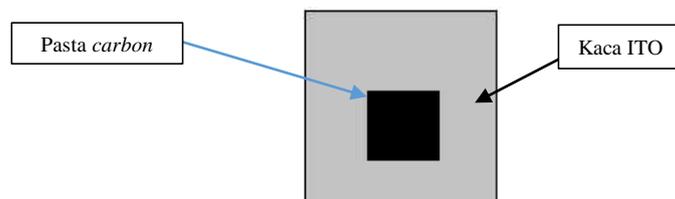
C. Preparasi elektrolit

Potassium iodide (KI) sebanyak 0,8 gram (0,5 M) dicampur kedalam 10 ml *polyethylene glycol* 4000 kemudian diaduk, selanjutnya kedalam larutan tersebut ditambahkan *iodine* (I_2) sebanyak 0,127 gram (0,05 M). Larutan elektrolit yang sudah jadi disimpan dalam botol tertutup [14].

D. Pembuatan pasta carbon dan deposisi lapisan tipis carbon

Bubuk *carbon* 3,5 gram ditetesi 15 ml isopropanol sambil diaduk selama \pm 30 menit hingga larutan larut dan sedikit mengental [14].

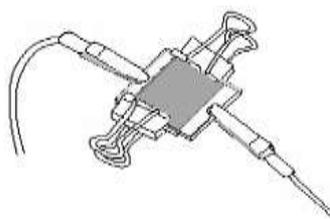
Kaca ITO bagian konduktifnya diberi pembatas berbentuk persegi $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dengan selotip ketebalan 50 μm . Pasta carbon ditetaskan di atas kaca ITO, kemudian dilakukan *slip casting* dengan menggunakan mortir/penggilingan yang berupa spatula yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Area Deposisi Pasta Carbon [14].

E. Fabrikasi DSSC

Konstruksi sel surya yang digunakan adalah sistem *sandwich* dengan urutan: elektroda kerja yang telah terlapiasi *dye-spacer/gasket* (*screen proyektor*)-larutan elektrolit - elektroda pembanding. Penggunaan *spacer* bertujuan agar tidak terjadi short pada sel DSSC. Kontak pada sel dibuat dengan menggunakan penjepit buaya pada tepi elektroda lawan dan elektroda kerja. Dengan ilustrasi gambar seperti ditunjukkan Gambar 3.



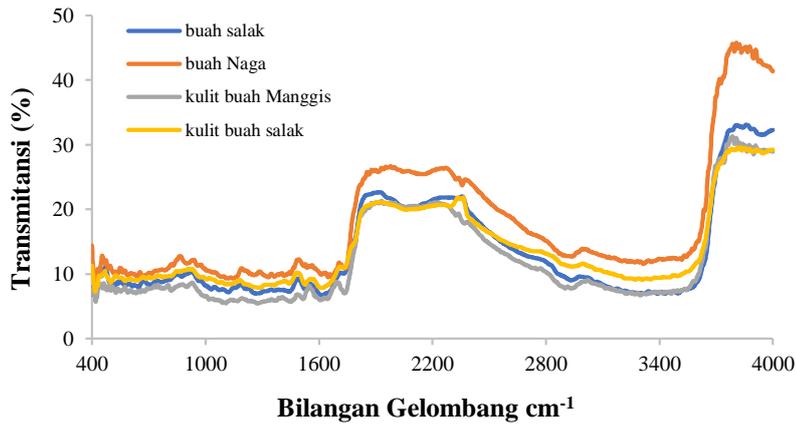
Gambar 3. Sandwich DSSC [14].

