

Fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berdasarkan Fraksi Volume TiO₂ Anatase-Rutile dengan *Garcinia mangostana* dan *Rhoeo Spathacea* sebagai *Dye Fotosensitizer*

Sustia Agustini, Doty Dewi Risanti, dan Dyah Sawitri

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: risanti@ep.its.ac.id

Abstrak—Sejak pertama kali dikembangkan, usaha untuk meningkatkan efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) terus dilakukan. Mulai dari pemilihan bahan pewarna, jenis semikonduktor yang digunakan, desain *counter* elektroda, struktur sandwich atau yang lainnya. Anatase dan rutile adalah fase dari TiO₂ yang sering digunakan untuk fabrikasi DSSC. Penelitian ini menggunakan kulit manggis dan *Rhoeo spathacea* yang diekstrak menggunakan ethanol sebagai pewarna alami yang mengandung antosianin. Pewarna tersebut dikarakterisasi menggunakan UV-Vis dan FTIR, dan menunjukkan absorpsi pada panjang gelombang 392 nm untuk kulit manggis dan 413 nm untuk *Rhoeo spathacea*. TiO₂ disintesis menggunakan metode *co-precipitation*. Ukuran partikel yang dihasilkan adalah 11 nm untuk anatase and 54,5 nm untuk rutile dengan menggunakan persamaan Scherrer. DSSC difabrikasi dengan variasi fraksi volume TiO₂ anatase dan rutile. DSSC diuji dibawah cahaya matahari dengan daya sebesar 17 mW/cm². Kurva arus-tegangan (I-V) DSSC yang dihasilkan fraksi volume 75%:25% memperlihatkan hasil terbaik dibanding yang lain. Efisiensi tertinggi adalah 0.037% dan 0.013% dihasilkan oleh DSSC dengan pewarna alami dari kulit manggis dan *Rhoeo spathacea*.

Kata kunci: DSSC, kulit manggis, *Rhoeo spathacea*, fraksi volume, anatase, rutile

I. PENDAHULUAN

DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) mulai dikembangkan Grätzel dan O'Regan pada tahun 1991. Pembuatan jenis sel surya tersensitisasi ini tergolong mudah dan tidak membutuhkan biaya mahal. DSSC tersusun dari beberapa komponen antara lain, semikonduktor oksida, lapisan *dye* (pewarna), *counter* elektroda, dan elektrolit. Dalam hal ini, pewarna memiliki peranan penting sebagai penyerap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Pada penelitian yang pernah dilakukan, pewarna dari senyawa *ruthenium complex* dapat mencapai efisiensi 11-12% [1,2]. Namun, jumlah pewarna *ruthenium complex* terbatas dan harganya cukup mahal.

Dengan alasan tersebut, penelitian berkembang ke arah pencarian pewarna alami yang diekstrak dari bunga, daun dan buah-buahan [3]. Pewarna alami yang digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC tergolong ramah lingkungan, pembuatannya pun mudah dan murah meskipun *lifetime*-nya

rendah [3-6]. Beberapa bahan alami yang telah dimanfaatkan sebagai pewarna antara lain kulit manggis, *Rhoeo spathacea*, buah delima, lobak merah (*red turnip*) dengan efisiensi berturut-turut mencapai 1,17%, 1,49%, 1,50%, dan 1,70% [5].

Kulit manggis dan *Rhoeo spathacea* merupakan tumbuhan yang melimpah di Indonesia. Total panen manggis di Indonesia mencapai 79.073 ton [7]. Sedangkan untuk keberadaan *Rhoeo spathacea* di Indonesia cukup banyak dan mudah berkembang biak meski belum ada nilai pasti yang menunjukkan berapa jumlah sebenarnya.

Cara meningkatkan efisiensi sel surya tidak hanya melalui variasi pewarna yang digunakan. TiO₂ adalah salah satu semikonduktor oksida yang dianggap paling baik efisiensinya di antara semikonduktor lainnya [6]. Secara umum, struktur kristal TiO₂ dibagi menjadi tiga fase yaitu rutile, anatase, dan brookite.

