



**PENGARUH WAKTU TAHAN KALSINASI FILM TIPIS ZNO
TERHADAP EFISIENSI DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL)
YANG MENGGUNAKAN DYE DARI
BUAH NAGA MERAH**

Sri Karina Pinem dan Nurdin Siregar

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan,
Indonesia

srikarinapinem@gmail.com

Diterima Februari 2018; Disetujui Februari 2018; Dipublikasikan Februari 2018

ABSTRAK

Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sumber energi yang sangat besar untuk mencegah terjadinya krisis energi namun sering kali terabaikan adalah sinar matahari. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan prototype dalam mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Penelitian mengenai dye sensitized solar cell dilakukan dengan dye dari ekstrak buah naga merah sebagai sumber energi alternatif dari tenaga surya. Dye sensitized solar cell (DSSC) dibuat dengan menggunakan semikonduktor ZnO yang dilapiskan pada kaca konduktif Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) dan dikalsinasi dengan variasi waktu tahan 15 menit, 30 menit dan 45 menit dengan temperatur tetap yaitu 550°C. Lapisan ZnO pada substrat dikarakterisasi dengan menggunakan SEM dan XRD. Densitas arus dan voltase maksimum diperoleh pada variasi waktu tahan 30 menit dengan temperatur 550°C yaitu sebesar 0,611 mA/cm² dan 1114 mV. Efisiensi maksimum yang diperoleh sebesar 0,146%.

Kata Kunci : Dye Sensitized Solar Cell, Temperatur Kalsinasi, Waktu Tahan Kalsinasi, Buah Naga Merah, Zn

PENDAHULUAN

Perkembangan era globalisasi saat ini berdampak pada kebutuhan konsumsi energi listrik yang semakin meningkat. Sangat diperlukan sumber energi alternatif yang dapat didaur ulang untuk memenuhi kebutuhan listrik saat ini salah satunya menggunakan energi sinar matahari yang mempunyai potensi sumber energi yang sangat besar namun sering kali terabaikan. Dye Sensitized Solar Cell atau yang sering disingkat dengan DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif

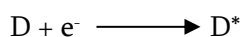
rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses melibatkan material silikon itu sendiri, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye, dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai band gap lebar. Penggunaan semikonduktor dengan band gap lebar akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi, karena dengan band gap yang lebar tersebut akan membuat ruang reaksi fotokatalis dan absorpsi oleh dye akan menjadi lebih banyak atau dengan kata lain spektrum absorpsi menjadi lebih lebar.

Pada penelitian kali ini untuk meningkatkan efisiensi DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) menggunakan *dye* dari buah naga super merah, sudah diteliti bahwa daging dalam buah naga super merah memiliki warna ungu yg absorbansinya 3,300 nm sehingga dapat digunakan untuk dijadikan *dye* dalam efisiensi DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). Selain lebih mudah diperoleh, bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini memiliki biaya yang jauh lebih ekonomis. Proses pembuatan DSSC yang digunakan untuk penelitian ini juga sederhana. Jika dilihat dari efisiensi memang efisiensi DSSC dari hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan ekstrak dari bahan-bahan alami masih cukup rendah. Namun DSSC ini memiliki potensi untuk didaur ulang menjadi lebih efisien. Dan akan dibuat prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* dengan menggunakan ZnO yang dibuat dari precursor *Zinc Acetat Dehydrate* {Zn(CH₃COOH).2H₂O}. Sedangkan untuk elektrolit cairnya digunakan campuran *Pottasium Iodide* dan *Iodine* yang diaduk bersama dengan larutan *acetonitrile* yang akan dikaji kelayakan uji listrik dari *Dye Sensitized Solar Cell* dan divariasikan pada waktu kalsinasi pada pasta ZnO. Harapannya, dihasilkan prototipe DSSC dengan nilai efisiensi lebih tinggi dan lebih baik dari penelitian sebelumnya.

METODE PENELITIAN

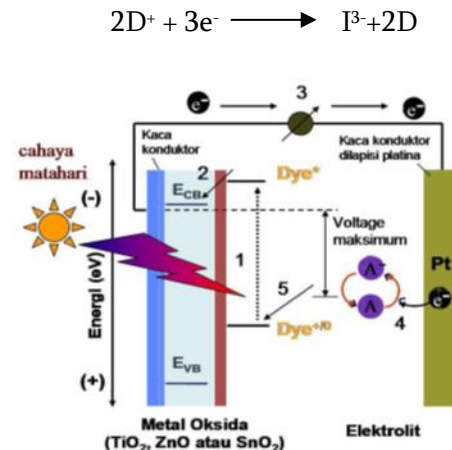
Gambar 2.3 menunjukkan skema kerja dari DSSC, pada dasarnya merupakan reaksi dari transfer elektron meliputi :

1. Terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D*)



2. Kemudian setelah dari *excited state*, elektron langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D*). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah

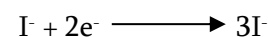
penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



Gambar 1. Prinsip Kerja Sel Surya Fotoelektrokimia
(Sumber : Setiawan dkk, 2015)

3. Elektron akan mengalir menuju elektrode CE (*Counter-Elektrode*) melalui rangkaian eksternal setelah mencapai elektrode WE (*Working Electrode*).

