

PENGARUH PROSES HYDROTHERMAL NANOFIBER ZnO TERHADAP UNJUK KERJA DYE – SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Dimas Ilham Rasyid¹, Harry Sutjahjono², Imam Sholahuddin²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

Email: Syndimaz@gmail.com

ABSTRACT

Solar energy can be utilized as renewable energy, because fossil energy is increasingly depleted and also environmentally friendly. In this case DSSC photovoltaic devices are used to convert photon energy into electricity. The DSSC in this study consisted of alfafa leaf extract dye, nanofiber and nanowire ZnO semiconductor, iodine electrolyte, and FTO conductive glass. The method used in fabrication of ZnO nanofiber using electrospinning method, while for fabrication of nanofiber / nanowire ZnO using electrospinning method and continued with hydrothermal process. The hydrothermal process generates nanowire in ZnO nanofiber, so the active area of the ZnO semiconductor increases. With a large active area will increase the efficiency of the DSSC. ZnO nanofiber monomers and nanofiber / nanowire ZnO were characterized using SEM, while DSSC performance was tested under a 1000W halogen lamp. The DSSC is made with 2 layer, 3 layer, 4 layer and 5 layer nanofiber layers resulting in efficiency of 0.0030%, 0.0076%, 0.0103% and 0.0082% respectively. While DSSC with semiconductor nanofiber / nanowire ZnO 2 layer, 3 layer, 4 layer and 5 layer yield efficiency consecutively equal to 0,0067%, 0,0163%, 0,0747%, 0,0025%. The final results show that semiconductors with an increased active area on the ZnO nanofiber / nanowire structure will improve DSSC performance.

Keywords: *dye – sensitized solar cell (DSSC), active area, ZnO nanofiber, ZnO nanofiber/nanowire, hydrothermal process*

PENDAHULUAN

Dewasa ini, jumlah energi fosil yang ada di alam semakin menipis. Kondisi tersebut telah mendorong masyarakat untuk mencari cara alternatif dalam pengolahan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang berasal dari angin, panas bumi, energi surya, biomassa, dll. Energi surya dapat dimanfaatkan dengan menggunakan serangkaian teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, listrik panas surya, fotosintesis buatan dan *dye – sensitized solar cells* (DSSC) (Yandri & Andalas, 2012). Pada tahun 1991, Brian Oregan dan Michael Gratzel mengembangkan *dye – sensitized solar cells* (DSSC). Dalam pembuatannya, DSSC memerlukan biaya yang murah, selain itu juga ramah lingkungan. DSSC tersusun atas beberapa komponen yaitu semikonduktor oksida, pewarna, *counter electrode* dan elektrolit (Vittal & Ho, 2016).

Teknologi nano 1 D seperti *nanofibers*, *nanowires*, *nanoparticles* mempunyai karakteristik yang khas dan merupakan bidang yang akhir – akhir ini menarik perhatian para peneliti (Park, Moon, Lee, Lim, & Zyung, 2009). Penggunaan nanofiber ZnO sebagai material semikonduktor oksida dalam teknologi nano memberikan jalan alternatif untuk meningkatkan efisiensi DSSC (Imran, Haider,

Ahmad, Mahmood, & Al-masry, 2017). *Nanowire* yang tumbuh di permukaan *nanofiber* dapat meningkatkan luasan aktif semikonduktor ZnO (McCune, Zhang, & Deng, 2012). Sehingga kondisi tersebut dapat meningkatkan daya serap energi foton yang terdapat dalam DSSC. Penumbuhan nanomaterial berbasis ZnO dalam DSSC dapat dibuat dengan beberapa macam metode, diantaranya *magnetron sputtering* (Lupan, Guérin, Ghimpu, Tiginyanu, & Pauporté, 2012), *including electrodeposition* (Lupan et al., 2012); (Wong et al., 2012), *hydrothermal synthesis* (Hu, Huang, Deng, Chen, & Qian, 2007), *vapor – liquid – solid* (VLS), *vapor – solid* (VS) (Kang, Lee, Park, Yoo, & Yi, 2012), *process, metal – organic chemical vapor deposition* (MOCVD) (Endres & Mazumder, 2011), *chemical vapor deposition* (CVD) (Wu & Liu, 2002) dll. Metode *hydrothermal* dapat menumbuhkan nano material yang ideal dengan morfologi yang bagus karena biaya yang murah, temperatur rendah, keuntungan tinggi, dan proses yang berkelanjutan (Hu et al., 2007).