Usaha untuk meningkatkan efisiensi dari DSSC akan terus dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diformulasikan ekstrak antosianin kulit manggis dan *Rhoeo spathacea* untuk pewarna alami sebagai *sensitizer* pada DSSC. Selain itu, pengaruh fraksi volume dari struktur kristal TiO₂ juga akan dipelajari. Fase anatase yang memiliki kemampuan mengadsorpsi pewarna yang lebih banyak dan koefisien difusi elektronnya tinggi akan dikombinasikan dengan fase rutile yang stabil dan *bandgap*-nya sesuai untuk menyerap spektrum cahaya matahari. Hal ini dilakukan untuk melihat performansi DSSC jika terdapat penggabungan antara anatase dan rutile sebagai semikonduktor oksidanya.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Ekstraksi Pewarna Kulit Manggis dan Daun *Rhoeo Spathacea*

Bahan pewarna alami yang digunakan adalah kulit manggis dan daun *Rhoeo spathacea*. Kulit manggis dikeringkan pada temperatur 80°C selama 10 jam dan 5 jam untuk daun *Rhoeo spathacea*. Kemudian kulit manggis kering ditumbuk hingga menjadi bubuk. Sebanyak 10 gram bubuk kulit manggis dilarutkan dalam 50 ml ethanol 96%, begitu pula untuk daun *Rhoeo spathacea*. Selanjutnya larutan pewarna diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 60°C selama

30 menit. Larutan yang telah diaduk didinginkan selama 20 menit kemudian disimpan selama 7 hari dan disaring.

B. Sintesis TiO₂ dengan Metode Co-Precipitation

Nanopartikel TiO₂ disintesis dengan metode kopresipitasi. TiCl₃ sebanyak 10 ml diaduk bersama dengan 4,7 ml aquades dan 0,3 ml HCl 37% dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 2-3 menit pada temperatur 45°C. Kemudian ditambahkan 20 ml HCl 37% dalam posisi terus mengaduk. Setelah larutan berwarna ungu encer kemudian ditambahkan NH₄OH 25% sebanyak 50 ml dan terus diaduk hingga berwarna ungu hitam. Larutan terus ditetesi NH₄OH hingga larutan berwarna putih dan mulai menghasilkan endapan. Selanjutnya proses dihentikan dan larutan dibiarkan mengendap [8]. Setelah mengendap, endapan dan cairan NH₄OH dipisahkan. Endapan tersebut dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 5 jam untuk mendapatkan fasa anatase dan 1000°C selama 7 jam untuk mendapatkan fasa rutile [9,10].

C. Pelapisan TiO₂ pada Kaca TCO dan Perendamannya di dalam Pewarna Alami

Pada tahap pelapisan ini, TiO₂ dijadikan pasta dengan cara melarutkan 2 gram bubuk TiO₂ dalam 0,7 ml aquades dan digerus di mortar. Ditambahkan 1 ml CH₃COOH 98% dan 0,1 ml Triton X-100 pada pasta. Untuk melapiskan pasta TiO₂, kaca TCO harus dibersihkan dengan menggunakan ethanol 96%. Pasta TiO₂ dilapiskan pada kaca TCO dengan ukuran 0,5x0,5 cm² menggunakan metode *doctor blade*. Pada pelapisan tersebut, terdapat lima campuran (fraksi volume) fase anatase dan rutile dengan perbandingan anatase:rutile yaitu 100%:0%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25% dan 0%:100%. Kaca TCO yang sudah terlapis TiO₂ dianil pada temperatur 225°C selama 2 menit kemudian didinginkan selama beberapa menit. Selanjutnya, kaca TCO direndam di dalam larutan pewarna selama 12 jam [8].

D. Perakitan DSSC

DSSC dirakit menggunakan struktur *sandwich* dengan menggunakan elektrolit I-/I₃⁻ dan katalis Pt pada *counter electrode* (elektroda pembanding). Elektrolit dibuat dengan melarutkan 0,8 gram KI (0.5M) dan 0.127 gram I₂ (0.05M) ke dalam acetonitril. Kaca TCO yang sudah dilapisi TiO₂ dan pewarna direkatkan dengan TCO yang berlapis platina. Kemudian, elektrolit diisi melalui celah di antara kedua kaca TCO.

E. Karakterisasi dan Pengukuran Pewarna Kulit Manggis dan *Rhoeo spathacea* dan TiO₂

Pada penelitian ini, jenis karakterisasi yang dilakukan adalah UV-vis *Spectrophotometer*, XRD, FTIR, BET dan AFM. Pengujian UV-vis *Spectrophotometer* dilakukan untuk mengetahui spektrum absorbansi dari pewarna alami menggunakan UV1100 *Spectrophotometer* pada panjang gelombang 300 nm hingga 800 nm.

Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada pewarna dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia yang terdapat pada pewarna alami. Selain itu, FTIR juga dapat

digunakan untuk mengetahui fasa TiO₂ anatase dan rutile. Pengujian ini menggunakan Thermo Nicolet i510.

