



DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) MENGGUNAKAN FILM TIPIS ZnO:Cu DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN BERBAHAN DYE BUAH KARAMUNTING

Nurdin Siregar dan Sabarina

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

nurdinfis@gmail.com

Diterima: Agustus 2020. Disetujui: September 2020. Dipublikasikan: Oktober 2020

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk menghasilkan prototype DSSC yang bertujuan mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan film tipis ZnO:Cu, dye dari ekstrak buah karamunting yang dideposisikan pada kaca konduktif FTO (Flourine-doped Tin Oxide) dan disintetis dengan metode sol-gel spin coating. Variasi doping tembaga (Cu) 4%, 5%, 6%, 7% dan 8% yang dikarakterisasi dengan menggunakan SEM, XRD, UV-Vis Spektrometer, FTIR dan uji kelistrikan. Pada pengujian SEM, hasil yang diperoleh semakin bagus, dan homogen seiring bertambahnya konsentrasi doping Cu. Nilai transmitansi tertinggi pada 5% yaitu 36,78% sedangkan terendah diperoleh pada 8% yaitu 1,3%. Absorbansi berturut-turut dari 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% yaitu 1,84a.u; 1,6a.u; 1,88a.u; 1,84a.u; dan 2,64a.u. Ukuran Kristal berturut-turut yaitu 32nm, 25nm, 24nm, 40nm, dan 29nm. Energi gap berturut-turut dari 4%- 8% yaitu 3,78eV; 4,246eV; 4,133eV; 3,974eV; dan 3,343eV. FTIR pada cu 4% dan 7% menghasikan adanya peak pada bilangan gelombang 433,43 Cm⁻¹ yang merupakan ciri khusus dari peak ZnO. Efisiensi berturut-turut dimulai dari 4%-8% yaitu 0,045%; 0,2%; 0,2125%; 0,195%; dan 0,17575%.

Kata Kunci: Dye Sensitized Solar Cell, Tembaga (Cu) , Buah Karamunting, Efesiensi

ABSTRACT

Research has been carried out to a DSSC prototype that aims to convert sunlight energy into electrical energy made using ZnO:Cu film thin, a dye from karamunting extract on FTO (Flourine-doped Tin Oxide) conductive glass and synthesized by the sol-gel spin coating method. Copper (Cu) doping variations og 4%, 5%, 6%, 7%, and 8% were characterized using SEM, XRD, UV-Vis,Spektrometer, FTIR and electrical test. In SEM testing, the results obtained are better, and homogeny with increasing doping concentration of Cu. Value transmitantion maximum of 5% is 36,78% and value transmitantion minimum of 8% is 1,3%. Optimum value of dye absorbance is 3,78eV; 4,246eV; 4,133eV; 3,974eV; dan 3,343eV. ZnO:Cu crystal size 4%- 8% of 32nm, 25nm, 24nm, 40nm and 29nm. Energy gap 4%-8% of 3,78eV, 4,246eV, 4,133eV, 3,974eV, and 3,343eV. FTIT of variation 4% and 7% are peaks in wave number 433,33Cm⁻¹ which is a special of the ZnO peak. Efficiency value 4%-8% of 0,045%; 0,2%; 0,2125%; 0,195%; and 0,17575%.

Keywords: Dye Sensitized Solar Cell, Cupper (Cu), Karamunting Fruit, Efficiency

PENDAHULUAN

Sel surya memiliki prinsip kerja seperti photovoltaik yang dapat mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya yang

saat ini sedang dikembangkan oleh peneliti adalah sel surya generasi ketiga, yaitu Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) yang dikembangkan pertama kali oleh Gratzel. DSSC atau sel surya tersensitasi zat warna merupakan salah satu jenis sel surya berbasis semikonduktor yang menggunakan fenomena foto elektrokimia sebagai prinsip dasar untuk menghasilkan energi listrik (Anggia.A dkk, 2016). Efisiensi maksimum DSSC saat ini sebesar 11% dengan material aktif elektroda kerja yang digunakan adalah TiO₂ (Bambang.H.P dkk, 2016).