4. Adanya katalis pada elektroda CE (*Counter-Elektrode*), elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I₃⁻), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berkombinasi dengan elektron membentuk *iodide* (I⁻).



5. *Iodide* ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus *transport* elektron, kemudian dari siklus ini, secara langsung akan terjadi konversi cahaya matahari menjadi listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil Preparasi Film Tipis ZnO Terhadap Dengan Metode Sol-gel Spin Coating

Film tipis ZnO dengan variasi waktu tahan telah berhasil disintesis dengan metode sol-gel spin coating. Proses pencampuran Zinc acetat dehydrate sebagai prekursor yang dilarutkan dalam pelarut isopropanol dan distabilkan dengan diethanolamine (DEA) dengan menggunakan teknik refluks yang bertujuan untuk mengontrol laju reaksi serta

mengisolasi proses sintesis dari kelembaban udara luar. Proses pembuatan sol-gel dengan metode sol-gel dengan pencampuran menggunakan teknik refluks seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembuatan Sol-gel Dengan Metode Sol-gel dengan pencampuran teknik *refluks*

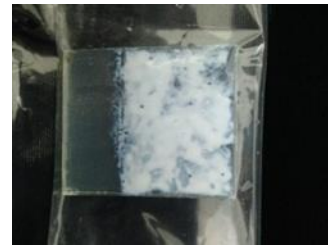
Pelapisan dilakukan pada kaca FTO yang bertujuan untuk mendapatkan lapisan yang baik, rata dan homogen dengan teknik spin-coating.

Proses pemanasan lapisan berturut-turut pada suhu 100°C (kalsinasi) untuk pre-heating 300°C selama 5 jam dengan waktu tahan 10 menit. Sampel film tipis dengan suhu pre-heating 300°C berupa gel bening yang dideposisi menjadi berwarna kekuning-kuningan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Sampel Film Tipis ZnO dengan suhu *pre-heating* 300°C

Kemudian sampel film tipis tersebut di post-heating pada suhu 550°C dengan variasi waktu tahan 15 menit, 30 menit dan 45 menit. Sampel film tipis ZnO dengan suhu post-heating 550°C waktu tahan 30 menit menjadi serbuk yang berwarna keputih-putihan yang melekat pada kaca seperti pada gambar 4.

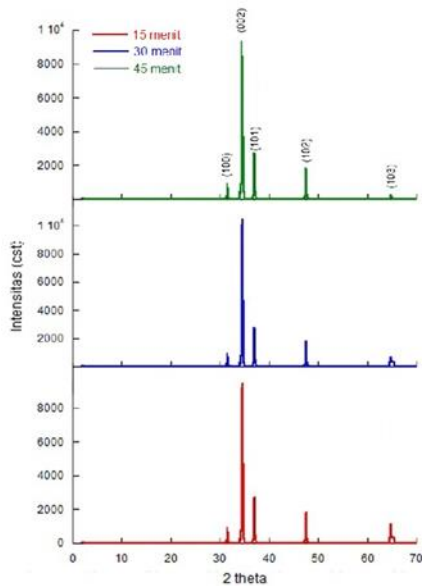


Gambar 4. Sampel Film Tipis ZnO dengan suhu *post-heating* 550°C

ZnO terjadi sebagai bubuk putih seperti Gambar 4.4. umumnya dikenal sebagai seng putih zincite mineral. Mineral biasanya beris sejumlah unsur mangan dan lainnya dan kuning ke warna merah. Oksida seng kristal termokromat, berubah dari putih ke bening ketika dipanaskan dan di udara beralih keputih pada pendinginan. Perubahan warna seperti ini terjadi karena perubahan temperatur, dikenal sebagai sifat termokromik. Perubahan warna seng oksida tersebut karena pemanasan, beberapa atom oksigen hilang dari kisi kristalnya sehingga meninggalkan kisi kristal dalam keadaan kelebihan muatan negatif dan ini menghasilkan warna yang berbeda, kelebihan muatan negatif (elektron) dapat dipindahkan melalui kisi kristal dengan perbedaan potensial. Jadi, seng oksida ini bersifat sebagai semikonduktor. Pada pendinginan, atom-atom oksigen yang keluar dari kisi pada pemanasan tersebut kembali lagi ke posisi semula sehingga diperoleh warna semula (Nurdin, 2015).

Struktur Dan Ukuran Kristal Film Tipis ZnO Struktur Kristal Film Tipis ZnO

Spektrum difraksi *X-ray Diffraction* (XRD) sampel film tipis ZnO hasil sintesis dengan metode *sol-gel spin coating* dengan pencampuran teknik *refluks* untuk suhu *pre-heating* 300°C, *post-heating* 550°C.