4. Hasil dan Diskusi

4.1 Karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

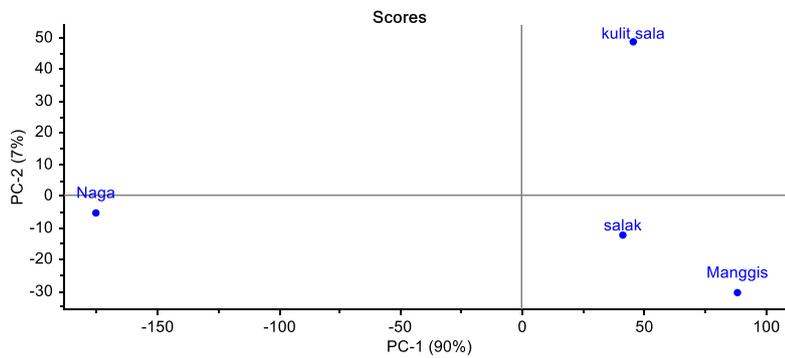
Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) berfungsi untuk mengetahui ikatan kimia yang dapat ditentukan dari spektra vibrasi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada bilangan gelombang tertentu. Selain itu digunakan juga untuk analisa kuantitatif yaitu melakukan perhitungan tertentu dengan menggunakan nilai intensitas puncak serapan. Karakterisasi menggunakan FTIR dapat dilakukan dengan menganalisis spektra yang dihasilkan sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi, karena senyawa tersebut dapat menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah inframerah dengan bilangan gelombang antara $500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Oleh karena itu sebelum menggunakan buah salak sebagai bahan *dye Sensitized solar cell* (DSSC) terlebih dahulu dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR dan *clustering* menggunakan *software unscrambler*. Tujuan karakterisasi menggunakan gabungan antara FTIR dan *software* ini adalah untuk mengetahui apakah buah salak satu kelompok dengan bahan organik yang sering digunakan sebagai bahan dasar DSSC yaitu diantaranya kulit buah manggis dan buah Naga [8-9].

Selanjutnya, buah salak, kulit buah manggis dan buah naga dipotong kecil-kecil kemudian dikeringkan pada suhu ruang ($27-29 \text{ }^\circ\text{C}$) yang kemudian dibuat serbuk. Serbuk-serbuk tersebut dianalisis menggunakan FTIR dengan perbandingan sampel dan KBr yaitu 3:2, dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan spektra yang ditunjukkan pada Gambar 4, terlihat bahwa buah salak mempunyai pola yang mirip dengan buah naga maupun kulit buah manggis. Akan tetapi belum diketahui secara jelas

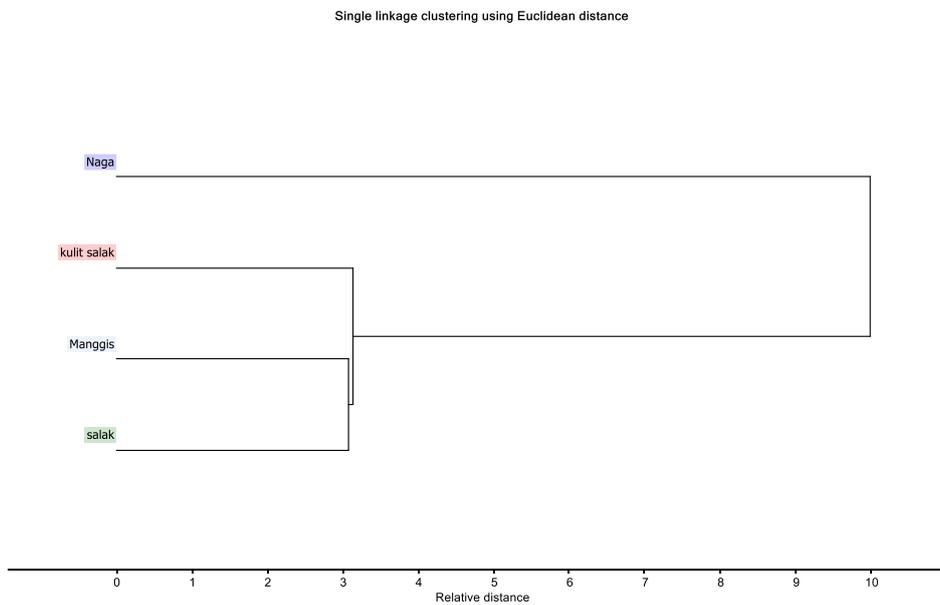


Gambar 4. Spektra FTIR sampel buah salak, kulit buah salak, kulit buah manggis dan buah naga.

apakah buah salak tersebut satu grup atau satu kelompok dengan salah satu buah tersebut. Untuk memastikan hal ini, maka data spektra tersebut diolah dengan *software unscrambler X.10.5.1* untuk melihat pengelompokannya melalui metoda PCA dan *clustering* yang hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5a dan 5b.