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui tingkat kristalinitas, ukuran partikel, persentase fasa dari suatu bahan yang disini adalah TiO₂ dengan fasa anatase dan rutile. Pengujian XRD ini menggunakan Philips X'pert MPD pada sudut 15° hingga 65°. Hasil pengujian XRD ini berupa grafik yang nantinya akan digunakan untuk menghitung ukuran kristal TiO₂ dengan persamaan Scherrer [11]:

$$D = \frac{k\lambda}{\cos(\theta) * FWHM} \quad (1)$$

dengan D adalah ukuran kristal suatu bahan (nm), k adalah konstanta (k=0,89), λ adalah panjang gelombang sinar-X (Cu Kα) yang bernilai 0,154 nm, FWHM adalah *Full Width Half Maximum* (dalam radian), dan θ adalah sudut difraksinya. Untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk digunakan *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) 21-1272 dan 21-1276 untuk anatase dan rutile.

Pada penelitian ini, *Atomic Force Microscopy* (AFM) digunakan untuk melihat topografi permukaan dan distribusi fase TiO₂ yang telah dilapiskan pada fraksi volume 25:75, 50:50 dan 75:25.

Pengujian Brunauer Emmet Teller (BET) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori dan distribusi ukuran pori. Dari pengujian BET dapat diketahui ukuran partikel rata-rata dari setiap fraksi volume dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$S = \frac{n}{\rho \times D_{av}} \quad (2)$$

dimana S adalah luas permukaan partikel (m²/g), n adalah faktor partikel (n=6), ρ adalah massa jenis TiO₂ (4.23 g/cm³) dan D_{av} adalah ukuran partikel rata-rata.

F. Pengukuran Efisiensi Konversi Cahaya dengan IPCE

Incident Photon to Current Conversion Efficiency (IPCE) digunakan untuk menentukan efisiensi konversi cahaya pada DSSC. Untuk menghitung nilai IPCE digunakan persamaan berikut [13]:

$$IPCE [\%] = \frac{1240[eV \cdot nm] \times J_{sc} [\mu A \cdot cm^{-2}]}{\lambda[nm] \times P_{cahaya} [\mu W \cdot cm^{-2}]} \quad (3)$$

dimana 1240 (eV nm) adalah faktor konversi cahaya ke arus, J_{sc} adalah kerapatan arus (μA cm⁻²), λ adalah panjang gelombang yang diubah-ubah pada monokromator (nm), dan P_{cahaya} adalah daya yang diukur pada setiap panjang gelombang (μW cm⁻²).

G. Pengukuran Arus dan Tegangan yang Dihasilkan DSSC

Pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan mengubah-ubah hambatan luar pada rangkaian ekuivalen. I_{sc} dapat diukur pada saat hambatan luar dibuat bernilai nol sehingga arus yang mengalir bernilai maksimal. Sedangkan V_{oc} diukur pada saat hambatan luar dibuat bernilai maksimal sehingga tidak ada arus listrik yang mengalir dan tegangannya bernilai maksimal. Karakteristik lain yang digunakan untuk mengetahui

performansi DSSC adalah *fill factor* (FF) pada persamaan (4) [14].

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \tag{4}$$

Nilai FF ini adalah perbandingan antara daya maksimum dengan daya hasil perkalian V_{OC} dan I_{SC} . Daya maksimum didapatkan dari V_{MPP} dikalikan I_{MPP} dimana V_{MPP} dan I_{MPP} adalah tegangan dan arus yang jika dikalikan menghasilkan nilai maksimum. Dari nilai FF yang sudah didapatkan akan dihitung nilai daya listrik maksimum yang dihasilkan oleh DSSC dengan persamaan (5) [14]

$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \tag{5}$$

Sehingga, akan didapatkan efisiensi DSSC dengan persamaan (6) sebagai berikut [14],

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}} \tag{6}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian XRD TiO_2

Gambar 1 merupakan hasil pengujian XRD dari TiO_2 fase anatase dan rutile. Puncak-puncak yang terbentuk pada setiap fase akan digolongkan menjadi fase anatase atau rutile berdasarkan nilai 2θ yang ada. Data puncak-puncak yang ada dicocokkan dengan JCPDS 21-1272 untuk anatase dan 21-1276 untuk rutile. Dari standar tersebut, dapat diketahui sudut-sudut yang termasuk di dalam fase anatase ataupun rutile.