Gambar 5. Spektrum XRD Film Tipis ZnO dengan variasi waktu tahan

Pola difraksi sinar-X Film tipis ZnO yang disintesis dengan pelarut isopropanol dengan suhu *pre-heating* 300°C dan suhu *post-heating* 550°C pada gambar 4.5. sistem kristal pada sampel dapat diidentifikasi dengan menggunakan *free software Match!* memperlihatkan kristal pelarut isopropanol mempunyai bidang-bidang (100), (002), dan (101). Untuk kristal ZnO puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (100) berbentuk hexagonal pada waktu tahan 15 menit dengan parameter kisi $a = b = 5,7411 \text{ \AA}$ dan $c = 7,044 \text{ \AA}$. Untuk kristal ZnO puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (002) berbentuk hexagonal pada waktu tahan 30 menit dengan parameter kisi $a = b = 2,9606 \text{ \AA}$ dan $c = 7,2592 \text{ \AA}$, Untuk kristal ZnO puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (101) berbentuk hexagonal pada waktu tahan 45 menit dengan parameter kisi $a = b = 5,7812 \text{ \AA}$ dan $c = 7,0823 \text{ \AA}$.

Pada perbandingan pola XRD Gambar 4.6. sampel yang dikalsinasi dengan waktu tahan (a) 15 menit memiliki 3 puncak tertinggi yang menunjukkan fase kristal ZnO dengan intensitas tertentu, dari ketiga puncak tersebut intensitas tertinggi berada pada sudut 34,64° dengan intensitas sebesar 9424 cst, tetapi saat waktu tahan dinaikkan menjadi (b) 30 menit fasa kristal ZnO yang terbentuk mengalami kenaikan intensitas sebesar 1000 cst sehingga bertambah menjadi 10424 cst dan disertai pergeseran sudut 2 theta sebesar 0,09° kearah kiri menjadi 34,55°.

Pada saat waktu tahan (c) 45 menit terlihat intensitas pada puncak tertinggi mengalami kenaikan sebesar 1825 cst sehingga berubah menjadi 12249 cst dengan sudut 2 theta 34,44° atau bergeser 0,11° kearah kiri dibanding sampel yang dikalsinasi dengan waktu tahan 30 menit.

Hal ini disebabkan karena dalam proses pemanasan, semakin tinggi waktu tahan pemanasan, puncak kristal ZnO semakin tinggi, karena semakin tinggi waktu tahan pemanasan, energi yang diperoleh atom-atom untuk membentuk bidang kristal semakin tinggi pula, sehingga ia memiliki kemampuan untuk menyusun diri dalam bidang-bidang tertentu. Berarti waktu tahan pemanasan mempengaruhi nilai intensitas kristal film tipis ZnO.

Ukuran Kristal Film Tipis ZnO

Tabel 1. Ukuran Kristal ZnO

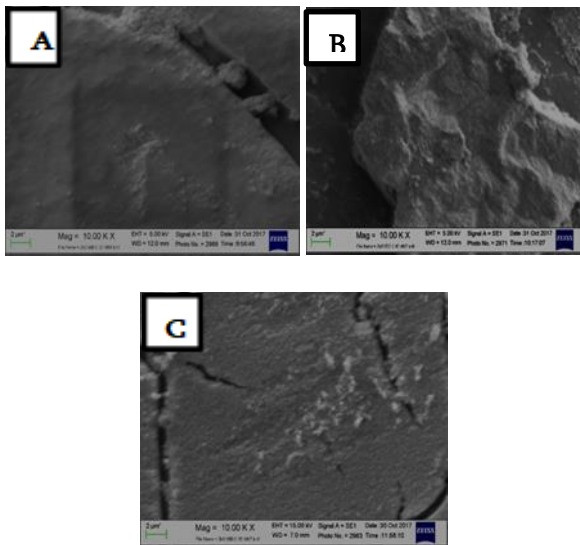
Waktu Tahan	Fase	Peak		Ukuran Kristal (nm)
		2θ (degree)	FWHM)	
15 menit	ZnO	34,6433	0,0773	96,76
30 menit	ZnO	34,5481	0,0691	81,71
45 menit	ZnO	34,4434	0,0623	135,8

Ukuran kristal film tipis dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.1. Berdasarkan Tabel 4.1. terlihat ukuran kristal film tipis ZnO dipengaruhi oleh waktu tahan kalsinasi, hal ini disebabkan karena dalam proses pemanasan, semakin tinggi waktu tahan pemanasan, maka ukuran kristal semakin besar, karena semakin tinggi waktu tahan pemanasan, maka atom-atom pada butir-butir yang lebih kecil mendapat driving force yang cukup untuk berdifusi butir baru yang lebih besar. Berdasarkan nilai FWHM menunjukkan perubahan nilai yang berbeda untuk masing-masing variasi waktu tahan kalsinasi. Terlihat dari nilai FWHM ZnO pada waktu tahan 15 menit memiliki nilai sebesar 0,0773, waktu tahan kalsinasi 30 menit memiliki nilai 0,0691, sedangkan waktu tahan kalsinasi 45 menit memiliki nilai FWHM sebesar 0,0623. Perbedaan nilai FWHM mengindikasikan

terjadinya perbedaan ukuran kristal pada ZnO hasil kalsinasi dengan variasi waktu tahan kalsinasi.