Pada penelitian sebelumnya, Suh dan baxter mensintesis *dendritic ZnO nanowires DSSC* dengan metode *chemical vapor deposition* dan menunjukkan efisiensi yang rendah (0.5 %), karena luasan aktifnya

kurang. Wong, K. K., *et al.* mensintesis DSSC berbasis nanopartikel ZnO dengan efisiensi yang rendah (1.5%). Zang W. *et al.* mensintesis DSSC berbasis *nanofiber* ZnO dengan metode *electrospinning* menunjukkan peningkatan efisiensi (3.02%) karena luasan aktif meningkat. Mallarie, *et al.* mensintesis *multilayer 3D ZnO nanofiber – nanowire* dengan metode *electrospinning* dan dilanjutkan dengan proses *hydrothermal* menunjukkan efisiensi yang tinggi (5.2%). Hal ini dikarenakan dengan tumbuhnya *nanowire* 360° di sepanjang *nanofiber* dan semakin banyak lapisan akan meningkatkan luasan aktif ZnO, dan meningkatkan daya serap energi foton.

Topik penelitian energi terbarukan khususnya bidang material maju penghasil energi terbarukan masih sedikit jumlahnya dibandingkan dengan ragam topik energi terbarukan yang ada pada saat ini. Mengacu pada penelitian (Zhang W., *et al.* 2012; Dong X., *et al.* 2014; Susanto B., *dkk.* 2016; Mallarie, *et al.* 2012; Sholahuddin, *dkk.*, 2015) yang menjadi target dalam penelitian ini yaitu *prototype* material fotoelektrik seng oksida berbasis serat *nano – nanowire* sebagai material utama dalam penyusunan komponen DSSC. Produk luaran dari penelitian ini diharapkan menjadi kontribusi yang positif dalam perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

METODOLOGI PENELITIAN

1. PREPARASI SUBSTRAT KACA FTO

Substrat kaca berukuran tebal 2 mm dipotong dengan luas 25 mm x 60 mm menggunakan pemotong kaca. Substrat kaca yang telah menjadi kaca preparat dengan ukuran 25 mm x 60mm dicuci dengan ethanol 97% untuk menghilangkan material abrasif kemudian dikeringkan. Larutan flourin doped tin oxide (FTO) dibuat dengan mencampurkan 10 g SnCl₂.2H₂O, 0,5 g NH₄F, ke dalam 40 ml ethanol 97%. Larutan FTO diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam.

2. FABRIKASI PREKURSOR LARUTAN FTO

Pendeposisian larutan FTO ke dalam kaca preparat menggunakan metode chemical vapor deposition (CVD). Kaca preparat yang telah dibersihkan dimasukkan ke dalam hot plate dan diatur pada suhu 460 C, larutan FTO dimasukkan ke dalam tabung mist maker dan dibeblu selama 7 kali dalam 30 detik setiap satu kali pendeposisian. Kemudian setelah proses pendeposisian larutan FTO, substrat kaca diperlakukan proses annealing pada suhu 200C selama 15 menit. Kemudian mesin dimatikan dan menunggu hingga kaca dingin dan diambil untuk diuji resistansinya.

3. FABRIKASI PREKURSOR NANOFIBER ZnO

Larutan prekursor nanofiber ZnO dipersiapkan yang terdiri atas ZnAc.2H₂O, Polyvinyl Alcohol, dan aquadest. 2 g PVA dilarutkan dalam 20 g aquadest ke dalam gelas reaksi dan diaduk menggunakan stirrer pada suhu 70C selama 4 jam. Larutan didiamkan selama 8 jam agar menjadi homogen. Larutan Zn(CH₃COO)₂.2H₂O sebanyak 2 g dicampurkan dalam 8 g aquadest (1:4%wt) ke dalam gelas reaksi. Larutan diaduk selama 1 jam pada suhu 70C menggunakan stirrer. Larutan Zn(CH₃COOH)₂.2H₂O dicampurkan dengan larutan PVA dengan perbandingan PVA : ZnAc adalah 1 : 4%wt. Larutan PVA/ZnAc diaduk selama 8 jam pada suhu 70C, kemudian didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam untuk homogenisasi

4. SINTESA NANOFIBER ZnO

Larutan bening PVA/ZnAc yang sudah homogen dimasukkan ke dalam *syringe* kapasitas 1 cc, kemudian dipasang dalam *syringe pump*. Kaca FTO dipasang dalam pelat kolektor sebagai kolektor nanofiber. Tegangan tinggi 15 kV dihubungkan pada jarum *syringe* untuk muatan positif dan pelat kolektor (FTO) untuk muatan negatif. Jarak antara pelat dan ujung jarum diatur 5 cm. Laju aliran larutan bening PVA/ZnAc diatur dengan kecepatan 1 mikro liter / menit pada jarak 5 mm di dalam syringe 1 cc.