Harga TiO₂ cukup mahal dibandingkan ZnO, sehingga penggunaan ZnO saat ini sedang dikembangkan. Pemilihan ZnO sebagai material aktif bukannya tidak beralasan, ZnO merupakan unsur yang melimpah di alam dengan memiliki energi gap 3,37 eV yang hampir sama dengan TiO₂ yaitu 3,2 eV, sehingga mampu menggantikan TiO₂ sebagai material aktif (Arief. M, 2011). Nanomaterial ZnO sebagai material aktif DSSC memiliki efisiensi 0,27% yang dilakukan oleh Iwantono masih rendah dibandingkan TiO₂ (Gratzel. M, 2004), sehingga masih dikembangkan dengan melakukan penambahan atom doping pada material aktif

Logam Cu digunakan sebagai atom doping dengan tujuan mampu meningkatkan konduktivitas elektrik dari ZnO, karena Cu memiliki jari-jari ion yang lebih kecil daripada ZnO dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan material lain (Iwantono dkk, 2016). Selain pemilihan logam Cu dikarenakan dapat digunakan sebagai semikonduktor, tidak beracun dan band gap mencapai 2,137 eV (Awinda, 2011).

1. Zinc Oxide (ZnO)

Zinc Oxide (ZnO) merupakan bahan semikonduktor paduan golongan II – VI antara oksida logam. Selain sebagai bahan semikonduktor, zinc oxide juga merupakan bahan piezoelektrik, fotokonduktif, dan bahan pemandu gelombang optik. Zinc oxide mempunyai energi gap minimum 3,2 eV pada suhu ruang dan 3,4 eV pada suhu 4 K (Gao dkk, 2004). Zinc oxide juga mempunyai

struktur kristal heksagonal dengan tipe kristal wurtzite, yang mempunyai simetri 6 mm.

2. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa Latin Cuprum. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Logam Cu digunakan sebagai atom doping dengan tujuan mampu meningkatkan konduktivitas elektrik dari ZnO, karena Cu memiliki jari-jari ion yang lebih kecil daripada ZnO dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan material lain (Iwantono dkk, 2016).

3. Karamunting

Karamunting (*Rhodomyrtus tomentosa*) termasuk ke dalam famili Myrtaceae dan mempunyai nama internasional Rosemyrle. Karena buah karamunting memiliki zat warna yang tinggi yaitu ungu tua, maka diperkirakan mengandung zat antosianin yang tinggi pula. Selain itu keberadaan karimunting yang masih melimpah di hutan-hutan sehingga sangat mudah dan murah untuk didapatkan. Hal inilah yang mendasari buah karimunting digunakan sebagai dye dalam penelitian ini (Erika dkk, 2017).

4. Metode Sol Gel

Sol gel merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mensintesis katalis. Metode sol gel ini didefinisikan sebagai proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah dimana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel). Proses sol-gel dikendalikan oleh reaksi hidrolisis, kondensasi, aging dan pengeringan (Sirait, M., dkk, 2018). Struktur mikro ukurannya tergantung pada rumusan komposisi kimia dan prosedur preparasi pembuatan sol hingga titik gel serta jalannya proses aging, pengeringan, dan pemanasan gel. Proses aging dilakukan dengan cara mendinginkan gel untuk mengubah sifatnya

agar lebih kaku, kuat dan menyusut (Stefani.A.P dkk, 2016).

5. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Sel surya memiliki prinsip kerja seperti photovoltaik yang dapat mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya yang saat ini sedang dikembangkan oleh peneliti adalah sel surya generasi ketiga, yaitu Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) yang dikembangkan pertama kali oleh Gratzel. DSSC atau sel surya tersensitasi zat warna merupakan salah satu jenis sel surya berbasis semikonduktor yang menggunakan fenomena fotoelektrokimia sebagai prinsip dasar untuk menghasilkan energi listrik (Anggia.A dkk, 2016).

Pembuatan jenis sel surya tersensitisasi ini tergolong mudah dan tidak dibutuhkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Laboratorium Fisika Material dan KIMIA UNIMED. ZnO:Cu disintesis dengan menggunakan teknik sol-gel lalu dideposisi pada kaca FTO dengan metode spin coating. Bahan penelitian yang digunakan adalah Zinc Acetat Dehydrate (MERCK), Isopropanol sebagai pelarut dan Diethanolamine sebagai stabilizer.