Morfologi Film Tipis ZnO

Film tipis ZnO disintesis melalui proses sol-gel dengan teknik deposisi *spin coating* dan pencampuran refluks. Film tipis dipanaskan pada suhu *pre-heating* 300°C selama 5 jam dan *post-heating* suhu yang tetap 550°C dengan waktu tahan yang berbeda-beda selama 5 jam. Pengujian SEM ini digunakan untuk meneliti morfologi dari suatu material. Pada penelitian ini menunjukkan hasil SEM dari sampel lapisan *Zinc Oxide* (ZnO) dengan variasi waktu tahan kalsinasi 15, 30 dan 45 menit.



Gambar 6. Hasil SEM lapisan ZnO pada (A) 550°C waktu tahan 15 menit (B) 550°C waktu tahan 30 menit dan (C) 550°C waktu tahan 45

Dari Gambar 6. dengan suhu yang tetap divariasikan dengan waktu tahan yang berbeda memperlihatkan morfologi permukaan film tipis yang di *post-heating* pada suhu 550°C selama 5 jam dengan waktu tahan yang berbeda. Pada gambar 6. A distribusi butiran-butiran kristalit terlihat butiran permukaan yang kasar tidak seragam. Pada gambar 6. B hampir seragam dan kompak, dan atom-atom butir terlihat kecil karena mendapat *driving force* yang cukup untuk berdifusi membentuk butir baru yang lebih besar. Akibat difusi antar butir akan terbentuk *necking* yang mengakibatkan

mengcilnya perbatasan antar butir dan porositas sehingga permukaan film tipis terlihat menjadi lebih halus. Gambar 6. C memperlihatkan distribusi butiran-butiran kristalit terlihat hampir tidak seragam dan lebih besar dibandingkan dengan butiran-butiran kristalit. Ukuran butir atau kristalit sulit ditentukan dari hasil foto SEM karena tidak tampak batas-batas butir yang jelas serta ketidakseragaman butirannya.

Pengujian UV-VIS

Larutan *dye* yang di buat dari ekstrak daging buah naga merah yang dapat menyerap dan meneruskan spektrum cahaya tampak. Zat warna ini berfungsi sebagai *dye sensitizer*. Proses pembuatannya dengan cara di blender dan kemudian di tambahkan air sebanyak 300 ml dan kemudian dipanaskan sampai volumenya menjadi 100 ml lalu disaring. Pemilihan buah naga merah ini dikarenakan memiliki kandungan antosianin yang tinggi, yang dapat dimanfaatkan sebagai absorpsi foton cahaya matahari. Pengujian UV-VIS bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang (λ) dan nilai absorpsi (A) dari suatu larutan, dengan cara menembakkan sinar ultraviolet (UV) pada larutan. Berikut adalah hasil ekstraksi larutan *dye* dari buah naga merah.



Gambar 7. Hasil ekstraksi larutan *dye* daging buah naga merah

Setelah pengujian, maka dihasilkan sebuah tabel yang menunjukkan panjang gelombang dan nilai absorpsinya. Grafik yang dihasilkan seperti yang ditampilkan pada Gambar 8. di bawah ini.



Gambar 8. Grafik Panjang Gelombang Dan Absorbansi Buah Naga Merah

Tabel 2. Hasil Pengujian Absorbansi Larutan DSSC

Dari hasil pengujian UV-VIS di atas, dapat kita ketahui bahwa nilai absorbansi daging buah naga merah adalah 3.992, sedangkan nilai panjang gelombangnya adalah 533 nm. Hasilnya mendekati seperti yang dilakukan Nadeak, dkk (2012) mengekstrak daging buah naga merah dengan nilai panjang 538 nm dan absorbansi 3.300.

Nilai absorbansi pada daging buah naga merah yang tinggi ini menunjukkan tingginya konsentrasi larutan *dye* dalam menyerap radiasi energi yang diberikan. Dalam penelitian ini, tentunya nilai absorbansi yang tinggi ini dapat semakin banyak menyerap foton sinar matahari. Artinya, semakin banyak pula foton yang bisa dieksitasi untuk dikonversikan oleh sel surya menjadi energi menjadi energi listrik.

Nilai absorbansi yang dihasilkan daging buah naga merah ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya seperti Maddu mengekstrak daun kol merah yang menghasilkan panjang gelombang sebesar 530 nm dan Pancaningtyas yang mengekstrak buah manggis juga menghasilkan 530 nm, bahkan lebih baik bila dibandingkan Chang, dkk (2010) yang mengekstrak daun bayam dan buah ipomea dengan nilai panjang gelombang 437 nm dan 410 nm secara berturut-turut juga Hardeli, dkk (2014) yang mengekstrak kulit buah naga dengan nilai panjang gelombang 532 nm.

Setelah mengetahui panjang gelombang dan nilai absorbansinya tahap selanjutnya adalah proses perendaman film tipis pada larutan ekstrak dye daging buah naga merah. Pada

elektrode dilapisi layer oksida nanopartikel yang dilapisi oleh molekul *dye* (zat pewarna) sensitisasi. Molekul *dye* berfungsi sebagai penangkap foton cahaya, sedangkan nanopartikel semikonduktor menyerap dan meneruskan foton menjadi elektron.