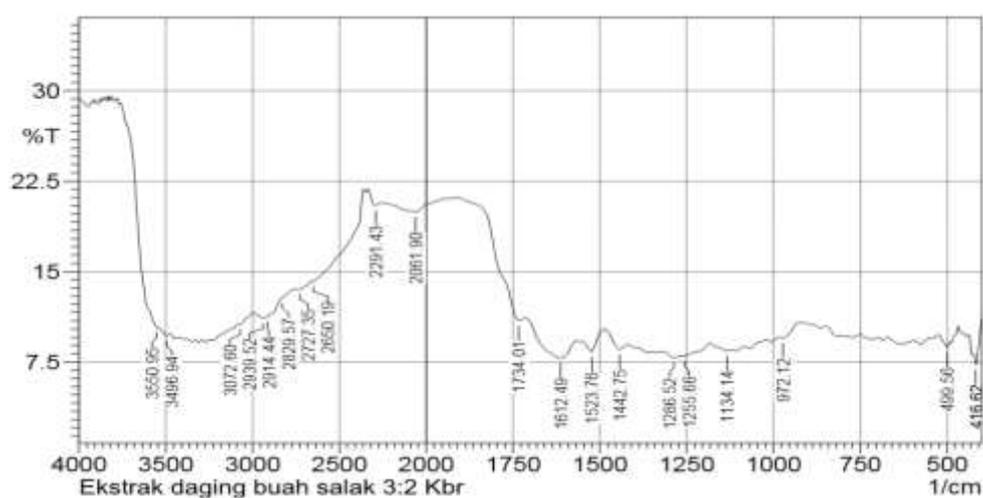
Gambar 5. a. *Principle Componen Analysis* (PCA) untuk buah salak, kulit buah salak, kulit buah manggis dan buah naga.



Gambar 5 b. *Clustering* untuk buah salak, kulit buah salak, kulit buah manggis dan buah naga.

Berdasarkan Gambar 5a, terlihat bahwa PC 1 dan PC 2 dapat mengklarifikasi data sebanyak 97 % dan menunjukkan bahwa buah salak berada pada kwadran yang sama dengan kulit buah manggis. Hal ini dimungkinkan ke dua buah ini mempunyai banyak kesamaan kandungan senyawa maupun konsentrasinya. Untuk melihat lebih dalam pengelompokan bahan ini, maka dilakukan pengelompokan (*clustering*) dengan metoda *herarchical single-linkage* dengan *Euclidean distance* yang hasilnya seperti pada Gambar 5b. Berdasarkan *Dendogram* pada Gambar 5b, bahwa buah salak merupakan satu kelompok dengan kulit buah manggis, sehingga buah salak dapat digunakan untuk bahan dasar DSSC.

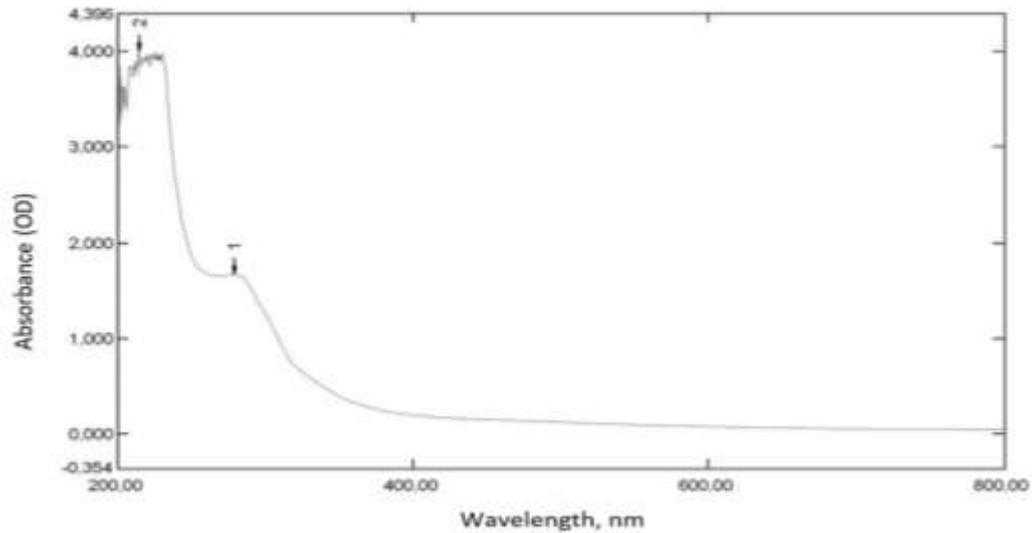
Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil analisis grafik FTIR dari Gambar 4, maka perlu dianalisis gugus fungsi dari masing-masing bilangan gelombang khususnya untuk buah salak dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 tampak bahwa, gugus fungsi dari buah salak adalah gugus fungsi cincin aromatik pada bilangan gelombang $1523,76\text{ cm}^{-1}$ dengan nilai intensitas 8,31%, dan pada bilangan gelombang $3072,6\text{ cm}^{-1}$ dengan nilai intensitas 10,61%. Selain itu, didapatkan pula gugus fungsi fenol pada bilangan gelombang $2061,90\text{ cm}^{-1}$ dengan nilai intensitas 19,9%, dan pada bilangan gelombang $2291,43\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 6. Spektrum FTIR dari bubuk buah salak.

dengan nilai intensitas 20,4%. Dengan diperolehnya gugus fungsi cincin aromatik dan fenol (monomer), maka gugus fungsi *dye* buah salak yaitu cincin aromatik termasuk dalam gugus fungsi yang berperan dalam antosianin pada DSSC. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Seafast [15].