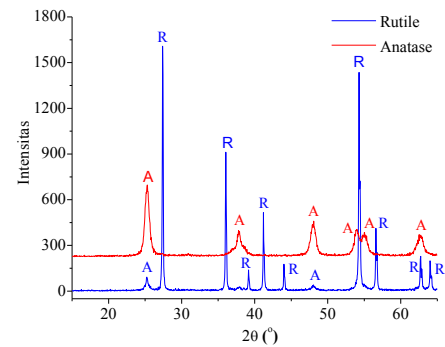
Selain dapat melihat fase yang terbentuk, komposisi masing-masing fase beserta ukuran kristalnya dapat dihitung yang ditunjukkan pada Tabel 1. Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa ukuran kristal untuk fase anatase yang dihasilkan dari kalsinasi $400\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam lebih kecil dibandingkan fase rutile yang dihasilkan dari kalsinasi $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 7 jam.

B. Hasil Pengujian FTIR TiO_2

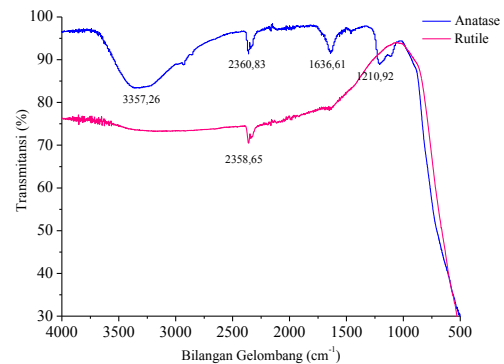
Gambar 2 merupakan hasil pengujian FTIR dari TiO_2 fase anatase dan rutile. Dari pengujian ini dapat diketahui adanya beberapa gugus fungsi yang terjadi pada bilangan gelombang tertentu yang ditunjukkan dengan puncak gelombang yang terbentuk. Beberapa gugus fungsi yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.

C. Hasil Pengujian UV-Vis Pewarna Kulit Manggis dan *Rhoeo Spathacea*

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian UV-vis spektroskopi untuk ekstrak kulit manggis dan daun *Rhoeo spathacea*. Dari kedua bahan pewarna tersebut menunjukkan spektrum serapan yang berbeda. Dari pengujian ini dapat diketahui ekstrak kulit manggis memiliki spektrum serapan 392 nm .



Gambar. 1. Hasil uji XRD TiO_2 fase anatase dan rutile



Gambar. 2. Hasil uji FTIR TiO_2 fase anatase dan rutile

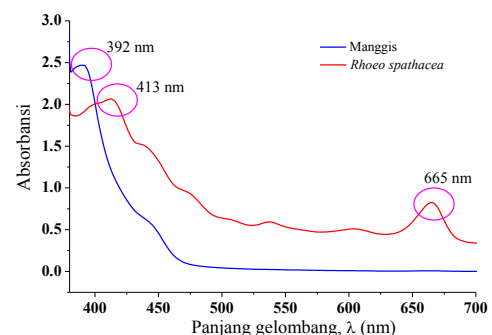
Tabel 1. Ukuran kristal dan komposisi TiO_2

Fase	400 °C (5 jam)		1000 °C (7 jam)	
	Anatase	Rutile	Anatase	Rutile
Ukuran Partikel (nm)		11,65	54,52	
Komposisi	99,75	0,25	2,20	97,80

Tabel 2.

Bilangan gelombang dan gugus fungsi teramati pada fase anatase dan rutile [20]

Fase	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi Teramati
Anatase	1210,92	Vibrasi Ti-O-O
	1636,61	Bending vibration dari H_2O and Ti-OH
	2360,83	Defect (Vibrasi CO_2)
	3357,26	H-OH menyerap air
Rutile	2358,65	Defect (Vibrasi CO_2)



Gambar. 3. Hasil uji UV-Vis pewarna kulit manggis dan *Rhoeo spathacea*

Rentang absorbansi untuk antosianin jenis sianidin berada pada 400-500 nm [15,16]. Nilai 392 nm ini masih dapat dikatakan termasuk pada rentang tersebut. Sedangkan untuk ekstrak daun *Rhoeo spathacea*, terdapat empat spektrum serapan yang terbaca yaitu 413 nm, 537 nm, 603 nm dan 665 nm. Pada ekstrak daun *Rhoeo spathacea*, terdapat 2 spektrum absorbansi yaitu rentang 410-420 nm dan rentang 660-670 nm [17].

D. Hasil Pengujian FTIR Pewarna Kulit Manggis dan Daun *Rhoeo Spathacea*

Selain diuji dengan menggunakan UV-Vis *Spectrophotometer*, pewarna juga diuji dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada pewarna. Hasil pengujiannya ditunjukkan pada Gambar 4. Dari hasil pengujian tersebut, terdapat spektrum absorpsi yang menunjukkan keberadaan antosianin dengan rentang 3200-3400 cm^{-1} yaitu pada bilangan gelombang 3334,52 cm^{-1} untuk kulit manggis dan 3343,29 cm^{-1} untuk *Rhoeo spathacea* [18].