Pengujian Nilai Tegangan

Hasil pengujian voltase pada prototip sel surya dengan variasi waktu tahan kalsinasi dapat dilihat pada Tabel 4.3. berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan DSSC Buah Naga Merah Selama 10 Hari

No	Ekstrak Larutan	Panjang Gelombang (nm)	Nilai Absorbansi
1	Daging buah naga merah	533	3.992

Waktu Taban (menit)	Nilai tegangan per hari (mV) dengan suhu 550°C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	548	703	620	593	587	555	514	494	478	452
	754	1114	778	739	703	667	664	611	554	533
30	648	736	635	617	599	569	543	512	497	471
45										

Dari Tabel 4.3. diketahui nilai voltase pada spesimen dari masing-masing kalsinasi pada hari pertama nilai voltasenya cukup tinggi, sedangkan pada hari kedua mengalami kenaikan yang sebesar 980 mV begitu juga dengan waktu tahan 15 menit dan 45 yaitu dengan nilai masing-masing 703 mV dan 726 mV. Namun setelah hari kedua DSSC menit ini mengalami penurunan hingga hari terakhir yaitu pada hari kesepuluh. Hal ini disebabkan karena menguapnya *dye* dari buah naga merah dan *acetonitrile* akibat selama sepuluh hari terkena sinar matahari. Sehingga menurunkan pula kemampuan dari DSSC tersebut. Dan penurunan nilai voltase itu sendiri rata-rata mengalami penurunan sebesar 30-40 mV/hari. Hasil paling optimal nilai dari voltase DSSC ini yakni pada hari kedua karena menyerapnya yang sempurna antara *counter elektroda* dengan *dye* dari daging buah naga merah.

Pada hari pertama pengujian voltase menunjukkan nilai yang tidak begitu tinggi

untuk masing-masing waktu tahan. Hal ini disebabkan pada hari pertama yaitu prototipe DSSC setelah selesai di-*assembling* langsung diuji sehingga larutan *dye* dan larutan elektrolit yang masih belum menyerap sempurna pada lapisan Zink Oksida (ZnO), maka membuat kinerja *solar cell*, terutama dalam absorpsi foton cahaya masih kurang maksimal dan membutuhkan waktu yang lebih lama lagi untuk pengeringan, agar *dye* dan elektrolit dapat menyerap sempurna sehingga dapat bekerja secara maksimal.

Hal ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Nafi'dkk (2013) bahwa pada hari pertama menunjukkan nilai voltase yang lebih rendah dibandingkan hari kedua. Dari hasil penelitian Nadeak, dkk (2012) menyimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur kalsinasi yang diberikan, maka semakin meningkat nilai voltasenya. Nilai voltase tertinggi dicapai pada variasi temperatur 500°C dalam waktu tahan kalsinasi 30 menit yaitu sebesar 723 mV.

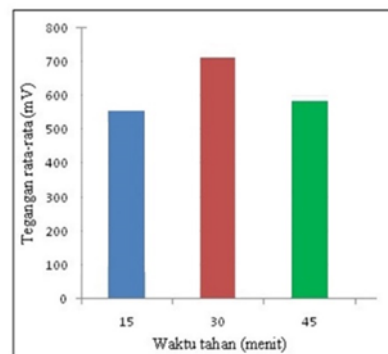
Pada penelitian kali ini waktu tahan yang dinaikkan dan temperatur tetap menghasilkan fakta bahwa nilai voltase tertinggi yang dicapai sebesar 980 mV dengan variasi waktu tahan 30 menit. Dari fenomena penelitian ini bisa disimpulkan adanya temperatur optimum dimana DSSC dapat memberikan tegangan listrik dengan maksimal, dalam hal ini pada temperatur 550°C waktu tahan 30 menit. Karena pada variasi temperatur yang tetap dengan waktu tahan 15 menit dan 45 menit voltase yang dihasilkan menurun.

Hal pengujian voltase dari DSSC dengan ekstrak buah naga merah, terjadi kecenderungan penurunan voltase dari ke-2 dan terjadi penurunan serta nilai voltase yang bervariasi hingga hari ke 10. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Pacaningtyas, dkk, 2008), hal tersebut disebabkan karena tingkat difusi I⁻ yang rendah melalui matriks DSSC, dan terjadi penguapan yang mudah dari elektrolit cair. Selain itu *iodine* yang berperan sebagai komponen untuk terjadinya reaksi redoks dalam larutan elektrolit, mempunyai stabilitas rendah karena mudah teroksidasi oleh udara. Proses oksidasi ini semakin dipercepat karena prinsip kerja sel surya yaitu dibawah sinar matahari. Setelah selama sepuluh hari dilakukan pengujian

nilai tegangan pada sampel film tipis 15, 30 dan 45 menit diperoleh nilai rata-rata pada setiap sampel film tipis yang dapat dilihat dari Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Nilai Rata-Rata Tegangan (mV) Selama 10 Hari