Tahap selanjutnya buah salak diekstrak dengan etanol 96% untuk persiapan pembuatan DSSC. Akan tetapi sebelum diterapkan pembuatan DSSC, hasil ekstrak buah salak ini dikarakterisasi terlebih dahulu dengan UV-VIS untuk memastikan adanya absorpsi oleh antosianin dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 memperlihatkan bahwa *dye* buah salak menyerap cahaya pada panjang gelombang $279,00\text{ nm}$ dengan nilai absorpsi sebesar 1,672. Untuk itu *dye* buah salak dapat digunakan untuk memodifikasi struktur semikonduktor TiO_2 .



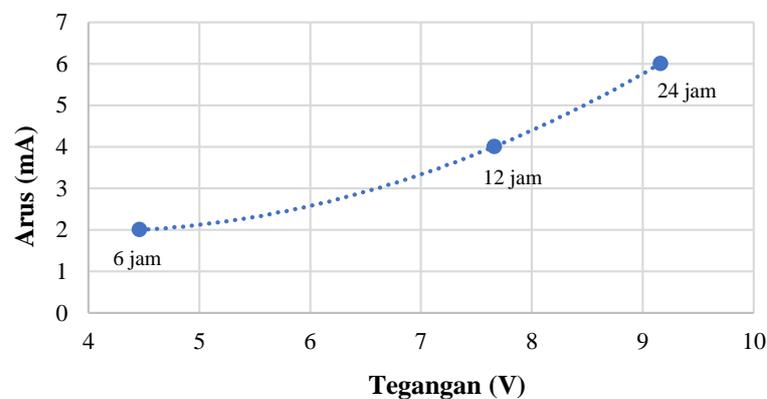
Gambar 7. Spektrum Absorbansi buah salak dengan UV-VIS.

4.2. Karakterisasi arus-tegangan dari DSSC buah salak

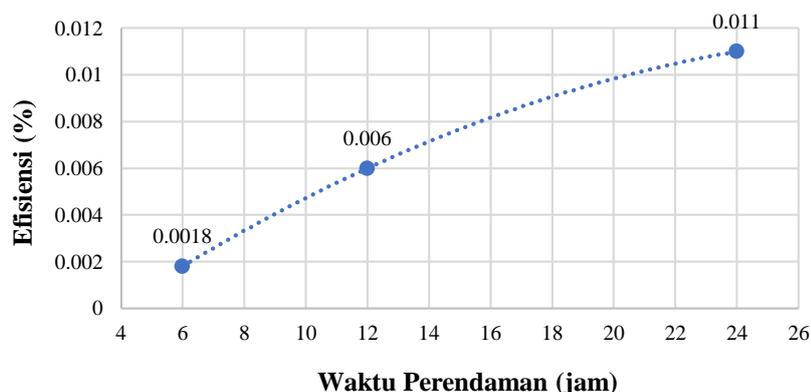
Setelah diyakini bahwa buah salak dapat digunakan sebagai bahan dasar DSSC, maka selanjutnya dibuat DSSC dengan metode seperti diuraikan pada bagian metode. Setelah DSSC terpasang, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan dalam hal mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu putih, dan DSSC berhasil mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik yang mana ditunjukkan adanya nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Besarnya tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh waktu perendaman TiO_2 dalam *dye*. Pada Tabel 1, juga menampilkan nilai efisiensi DSSC yang dihitung berdasarkan persamaan 1. Selanjutnya berdasarkan data pada Tabel 1, dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus fungsi perendaman serta efisiensi dan hasilnya seperti pada Gambar 8 dan 9.

Tabel 1. Tegangan, kuat arus, intensitas penerangan dan efisiensi yang dihasilkan dari lampu warna putih terhadap waktu perendaman DSSC buah salak.

No	Warna Lampu	Waktu Rendam (Jam)	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	E (lux)	η (%)
1	Putih	6	4,46	2	4,038	0,002
		12	7,66	4	4,038	0,006
		24	9,16	6	4,038	0,011



Gambar 8. Grafik hubungan antara tegangan terhadap arus fungsi waktu perendaman lapisan TiO_2 pada *dye* buah salak.