Sebanyak 4,2 gram Zinc Acetat dehydrate $\{Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O\}$ dilarutkan kedalam 39,47 ml sampel isopropanol. Selanjutnya distirrer dengan kecepatan 250 rpm pada suhu 70-85°C. Setelah 15 menit kemudian dimasukkan 2,85 ml Diethanolamine (DEA) sampai larutan berwarna putih bening. Hasil sintesis ZnO dideposisi di substrat dengan teknik spin coating. Lalu kemudian dipanaskan dengan dua tahapan, pre-heating dengan suhu 250°C selama 3 jam, untuk menghilangkan pelarut yang tidak dibutuhkan seperti gugus asam, kemudian di post-heating selama 7 jam, guna memfasilitasi terbentuknya butir ZnO. Masing masing pemanasan dengan waktu tahan 30 menit. Ikuti langkah di atas untuk variasi 4%-8%. Karakterisasi Film tipis ZnO dilakukan dengan uji XRD, Uv-Vis, dan Uji kelistrikan.

1. Sintesis Larutan Dye

Sintesis larutan dye diambil dari Buah Karamunting. Ekstraksi dilakukan dengan mencampurkan 50 gr Buah Karamunting dengan aquades 50 ml, asam asetat 4 ml. lalu kemudian di campur hingga rata, lalu disaring dalam keadaan tertutup dan kedap cahaya, guna menghindari terjadinya evaporasi.

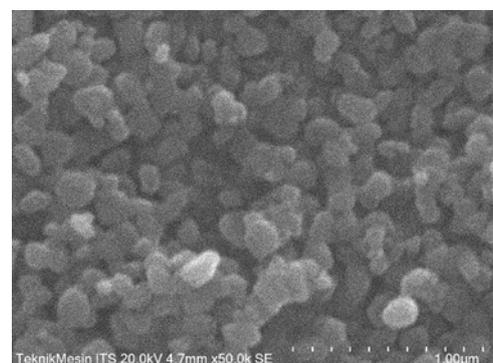
2. Perakitan DSSC

Film tipis ZnO direndam pada dye selama 24 jam, lalu ditempelkan pada counter elektroda platina dengan menggunakan perekat surilyn, lalu dipanaskan pada hot plate dengan suhu 70-800 agar surilyn menempel dengan sempurna. Selanjutnya injeksi larutan elektrolit melalui lubang kecil yang terdapat pada elektrode lawan platina.

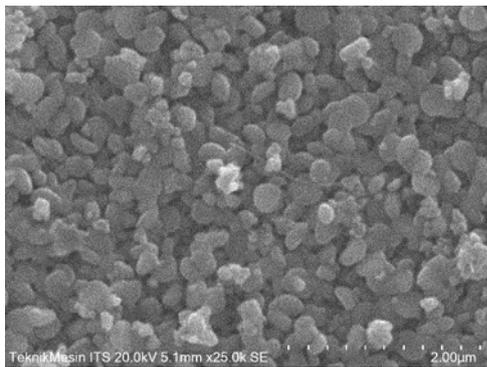
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Morfologi Film Tipis ZnO:Cu

morfologi permukaan film tipis ZnO:Cu dengan variasi 4% dan 7% yang dipost-heating pada suhu 500 C selama 5 jam dengan waktu tahan 30 menit. Gambar yang dihasilkan menunjukkan morfologi permukaan yang rata dan homogen. Struktur permukaan semakin sempurna seiring dengan penambahan variasi doping Cu. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana penambahan doping Cu sangat mempengaruhi morfologi dari ZnO:Cu yang akan menghasilkan morfologi yang semakin halus pula (P. K. Labhane: 2015).5%.



(a)



(b)

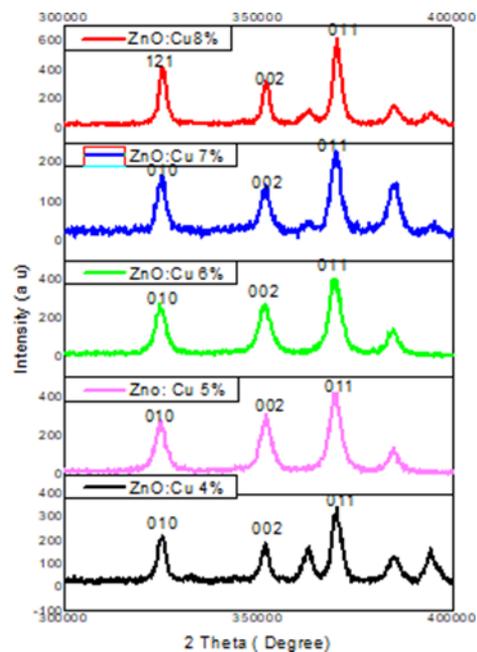
Gambar 1. ZnO:Cu perbesaran 50.000 dengan variasi a. 4% b.7%