Dari Tabel 4. dapat dilihat bahwa nilai rata-rata tegangan yang diperoleh dari sampel film dengan waktu tahan 15 menit sebesar 554.4 mV mengalami kenaikan nilai rata-rata pada sampel film tipis dengan waktu tahan 30 menit sebesar 711.7 mV lalu mengalami penurunan pada sampel film tipis 45 menit yaitu 582.7 mV. Perbandingannya dapat dilihat dari Gambar 4.9. berikut.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata Tegangan Selama 10 Hari Dengan Waktu Tahan 15, 30 dan 45 Menit

Faktor lainnya yang mungkin berpengaruh pada berkurangnya stabilitas dan performa prototipe DSSC yaitu dari *dye* yang merupakan larutan organik, yang bersifat kurang stabil dan mudah rusak. Selain itu pula, pelapisan semikonduktor ZnO ke substrat kaca konduktif FTO yang kurang sempurna (terlalu tebal atau terlalu tipis) juga mempengaruhi hasil dari pengujian listrik ini. Lapisan ZnO yang rapuh dan mudah rontok dari substrat kaca konduktif FTO yang kemungkinan mengalami penurunan serta kenaikan yang bervariasi karena dipanaskan hingga temperatur tinggi, juga merupakan faktor yang mempengaruhi penurunan voltase DSSC.

Pengujian Nilai Arus

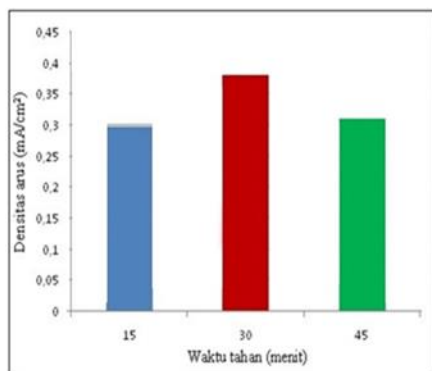
Tabel 5. Hasil Pengujian Nilai Arus DSSC Buah Naga Merah Selama 10 Hari

Waktu Tahan (menit)	Nilai arus per hari (mV) dengan suhu 550°C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	0.292	0.381	0.330	0.325	0.315	0.288	0.275	0.265	0.258	0.245
30	0.404	0.611	0.415	0.392	0.377	0.355	0.345	0.328	0.296	0.288
45	0.350	0.382	0.340	0.333	0.320	0.303	0.290	0.275	0.270	0.245

Berdasarkan Tabel 4.5. menunjukkan hal yang serupa dengan trend dari pengukuran voltase, dimana densitas arus mengalami kenaikan pada waktu tahan 30 menit, dan menurun pada 45 menit. Setelah selama sepuluh hari dilakukan pengujian nilai arus pada sampel film tipis 15, 30 dan 45 menit diperoleh nilai rata-rata pada setiap sampel film tipis yang dapat dilihat dari Tabel 4.5. berikut.

Tabel 6. Nilai Rata-Rata Arus (mA/cm²) Selama 10 Hari

Dari Tabel 4.6. dapat dilihat bahwa nilai rata-rata arus yang diperoleh dari sampel film dengan waktu tahan 15 menit sebesar 0.297 mA/cm² mengalami kenaikan nilai rata-rata pada sampel film tipis dengan waktu tahan 30 menit sebesar 711.7 mA/cm² lalu mengalami penurunan pada sampel film tipis 45 menit yaitu 582.7 mA/cm². Perbandingannya dapat dilihat dari Gambar 10. berikut.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata Arus Selama 10 Hari Dengan Waktu Tahan 15, 30 dan 45 Menit

Secara umum dapat dilihat pada gambar bahwa nilai rata-rata arus dari DSSC ekstrak buah naga merah terlihat fluktuatif. Namun dapat dilihat dengan seksama bahwa nilai nilai rata-rata arus memiliki nilai terendah pada hari pertama, pada setiap variasi. Sedangkan

memiliki nilai tertinggi pada hari ke-2 pada setiap variasi, dan terus mengalami penurunan nilai seiring bertambahnya hari.

Densitas arus yang dihasilkan dari DSSC ekstrak buah naga merah masih sangat rendah, yaitu dalam kisaran microampere (mA/cm²). Pada penelitian ini, yang memiliki nilai densitas arus tertinggi yaitu prototipe dengan variasi waktu tahan 550°C dengan waktu tahan kalsinasi 30 menit, yaitu senilai 0.600 mA/cm². Sedangkan, pada penelitian sebelumnya (Nadeak, dkk 2012) mendapatkan densitas arus tertinggi sebesar 0.307 mA/cm² dengan menggunakan dye dari ekstrak buah naga dan variasi temperatur 550°C dengan waktu tahan kalsinasi 60 menit. Rendahnya nilai densitas arus ini dikarenakan hambatan yang dilalui oleh elektron dalam melewati lapisan tiap lapisan dari DSSC ekstrak naga merah masih sangat besar. Selain itu, juga bisa disebabkan karena

Waktu Tahan (menit)	Nilai Rata-Rata Tegangan (mV) Selama 10 Hari
15	554.4
30	711.7
45	582.7

transfer elektron di dalam lapisan ZnO (fotoelektroda) masih belum maksimal.