Green fiber yang telah dideposisikan pada kaca FTO kemudian diberikan perlakuan panas. Kaca nanofiber dimasukkan ke dalam *furnace* dan dikalsinasi pada suhu 100C selama 1 jam, kemudian disintering pada suhu 600C selama 1 jam. Nanofiber ZnO dibuat dengan cara yang sama hingga lapis ke lima.

5. SINTESA NANOFIBER/NANOWIRE ZnO

Zinc nitrate hexahydrate, hexamethylenetetramine, dan polyethyleneimine dibeli dari sigma aldrich. Larutan prekursor hydrothermal dibuat dengan melarutkan 0,05 M zinc nitrate hexahydrate, 0,055 M hexamethylenetetramine, dan 0,44 g polyethyleneimine ke dalam 40 mL aquadest. Larutan kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. Kemudian larutan dimasukkan ke dalam reactor hydrothermal untuk proses lebih lanjut. Kaca nanofiber ZnO dimasukkan ke dalam reaktor dan dimasukkan ke dalam furnace. Proses hydrothermal berlangsung pada saat suhu furnace mencapai 95C dan ditahan selama 6 jam. Kemudian kaca nanofiber/nanowire ZnO diambil dan dicuci dengan aquadest. Setelah itu dikeringkan di udara pada suhu 60C.

6. FABRIKASI DSSC

Lapisan elektroda dibuat dengan cara merendam kaca FTO yang telah dideposisi nanofiber ZnO dan nanofiber/nanowire ZnO ke dalam ekstrak daun alfafa selama 1 jam. Lapisan counter electrode dibuat

dengan memberikan double tip pada tepi kaca FTO dengan ukuran 1,4 cm x 4 cm dan ukuran luar 2,5 cm x 5 cm. Kaca FTO yang telah dipasang double tip dilapisi dengan karbon atau grafit sebagai katalis pada komponen counter electrode. Larutan iodine sebagai elektrolit diteteskan pada permukaan lapisan counter electrode.

Kaca semikonduktor ZnO (lapisan elektroda) direkatkan dengan kaca counter electrode. Pada tepi kaca diberikan lem tembak agar larutan elektrolit tidak mudah terdegradasi.

7. PENGUJIAN DSSC DAN STRUKTUR ZnO

Pengujian DSSC dilakukan dengan menggunakan solar simulator. Sampel DSSC diletakkan dibawah lampu halogen 1000 W (panjang gelombang 555 nm) dengan jarak 40 cm dari lampu. DSSC diukur nilai arus dan voltase dengan menggunakan AVO meter. Radiasi dari sinar halogen diukur menggunakan lux meter.

Struktur morfologi dari nanofiber ZnO dan struktur nanofiber ZnO setelah proses hydrothermal dikarakterisasi menggunakan scanning electron microscopy (SEM) di laboratorium Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

HASIL DAN PEMBAHASAN

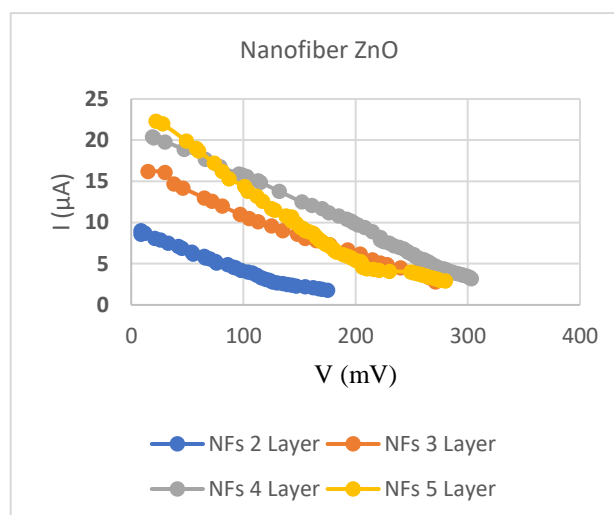
Data unjuk kerja dari DSSC diperoleh melalui pengujian dengan menggunakan solar simulator lampu halogen dengan daya 1000W. Radiasi lampu halogen mencapai 18.000 Lux atau setara dengan 26,354 W/m².