2. Struktur Kristal Film Tipis ZnO

Gambar 1. menunjukkan hasil XRD sampel film tipis ZnO dengan variasi doping Cu 4%-8%. Sistem kristal pada sampel dapat diidentifikasi dengan menggunakan hsp dan software OriginPro 8.1 .

Pada Gambar.1 Untuk kristal ZnO:Cu 4% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (010)berbentuk hexagonal pada $2\theta = 32,4849^\circ$, bidang (002) pada $2\theta = 35,2207^\circ$ dan bidang (011) pada $2\theta = 36,9621^\circ$. Untuk kristal ZnO:Cu 5% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (010) pada $2\theta = 32,4849^\circ$, bidang (002) pada $2\theta = 35,2207^\circ$ dan bidang (011) berbentuk heksagonal pada $2\theta = 36,9621^\circ$.

Untuk kristal ZnO:Cu 6% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (010) pada $2\theta = 32,4804^\circ$, bidang (002) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 35,2229^\circ$, dan bidang (011) pada $2\theta = 36,9606^\circ$. Untuk kristal ZnO:Cu 7% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (010) pada $2\theta = 32,4805^\circ$, bidang (002) pada $2\theta = 35,1126^\circ$ dan bidang (011) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 36,9546^\circ$. Untuk kristal ZnO:Cu 8% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (121) pada $2\theta = 35,5143$, bidang (002) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 35,1594^\circ$ dan bidang (011) pada $2\theta = 37,0816^\circ$.



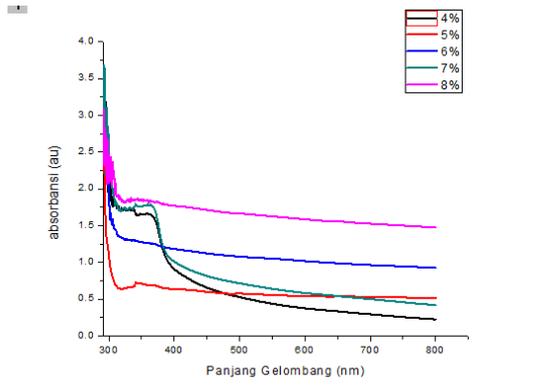
Gambar 2. Hasil Uji XRD ZnO dengan variasi konsentrasi doping Cu 4%-8%

Sifat Optik Film Tipis ZnO

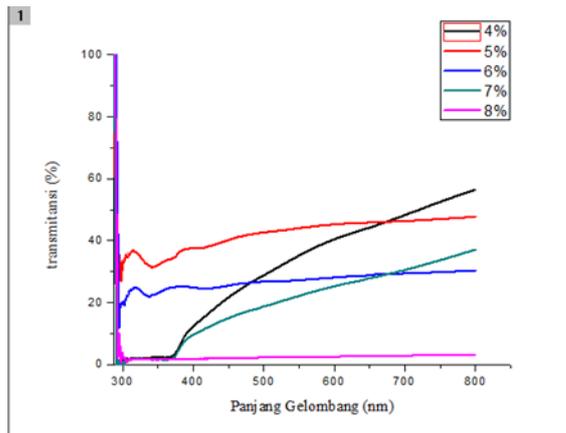
Gambar 2. merupakan grafik absorptansi ZnO dengan variasi konsentrasi doping Cu 4%- 8% dimana peak ZnO:Cu terorientasi pada panjang gelombang 300 nm hingga 400 nm yang merupakan panjang gelombang dari daerah

Sampel	Energi gap (eV)
ZnO:Cu4%	3,780
ZnO:Cu5%	4,246
ZnO:Cu 6%	4.133
ZnO:Cu 7%	3.974
ZnO:CU 8%	3.434

ultraviolet. Pada konsentrasi doping 4%; 5%; 6%; 7%; dan 8% nilai absorptansi tertinggi dan terendah berturut-turut (1,84; 1,73), (1,6; 0,64), (1,88; 1,29), (1,84; 1,63) dan (2,64; 1,84). Nilai absorptansi tertinggi yang diperoleh adalah pada konsentrasi 8%, dengan nilai intensitas mencapai 2,64 a.u.