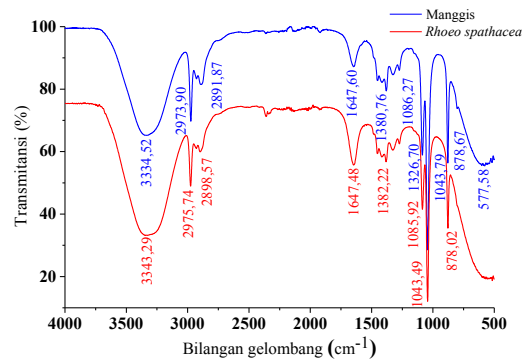
E. Hasil Pengujian BET TiO_2

Pada penelitian ini, pengujian BET digunakan untuk mengetahui distribusi pori dan luas permukaan TiO_2 yang digunakan. Hal ini dikarenakan TiO_2 dengan permukaan yang luas dapat meningkatkan performansi DSSC. Semakin luas permukaan TiO_2 maka akan semakin banyak pewarna yang teradsorb sehingga semakin banyak foton yang bisa ditangkap oleh pewarna. Dari data yang didapatkan menunjukkan bahwa struktur TiO_2 yang digunakan adalah mesopori. Dari kelima fraksi volume, 75%:25% memiliki adsorpsi isotherm yang paling tinggi. Semakin tinggi adsorpsi isotherm menunjukkan bahwa fraksi volume tersebut memiliki permukaan yang semakin luas. Untuk sifat fisis dari setiap fraksi volume dapat dilihat pada Tabel 4.

Jika dibandingkan dengan ukuran partikel hasil perhitungan dari pengujian XRD (Tabel 1), ketiga ukuran partikel tersebut sudah sesuai. Ukuran partikel untuk anatase dan rutile hasil perhitungan dengan persamaan Scherer adalah 11,65 nm dan 54,52 nm. Untuk fraksi volume 75%:25% yang memiliki volume anatase yang lebih besar memiliki ukuran partikel yang cenderung ke ukuran partikel anatase. Begitu pula dengan fraksi volume 25%:75% yang memiliki volume rutile yang lebih besar memiliki ukuran partikel yang cenderung ke ukuran partikel rutile. Fraksi volume 50%:50% cenderung memiliki ukuran partikel di tengah-tengah kedua fase tersebut. Dari pengujian ini dapat diketahui bahwa partikel dengan diameter pori berukuran di bawah 40 nm berjumlah sangat banyak.

F. Hasil Pengujian AFM

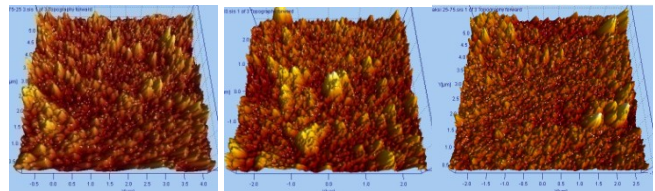
Gambar 5 menunjukkan topografi dari permukaan TiO_2 yang dilapiskan pada TCO. Pengujian ini bertujuan untuk melihat topografi dari pelapisan TiO_2 fraksi volume 25%:75%, 50%:50% dan 75%:25%. Dengan bentuk topografi tersebut, dapat diketahui bagaimana persebaran fase anatase dan rutile yang telah dicampur. Semakin banyak komposisi rutile, topografi permukaan semakin kasar.



Gambar. 4. Hasil Uji FTIR pewarna kulit manggis dan *Rhoeo Spathacea*

Tabel 4. Sifat Fisis Fraksi Volume TiO_2 *[8]

Fraksi Volume (Anatase:Rutile)	Luas Permukaan (m^2/g)	Volume Pori (cc/g)	Diameter Pori (nm)	Ukuran Partikel (nm)
100% : 0%*	113,02	0,28	3,38	40,08
75% : 25%	70,69	0,19	9,74	20,05
50% : 50%	36,33	0,12	9,51	39,02
25% : 75%	35,38	0,11	3,84	40,09
0% : 100%*	93,94	0,14	3,04	15,09

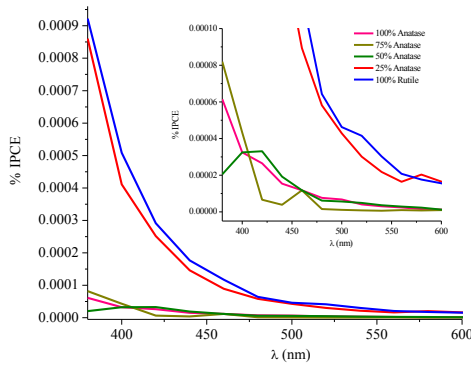


Gambar. 5. Topografi permukaan lapisan TiO_2 pada TCO fraksi volume : (a) 25%:75% (b) 50%:50% (c) 75%:25%