Nilai densitas arus yang cenderung fluktuatif atau naik turun ini bisa disebabkan karena stabilitas komponen DSSC yang kurang optimal, dikarenakan larutan dye dan larutan elektrolit berupa zat cair yang mudah menguap, serta dye buah naga merah yang mulai terkikis semakin bertambahnya hari. Larutan dye yang terbuat dari buah naga merah sangat rentan rusak karena terbuat dari bahan organik.

Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell Naga Merah

Pada masing-masing variasi DSSC naga merah, diperoleh nilai voltase dan densitas arus terbesar yang digunakan untuk menghitung nilai efisiensi DSSC naga merah. Hasil perhitungannya ditampilkan pada tabel 4.5 dan 4.6 di bawah ini.

Tabel 7. Nilai Kelistrikan Maksimum DSSC Naga Merah

Temp (°C)	Waktu tahan (menit)	V max (mV)	I max (mA/cm ²)	P max (mW/cm ²)
550	15	703	0.381	267.84x10 ⁻³
550	30	1114	0.590	657.26x10 ⁻³

550	45	736	0.382	281.15x10 ⁻³
-----	----	-----	-------	-------------------------

Tabel 8. Efisiensi Kelistrikan DSSC Naga Merah

Temp (°C)	Waktu tahan (menit)	Ukuran kristal (µm)	P max (mW/cm ²)	P input (mW/cm ²)	η (%)
550	15	96.76	267.84x10 ⁻³	450	0.05952
550	30	81.71	657.65x10 ⁻³	450	0.14605
550	45	135.8	281.15x10 ⁻³	450	0.06247

Hasil penelitian Tabel 7. membuktikan bahwa semakin meningkat pada variasi waktu tahan kalsinasi 15 menit ke 30 menit dan menurun pada 45 menit yang secara tidak langsung membuktikan bahwa adanya waktu tahan optimum yang bisa digunakan dalam proses ini yaitu waktu tahan 30 menit.

Nilai efisiensi terbesar diperoleh pada DSSC dengan variasi waktu tahan 30 menit dengan suhu 550°C yaitu 0.1512%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa efisiensi prototipe DSSC masih rendah dan belum bisa maksimal dalam menyerap daya matahari untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Namun, penelitian kali ini menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Akbar, 2013) yaitu sebesar 0.14972.

Pada penelitian pembuatan Dye Sensitized Solar Cell yang menggunakan dye dari buah naga merah dengan bahan semikonduktor berupa ZnO dapat disimpulkan bahwa prototipe dalam mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik ini setelah diuji morfologinya menurut Gambar 4.7. belum menghasilkan pori dan untuk menghasilkan pori dengan energi 30 kV dari SEM dan perbesarannya 10.000 kali paling kecil untuk optik. Lalu dari pengujian UV-VIS pada Gambar 4.9. spektrum yang dihasilkan belum terlihat pembentukan puncak dan lebar puncaknya. Faktor selanjutnya yang mempengaruhi adalah larutan elektrolit belum diuji kebenarannya baik atau tidak untuk digunakan dalam penelitian ini. Dari semua faktor tersebut menyatakan bahwa yang dihasilkan pada penelitian ini belum bisa

digunakan karena menghasilkan nilai efisiensi sangat kecil yaitu 0.06247%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dapat difabrikasikan menggunakan semikonduktor film tipis ZnO dan dye dari ekstrak buah naga merah.
2. Nilai absorbansi dan panjang gelombang ekstrak buah naga merah yaitu 3.992 dan 533 nm. DSSC dapat mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.
3. Ukuran kristal film tipis ZnO dengan variasi waktu tahan 15, 30 dan 45 menit adalah 96.76, 81.71 dan 135.8 nm.
4. Hasil morfologi film tipis ZnO pada uji SEM menunjukkan bahwa semakin ditingkatkannya waktu tahan kalsinasi makan butiran butiran kristalit semakin halus tapi tidak merata. Ukuran butiran atau kristalit sulit ditentukan dari hasil foto SEM karena tidak tampak batas-batas butir yang jelas serta ketidakseragaman butirannya.
5. Nilai efisiensi pada variasi waktu tahan 15, 30 dan 45 menit sebesar 0.05952%, 0.14605% dan 0.06247%.