Gambar 9. Grafik hubungan antara waktu perendaman dan efisiensi DSSC.

Dari Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8, menunjukkan bahwa arusnya meningkat dengan bertambahnya waktu perendaman TiO_2 pada *dye* buah salak. Ini membuktikan bahwa semakin lama perendaman, maka semakin banyak antosianin dari *dye* buah salak yang melapisi substrat TiO_2 sehingga semakin banyak cahaya yang diserap oleh *dye* ini dan ditransfer ke TiO_2 dan sebagai akibatnya banyak elektron yang mengalir menghasilkan arus listrik. Meningkatnya arus ini akan menyebabkan meningkatnya efisiensi dari sistem DSSC ini seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

5. Kesimpulan

Buah salak adalah sejenis dengan kulit buah manggis, yang mana dapat dimanfaatkan sebagai *sensitizer* DSSC. Data menunjukkan bahwa semakin lama perendaman TiO_2 ke dalam *dye* buah salak semakin besar baik arus maupun efisiensinya. Pada waktu perendaman 24 jam dihasilkan arus 6 mA dan tegangan 9,16 V serta efisiensinya sebesar 0,011 %.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Udayana atas dana penelitian “Penelitian Unggulan Program Studi (PUPS)” dengan no. Kontrak: 2043/UN14.2.8.II/LT/2018.

Daftar Pustaka

- [1] Kusumandari, A., 2012. Penanganan Konservasi Tanah dan Air Berbasis Unit Ekologis di Sub DAS Ngrancah. Disertasi. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [2] Irawan, R., Ira, F., 2006. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Indonesia. Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan. Jakarta. hal. 43-52.
- [3] Gratzel, M., 2003. Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. Vol.4. hal. 145-153.
- [4] Arifin, S. 2011. Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Antosianin Pomegranate Fruits (Buah Delima) Sebagai Dye-Sensitizer Terhadap Efisiensi Sel Surya Jenis Dss (DyeSensitized Solar Cell). Skripsi. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- [5] Garcia, C. G., Polo, A. S., Murakami Iha, N. Y. 2002. Photoelectrochemical solar cell using extract of *Eugenia jambolana*, Lam as a natural sensitizer, *An. Acad. Bras. Cienc*, 75, 163-165.
- [6] Zhou, W., Ananingsih, V.K., 2011. Effects of green tea extract on large-deformation rheological properties of steamed bread dough and some quality attributes of steamed bread. In 11th International Congress on Engineering and Food, (pp. 647648). Athens, Greece.
- [7] Hao, S., Wu, J., Huang, Y., Lin, J. 2006. Natural dyes as photosensitizers for dyesensitized solar cell. *Journal Solar Cells and Solar Energy Materials*. Vol 80. hal. 209 – 214.
- [8] Khoiruz Zadit Taqwa, Bambang Arip Dwiyantoro 2015. Studi Eksperimental Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Performa DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) dengan Ekstrak Buah dan Sayur Sebagai Dye Sensitizer. *Journal Teknik ITS*, vol.14,no 1 2015, DOI:10.12962/j23373539.v4i1.8635
- [9] Hardani, Alpiana Hidayatulloh, lily Maesari A, 2018. The Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cell (Dssc) Improvement as A Light Party TiO_2 -Nano Particle with Extract Pigment Mangostana Peel

- (Garcinia Mangostana) With Various Solvents. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan, JBAT* 7(2) 2018, 142 – 148. DOI 10.15294/jbat.v7i2.14488.
- [10] Smestad, G.P., Gratzel, M. 1998. Demonstrating electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline energy Converter. *J.Chem. Educ.*, 75, hal 752-756.
- [11] Soetomo, Moch, H.A. 2001. *Teknik Bertanam Salak*. Sinar Baru Algensindo. Bandung.
- [12] Christiana Honsberg and Stuart Bowde, 2018. Solar Cell Efficiency <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>.
- [13] Rahman, H, 2013. Pengaruh Pemberian Space (Bantalan) untuk Mendapatkan Kestabilan Arus dan Tegangan Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana L.*) sebagai Dye Sensitizer. Tugas Akhir. Intitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [14] Nugrahawati, D, 2012. Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Mawar Merah (*Rosa Damascena Mill*) Sebagai Pewarna Alami Berbasis Antosianin. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [15] Seafast, C, 2012. Merah Ungu Antosianin, (online), <https://seafast.ipb.ac.id/tpc-project/wpcontent/uploads/2013/03/06-merah-ungu-antosianin.pdf> Diunduh pada tanggal 1 Desember 2017.