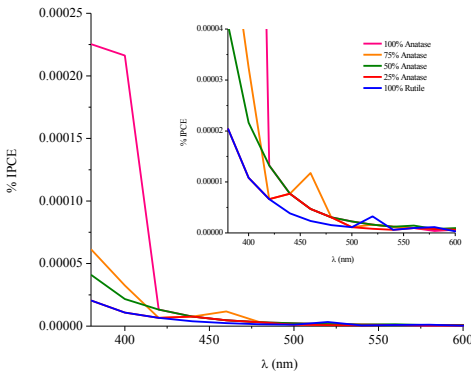
G. Spektrum IPCE

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan spektrum IPCE untuk DSSC dengan pewarna kulit manggis dan *Rhoeo spathacea*. Nilai IPCE yang tinggi menunjukkan bahwa proses transfer elektron dari pewarna ke pita konduksi semikonduktor terjadi secara efektif. Selain itu, IPCE yang tinggi juga menunjukkan transfer elektron dari I ke pewarna teroksidasi secara efektif [19]. Semakin tinggi nilai IPCE atau semakin mendekati 100%, semakin banyak foton yang diubah menjadi arus [13].

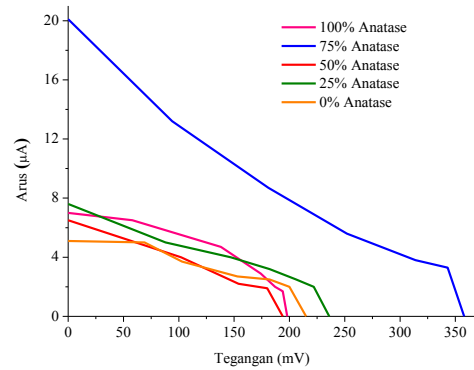
Dari Gambar 6, dapat dilihat nilai IPCE semakin kecil seiring berkurangnya komposisi rutile pada setiap fraksi volume. Hal ini ini dikarenakan rutile memiliki indeks bias yang lebih tinggi (2,72) dari anatase (2,52). Selain itu, rutile mempunyai hamburan cahaya yang lebih baik karena morfologi permukaan yang kasar [21]. Nilai IPCE yang juga merupakan fungsi panjang gelombang dapat menunjukkan morfologi dan struktur lapisan TiO_2 . Jika dibandingkan dengan anatase, fase rutile memiliki IPCE yang lebih tinggi dengan panjang gelombang 400 nm hingga 750 nm. Sedangkan pada anatase, peningkatan IPCE pada panjang gelombang 500-550 nm berhubungan dengan adsorpsi pewarna yang tinggi yang dipengaruhi oleh permukaan yang luas [21].



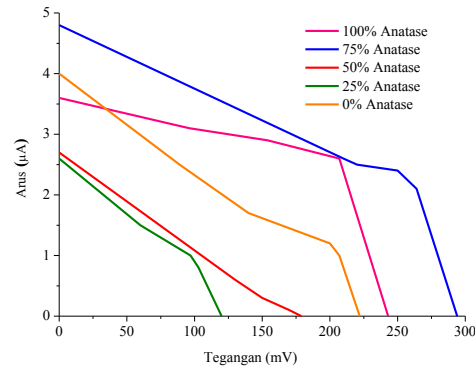
Gambar. 6. Spektrum IPCE pewarna kulit manggis



Gambar. 7. Spektrum IPCE pewarna *Rhoexo spathacea*



Gambar 8. Kurva I-V DSSC dengan pewarna kulit manggis



Gambar 9. Kurva I-V DSSC dengan pewarna *Rhoexo spathacea*

H. Performansi DSSC

Pengukuran arus dan tegangan bertujuan untuk mengetahui performansi DSSC seperti yang ditunjukkan kurva I-V pada Gambar 8 dan 9 untuk pewarna kulit manggis dan *Rhoexo spathacea*. Dari kedua kurva tersebut, arus yang dihasilkan DSSC dengan fraksi volume 75%:25% menghasilkan nilai yang paling tinggi baik untuk pewarna kulit manggis maupun *Rhoexo spathacea*. Efisiensi DSSC sangat bergantung pada nilai I_{SC} , V_{OC} , dan FF. Perubahan nilai I_{SC} , V_{OC} , dan FF beserta efisiensinya dapat dilihat pada Tabel 5.