Saran

1. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya ZnO yang digunakan berukuran nanopartikel.
2. Mengganti dye dengan panjang gelombang dan absorbansi yang lebih baik lagi.
3. Mengganti larutan elektrolit gel atau padatan, agar tidak mudah menguap sehingga arus yang dihasilkan lebih besar dan stabil.
4. Menggunakan metode lain dalam penyusunan sandwich DSSC (tidak menggunakan klip binder) agar elektrolit yang diteteskan tidak mudah keluar sehingga elektrolit tidak cepat habis.
5. Film tipis ZnO dengan suhu pre-heating 300°C perlu dilakukan pengujian karakterisasi spektrum XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityawan, Eki. (2010). Studi Karakterisasi Pencatutan Solar Cell Terhadap Kapasitas Sistem Penyimpanan Energi Baterai. Depok: Universitas Indonesia.
- Adolf Goetzberger, Chistopher Hebling, Hans-Werner Shock. (2003). Photovoltaic Materials, History, Status And Outlook. Materials Science Ad Engineering R 40 Page: 1-46.
- Fatiatun. (2015). Pengaruh Suhu Deposisi Terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida Dengan Metode DC Magnetron Sputtering. Semarang: UNS.
- Gratzel, Michael. (1998). Demonstrating Electrtron Transfer And Nanotechnology : A Natural Dye Sensitized Naocrystalline Energy Converter. Journal Of Chemical Education 75 (6), Page: 752.
- Gratzel, Michael. (2003). Dye Sensitized Solar Cell. Journal Of Photochemistry And Photobiology. Vol 4, 145-153.
- Handini, W., Herman. A. (2008). Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO Dengan Variasi Tingkat Pengisian Dan Besar Kristalit TiO₂. Skripsi S1 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material, Universitas Indonesia.
- Hardeli. (2011). Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ubi Jalar Ungu, Wortel Dan Kunyit Sebagai Sumber Zat Warna. Padang: UNP.
- Hardjadinata, S. (2010). Budi Daya Buah Naga Super Red Secara Organik, Edisi Pertama. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Jamila, B., Shu, C. E., Kharidah, M., Dzulkifly, M.A And Noraniza N, A., 2011. Physico-Chemical Characteristics Of Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) Peel. Journal Of Agricultural Food Chemistry, 18: 279-286.
- Kao P.-C., Chu.S.Y., Li. B.-J., Chang, H.-H., Fang Y.-C., Chang R.-C., (2009). Low Temperature Solution-Synthesis Protoluminescence Properties ZnO Nanowires, J. Alloys Compd. 467. Page, 342-246.
- Kumara, M,S,W., Prajitno, G. (2012). Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (*Amaranthus Hybirdus L.*) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Maddu, A., Zuhri, I. (2007). Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya Tio₂ Nanokristal Tersensitasi Dye. Makara, Teknologi, Vol 11, No. 2. Hal, 78-84.
- Misbachudin, C, M., Ferdy, S, R, Dan Sutresno A. (2014). Pengaruh pH Larutan Antosianin Strawberry dalam Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). Salatiga: Universitas Kristen Satya Wacana.
- Nadeak, S,M,R., Susanti, D. (2012). Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor Tio₂ Sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Dye Dari Ekstrak Buah Naga Merah. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Nafi, M., Susanti D. (2013). Aplikasi Semikonduktor Tio₂ Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan Kalsinasi Sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Dye Dari Ekstrak Buah Terung Belanda (*Solanum Betaceum*). Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Nurdin, S., (2015). Studi Sintesis Dan Karakteristik Film Tipis ZnO Dengan Metode Sol-gel Spin Coating. Disertasi. FMIPA. Sumatera Utara, Medan.
- Prasatya, A,N., Susanti D. (2013). Pengaruh Temperatur Kalsinasi Pada Kaca Fto Yang Di Coating Zno Terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Yang Menggunakan Dye Dari Buah Terung Belanda (*Solanum Betaceum*). Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.

- Rahman, A. (2009). Pengaruh Tingkat Kekristalan Tio₂ Pada Tegangan Terbuka Sel Surya Tersensitisasi Pewarna Berbasis Zno- Tio₂. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Saiful, Mannan. (2015). Energi Matahari Sumber Energi Alternatif Yang Effisien Handal Dan Ramah Lingkungan Di Indonesia. Semarang: Fakultas Teknik Univeristas Diponegoro.
- Septina, W., D. Fajarisandi, Dan M. Aditia. (2007). Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah Dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye Sensitized Solar Cell). Bandung: Laporan Penelitian Bidang Energi. ITB.
- Smestad, G.P., & Gratzel, M., 1998. Demonstrating Electron Transfer And Nanotechnology: A Natural Dye Sensitized Nanocrystalline Energy Converter, *J.Chem. Educ.*, 75, 752-756.
- Subodro, Rohmat. (2012). Ekstraksi Pewarna Bahan Antosianin Kulit Terong Ungu Sebagai Pewarna Alami Pada Sel Surya Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). Surakarta: Universitas Nahdlatul Ulama.
- Sugiono, (2002). Kaji Numerik Proses Di Dalam Kalsiner. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Suharto, (2008). Pencegahan Dan Penyembuhan Penyakit Jantung Koroner. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Widodo, S. (2010). Teknologi Sol-Gel Pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida Untuk Aplikasi Sensor Gas. Bandung: Semina Rekayasa Kimia Lipi.
- Wongcharee, K., Meyoo, V., Chavadej, S. (2007). Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted From Rosella And Blue Pea Flowers. *Solar Energy Materials And Solar Cells* 91 (2007) 566-571.
- Wu, L.C., Hsu, H.W., Chen, Y.C., Chiu, C.C., Lin, Y.I. & Ho, J.A. (2006). Antioxidant And Antiproliferative Activities Of Red Pitaya. *Food Chemistry*, 95: 319-327.