Gambar 3. Grafik absorbansi ZnO:Cu dengan variasi konsentrasi doping Cu 4%-8%



Gambar 3. Grafik Transmittansi ZnO:Cu dengan variasi konsentrasi doping Cu 4%-8%

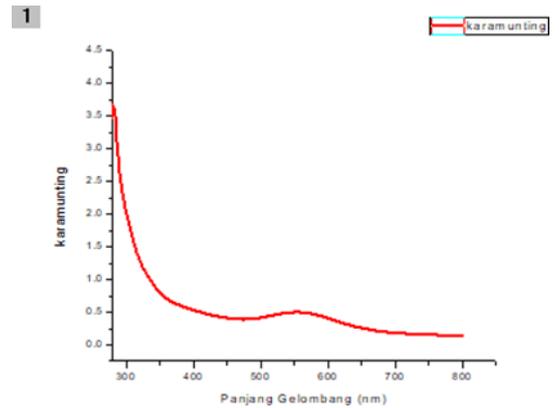
Pada gambar 3, nilai transmittansi tertinggi dan terendah berturut-turut (11,2%; 2,6%), (36,78%; 32,09%), (24,4%; 19%), (9,34%; 2,6%) dan (1,6%; 1,3%). Nilai transmittansi tertinggi diperoleh pada variasi 5%. Pada konsentrasi doping 6,7 dan 8% mengalami penurunan nilai transmittansi dibanding dengan ZnO:Cu 5%. Penurunan transmittansi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jumlah atom doping yang masuk kedalam kisi ZnO, ukuran butir kristal, permukaan lapisan bertekstur, kekasaran permukaan, pembentukan senyawa lain yang tumbuh pada waktu yang sama dengan Cu.

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa lebar energi gap berkurang sesuai penambahan konsentrasi dari doping. Dengan demikian penambahan doping Cu pada lapisan ZnO mempengaruhi meningkat tidaknya energy gap. Adapun energy yang diperoleh dari doping 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% berturut-turut yaitu 3,780;4,246; 4,133; 3,974; 3,434.

Energy gap tertinggi diperoleh saat doping 5% sedangkan yang terendah saat doping 8%.

Penurunan nilai energy gap dapat diakibatkan beberapa factor, seperti permukaan yang tidak rata dari lapisan ZnO:Cu yang dapat menyebabkan refleksi cahaya dengan sudut yang berbeda sehingga seolah-olah terjadi penyerapan pada panjang gelombang sinar tampak.

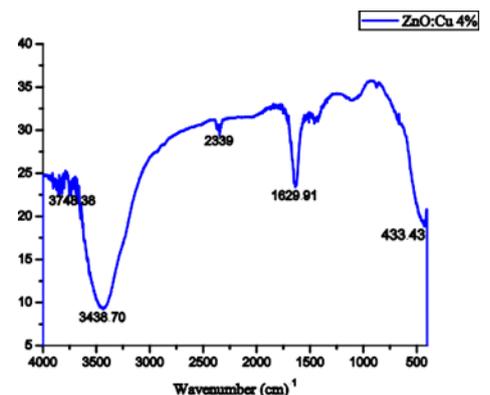
3. UV-Vis Larutan Dye



Gambar 5. Hasil Uv-Vis dye ekstrak buah Karamunting

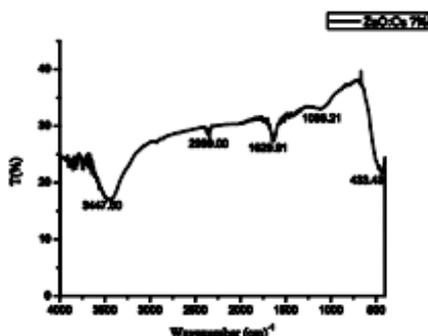
Dari pengujian terlihat bahwa dye hasil ekstrak daging buah Karamunting dapat menyerap spectrum cahaya dari panjang gelombang 280nm-800nm. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan, karena cahaya tampak terjadi pada panjang gelombang 400nm-800nm. Pada Gambar 4.13 memperlihatkan nilai absorbansi maksimum terjadi pada panjang gelombang 281nm sebesar 3,52. nilai ini termasuk cukup tinggi. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada efisiensi sel surya berbasis elektrolit, karena semakin sedikit foton yang akan terserap oleh dye.