DSSC yang menggunakan pewarna kulit manggis menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan DSSC dengan pewarna *Rhoexo spathacea*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai kerapatan arus (J_{SC}) yang dihasilkan DSSC dengan pewarna kulit manggis selalu lebih tinggi dari J_{SC} yang dihasilkan pewarna *Rhoexo spathacea* untuk semua fraksi volume. Kerapatan arus yang dihasilkan DSSC menunjukkan kemampuan pewarna dalam mengumpulkan foton. Semakin baik performansi pewarna, akan semakin banyak foton yang dikumpulkan sehingga arus yang dihasilkan semakin besar.

Penambahan rutile pada komposisi fase anatase TiO_2 menyebabkan nilai V_{OC} dan FF yang semakin rendah jika dilihat dari hasil pengukuran DSSC dengan pewarna *Rhoexo spathacea*. Sedangkan untuk DSSC dengan pewarna kulit manggis, nilai V_{OC} dan FF juga semakin rendah meski mengalami naik turun. Selain itu dapat dilihat dengan nilai FF untuk fraksi 100% anatase yang juga lebih tinggi dari fraksi 100% rutile.

Tabel 5. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Melalui Persamaan (4-6)

Pewarna	Fraksi Volume (A:R)	FF	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	η (%)
Kulit Manggis	100% : 0%	0,47	0,028	198	0,015
	75% : 25%	0,19	0,080	358	0,037
	50% : 50%	0,32	0,026	194	0,010
	25% : 75%	0,39	0,030	236	0,014
	0% : 100%	0,42	0,020	215	0,011
<i>Rhoexo spathacea</i>	100% : 0%	0,62	0,014	243	0,012
	75% : 25%	0,39	0,019	294	0,013
	50% : 50%	0,07	0,011	179	0,001
	25% : 75%	0,26	0,010	120	0,002
	0% : 100%	0,23	0,016	222	0,005

Dari semua DSSC yang telah difabrikasi, fraksi volume 75%:25% dengan bahan pewarna kulit manggis menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu 0,037%. Fraksi volume 75%:25% ini juga menghasilkan efisiensi tertinggi untuk DSSC dengan pewarna *Rhoexo spathacea* yaitu 0,013%. Jika meninjau kembali hasil pengujian BET, fraksi volume ini tepat menghasilkan efisiensi terbaik. Fraksi volume 75%:25% menunjukkan kemampuan adsorpsi tertinggi yang juga berhubungan dengan permukaannya yang luas. Semakin luas permukaan partikel TiO_2 maka akan semakin banyak pewarna

yang teradsorb sehingga semakin banyak foton yang diserap oleh TiO₂ [5]. Efisiensi DSSC dengan pewarna kulit manggis selalu lebih tinggi dibandingkan DSSC dengan pewarna *Rhoeo spathacea* untuk semua fraksi. Fraksi volume 50%:50% menghasilkan efisiensi paling rendah baik untuk DSSC dengan pewarna kulit manggis maupun pewarna *Rhoeo spathacea*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa perubahan fraksi volume anatase dan rutil berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan DSSC. Penambahan rutil pada komposisi fase anatase TiO₂ menyebabkan nilai V_{OC} dan FF semakin rendah. Efisiensi terbaik dihasilkan oleh fraksi volume dengan perbandingan 75% anatase dan 25% rutil yaitu 0,037% untuk kulit manggis dan 0,013% untuk *Rhoeo spathacea*. Efisiensi yang dihasilkan oleh DSSC dengan pewarna kulit manggis memiliki performansi lebih baik dari DSSC dengan pewarna *Rhoeo spathacea*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai J_{SC} yang dihasilkan pewarna kulit manggis selalu lebih tinggi dibandingkan pewarna *Rhoeo spathacea*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada STRANAS Fiscal year 2013 berdasarkan pada kontrak no:034/SP2H/PL/DIT.LITABMAS/V/2013, Laboratorium Energi, Laboratorium XRD dan Laboratorium Lingkungan LPPM ITS. Penulis juga berterima kasih kepada Laboratorium Elektrokimia dan Korosi, Jurusan Teknik Kimia dan Laboratorium Material dan Energi, Jurusan Kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Chiba, A. Islam, Y. Watanabe, R. Komiya, N. Koide, dan L.Y. Han, "Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%". *Jpn. J. Appl. Phys.* 45 (2006) L638–L640.
- [2] R. Buscaino, C. Baiocchi, C. Barolo, C. Medana, M. Grätzel, Md.K. Nazeeruddin, G. Viscardi, "A Mass Spectrometric Analysis of Sensitizer Solution Used for Dye Sensitized Solar Cell". *Inorg. Chim. Acta* 361 (2008) 798–805
- [3] H. Zhou, W. Liqiong, G. Yurong, M. Tingli, "Dye-Sensitized Solar Cells Using 20 Natural Dyes As Sensitizers". *Journal of Photochemistry and Photobiology A Chemistry* 219 (2011) 188–194
- [4] S. Hao, W. Jihuai, H. Yunfang, L. Jianming, "Natural Dyes ss Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cell". *Solar Energy* 80 (2006) 209–214
- [5] M.R. Narayan, "Dye Sensitized Solar Cells Based on Natural Photosensitizers". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 208–215
- [6] J. K. Lee dan Y. Mengjin, "Progress In Light Harvesting And Charge Injection of Dye-Sensitized Solar Cells". *Materials Science and Engineering B* 176 (2011) 1142– 1160
- [7] Direktorat Jenderal Pengolahan Dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2006. "Road Map Pengembangan Agroindustri Manggis".
- [8] R. A. Wahyuono, "Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Fabrication with TiO₂ and ZnO Nanoparticle for High Conversion Efficiency". *Master Thesis, ITS*
- [9] A. L. Castro, M. R. Nunes, A. P. Carvalho, F. M. Costa, M. H. Florencio, "Synthesis of Anatase TiO₂ Nanoparticles With High Temperature Stability And Photocatalytic Activity". *Solid State Sciences* vol. 10, hal. 602 – 606