4. Karakterisasi FTIR Film Tipis ZnO:Cu



(a)

Pada hasil pengujian FTIR ZnO:Cu (4%Wt) di atas tampak adanya satu peak pada bilangan gelombang 433,33Cm-1 yang merupakan ciri khusus dari peak ZnO.



(b)

Gambar 6. Hasil Uji FTIR ZnO:Cu a. 4% b.7%

Pada ZnO:Cu (7%Wt) tampak adanya peak pada bilangan gelombang 433,43 Cm-1 yang merupakan ciri khusus dari peak ZnO. Selain itu terbentuk 4 peak lainnya pada ZnO:Cu (4%Wt) dan 4 peak lainnya pada ZnO:Cu (7%Wt) yang diduga karena adanya penambahan doping Cu pada film tipis ZnO. Adapun Gugus fungsi yang teramati pada pengujian FTIR ditunjukkan oleh tabel 1.

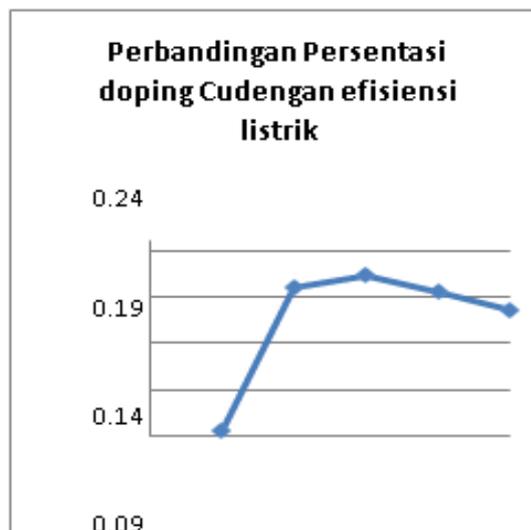
Tabel 1. Interpretasi Spektra FTIR ZnO:Cu

Persentase Doping	Persentase Doping Bilangan Gelombang Pada Spektra	(Cm ⁻¹) Pada pustaka	Gugus fungsi
4 %	433	1000-400	ZnO
	1066	1230-1000	-C-O
	1629	1650-1450	-C=C
	2339 3438 3748	3500-3000	-O-H
7 %	433	1000-400	ZnO

1066	1230-1000	-C-O
1629	1650-1450	-C=C
2339		
3447	3500-3000	-O-H

Efisiensi DSSC

Dari grafik. di bawah, dapat dilihat bahwa nilai efisiensi DSSC menurun pada persentasi 7% dan 8%. Nilai efisiensi DSSC terendah diperoleh pada doping Cu 4% yaitu sebesar 0,0495, sedangkan efisiensi tertinggi diperoleh pada doping Cu 6% yaitu sebesar 0,2125%. Penelitian kali ini menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh% (Ulfa Mahfudli Fadli dkk, 2015). Dalam penelitiannya, doping Cu 2% menunjukkan efisiensi DSSC sebesar 0,0055%. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian kali ini telah lebih baik dari peneitian sebelumnya.



Gambar 7. Grafik pengaruh persentasi doping Cu dengan efisiensi DSSC

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bahwaPengaruh doping tembaga terhadap struktur film tipis ZnO yaitu menurun pada konsentrasi doping 4%-6% kemudian meningkat pada doping 7% dan 8%. Hasil tertinggi diperoleh saat konsetrasi doping 7%. Pengaruh doping tembaga pada film tipis ZnO terhadap sifat optik dalam

penelitian ini adalah meningkat pada konsentrasi doping 4% ke 5% namun menurun pada konsentrasi 6% hingga 8% nilai energi gap yang diperoleh. Adapun nilai energy gap tertinggi diperoleh saat variasi 5%. Prototype DSSC disintetis dari film tipis ZnO:Cu yang direndam dengan dye karamunting yang kemudian menjadi elektroda kerja. Elektroda kerja ditempel dengan platina yang berperan sebagai elektroda lawan. Kedua elektroda ditempel dengan menggunakan lapisan pemisah (surilyn) dan diinjeksi dengan elektrolit cair. Pengaruh doping Tembaga pada film tipis ZnO terhadap efisiensi DSSC dalam penelitian ini adalah meningkat pada konsentrasi doping 4%-6% dan sedikit menurun pada konsentrasi doping 7% dan 8 Nilai efisiensi maksimum terdapat pada doping tembaga 6% yaitu sebesar 0.212%.

Untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa saran yang dapat diperhatikan, yaitu Mengganti larutan dye dengan jenis dye yang lain yang memiliki nilai panjang gelombang dan absorbansi yang lebih tinggi. Mengganti doping ZnO dengan unsur lain yang lebih efisien dan banyak terdapat di alam. Melakukan penelitian dengan memperhitungkan nilai ketebalan sampel agar hasilnya lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggia, A., Dahyunir, D., Syukri., (2016), Sintesis Lapisan Tio₂ Pada Substrat Ito Menggunakan Metode Elektrodeposisi Dan Spin Coating, *Jurnal Ilmu Fisika* 8(01)
- Awinda., (2011), Sintesis Lapisan Cu₂O (Cuprous Oxide) di Atas Substrat ITO (Indium Tin Oxide) dengan Metode Elektrodeposisi, *FMIPA UNAND: Laboratorium Fisika Material Elektronik, Jurusan Fisika. Chitra*
- Bambang Hari Purwoto., Jatmiko., Muhamad Alimul F., Ilham Fahmi Huda., (2016), Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif, *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*
- Erika, J., Harlia, Andi, H., (2017), Aktivitas Sitotoksik Dan Antioksidan Ekstrak BatangKaramunting (Rhodomyrtus Tomentosa (Aiton) Hassk), *Jurnal Kimia*, 6 (02) 37-43.
- Gao.W., Li. Z.W, (2004), ZnO Thin Film Produced by Magnetron Sputtering. Elsevier.
- Iwantono, F., Anggelina, P., Nurrahmawati, F.Y., Naumar , A.A., Umar, (2016), Optimalisasi Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells Dengan Penambahan Doping Logam Aluminium Pada Material Aktif Nanorod Zno Menggunakan Metode Hidrotermal, *Jurnal Materiak dan Energi Indonesia*, 01 : 36-43.
- Labhane,P.K., Huse VR., dan Patle, LB., (2015), Synthesis of Cu Doped ZnO Nanoparticles: Crystallographic, Optical, FTIR, Morphological and Photocatalitic Study, *Journal of Material Science and Chemical Engineering*, 03:39-51.
- Sirait, M., Gea, S., Siregar. N., Bukit, N., Ginting, E.M., and Zega, R.F., (2018), Fabrication of Poly(vinyl Alcohol)/Bentonite Nanocomposites Using Sol-Gel Method, *Asian Journal of Chemistry*. Vol. 30, No. 10, 2210-2214
- Stefanie Amni Pataya, Paulus Lobo Gareso, Eko Juarlin, (2016), Karakterisasi Lapisan Tipis Titanium Dioksida (Tio₂) Yang Ditumbuhkan Dengan Metode Spin Coating Diatas Substrat Kaca, *Jurnal FMIPA Unhas*.
- Ulfa,M.F., Cari., Agus Supriyanto., Ashari, B.P., Hardani., (2015),Pengaruh Penambahan Logam Cu Pada Dye Organik Berbahan Beras Hitam Sebagai Fotosensitizer Di Dalam Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) *Proceeding SENAFIS 2015Y, Chiba., A, Islam., Y, Watanabe., R, Komiya., N, Koide., dan L,Y, Han., (2006), Dye-sensitized solar cells with*

Nurdin Siregar dan Sabarina; Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Film Tipis ZnO:Cu
Dengan Variasi Kecepatan Putaran Berbahan Dye Buah Karamunting

conversion efficiency of 11.1%, Jpn.

J. Appl. Phys. 45 L638–L640