- [10] M. Z. Asrori, A. Permana, D. Sukma, Darminto, "Development of Nanocomposite PANi (HCl) – TiO₂ as Anti Corrosion Material". *Proceeding of 16th National Seminars of Nuclear Power Plant Facilities, Technology and Safety* ISSN: 0854 – 2910, hal. 275-281
- [11] M. Sardela, "X-ray Analysis Methods. Advanced Materials Characterization Workshop". *The Frederick Seitz Materials Research Laboratory – University of Illinois at Urbana-Champaign*
- [12] Y. Tanaka dan M. Suganuma, "Effect Of Heat Treatment On Photocatalytic Propertie Of Sol-Gel Derived Polycrystalline". *J. Sol-gel Sci and Tech.* vol. 22, hal. 83 – 89.
- [13] K. Varghese, C. A. Grimes, "Appropriate Strategies For Determining The Photoconversion Efficiency of Water Photoelectrolysis Cells: A Review With Examples Using Titania Nanotube Array Photoanodes Oomman". *Solar Energy Materials & Solar Cells* 92 (2008) 374–384
- [14] S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt, R. Corkish, "Applied Photovoltaics". *Australia: Centre for Photovoltaic Engineering*
- [15] H. Chang dan Y. J. Lo, "Pomegranate Leaves And Mulberry Fruit as Natural Sensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Solar Energy* vol. 84, hal. 1833 – 1847.
- [16] E. Yamazaki, M. Murayama, N. Nishikawa, N. Hashimoto, M. Shoyama, O. Kurita, "Utilization Of Natural Carotenoids As Photosensitizers For Dye-Sensitized Solar Cells". *Solar Energy* vol. 81, issue 4, hal. 512 – 516.
- [17] W. H. Lai, Y. H. Su, L. G. Teoh, M. H. Hon, "Commercial And Natural Dyes As Photosensitizers For A Water-Based Dye-Sensitized Solar Cell Loaded With Gold Nanoparticles". *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 195 (2008) 307 – 313.
- [18] R. A. M. Ali dan N. Nayan, "Fabrication And Analysis Of Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dye Extracted From Dragon Fruit". *International Journal of Integrated Engineering (Issue on Electrical and Electronic Engineering)* hal. 55 – 62.
- [19] K. Hara, T. Horiguchi, Kinoshita, Tohru, K. Sayama, H. Sugihara, H. Arakawa, "Highly Efficient Photon-To-Electron Conversion With Mercurochrome-Sensitized Nanoporous Oxide Semiconductor Solar Cells". *Solar Energy Materials & Solar Cells* 64 (2000) 115 134
- [20] P. Wu, J. Shi, J. Chen, B. Wang, L. Guo, "Graphitis Carbon Nitride Modified by Silicon for Improved Visible Light Driven Photocatalytic Hydrogen Production". *Nanostructured Materials and Nanotechnology Ceramic Engineering and Science Proceedings* vol. 33, issue 7
- [21] S. H. Kang, M. S. Kang, H. S. Kim, J. Y. Kim, Y. H. Chung, W. H. Smyrl, Y. E. Sung, "Columnar Rutile TiO₂ Based Dye-Sensitized Solar Cells By Radio-Frequency Magnetron Sputtering". *Journal of Power Sources* 184 (2008) 331–335