PENGUJIAN I – V

Pengujian I -V dilakukan untuk mengetahui arus dan voltase yang dihasilkan dari DSSC. Dengan mengetahui arus dan voltase akan didapatkan daya dan efisiensi dari DSSC. Hasil pengujian I -V dibawah lampu halogen 1000 W dengan daya radiasi sebesar 26,354 W/m² disajikan dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 3.1. Hasil pengujian I – V pada DSSC dengan semikonduktor nanofiber ZnO

No	Lapisan nanofiber ZnO	I_{SC}	V_{OC}	Fill Factor	Efisiensi (%)
1	Lapis 2				
	Spesimen 1	9,2	200	0,26	0,0032%
	Spesimen 2	9	197	0,237	0,0028%
	Spesimen 3	13,8	215	0,169	0,0034%
2	Lapis 3				
	Spesimen 1	12,2	346	0,243	0,0069%
	Spesimen 2	16,2	364	0,219	0,0087%
	Spesimen 3	11	330	0,264	0,0071%
3	Lapis 4				
	Spesimen 1	20,4	399	0,245	0,0135%
	Spesimen 2	14,5	386	0,357	0,0093%
	Spesimen 3	23,2	390	0,218	0,0082%
4	Lapis 5				
	Spesimen 1	15,2	315	0,256	0,0083%
	Spesimen 2	19,8	198	0,224	0,0059%
	Spesimen 3	23,2	323	0,203	0,0103%



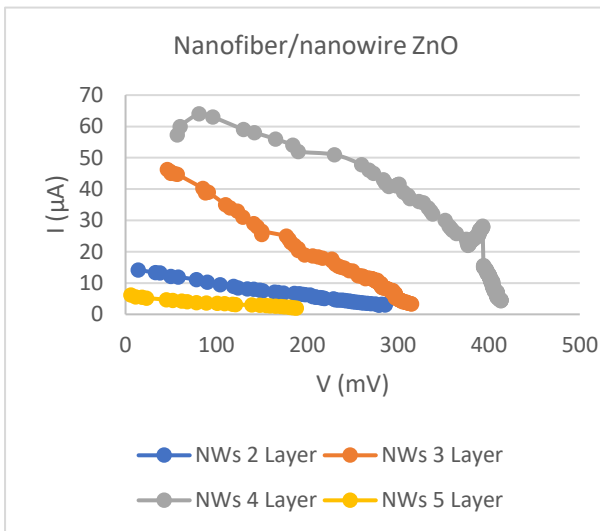
Grafik 3.1. Grafik hubungan antara I dan V pada DSSC semikonduktor nanofiber ZnO

Pada pengujian I – V, didapatkan lapisan terbaik untuk unjuk kerja DSSC terdapat pada nanofiber lapis ke empat. Dengan luasan aktif yang meningkat maka didapatkan hasil arus dan voltase dengan nilai yang tinggi, akan tetapi DSSC dengan 5 lapis nanofiber ZnO mengalami penurunan nilai voltase, karena semakin banyak lapisan struktur semikonduktor nanofiber ZnO akan berpengaruh terhadap nilai transparansi kaca FTO.

Hasil pengujian DSSC dengan semikonduktor nanofiber/nanowire ZnO disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berikut ini

Tabel 3.2 Hasil pengujian I – V pada DSSC dengan menggunakan semikonduktor nanofiber/nanowire ZnO

No	Lapisan nanofiber/nanowire ZnO	I_{SC}	V_{oc}	Fill Factor	Efisiensi (%)
1	Lapis 2				
	Spesimen 1	9,2	200	0,241	0,0085%
	Spesimen 2	9	197	0,264	0,0044%
	Spesimen 3	13,8	215	0,254	0,0072%
2	Lapis 3				
	Spesimen 1	12,2	346	0,241	0,0300%
	Spesimen 2	16,2	364	0,217	0,0080%
	Spesimen 3	11	330	0,238	0,0108%
3	Lapis 4				
	Spesimen 1	20,4	399	0,444	0,0844%
	Spesimen 2	14,5	386	0,342	0,0651%
	Spesimen 3	23,2	390	0,406	0,0746%
4	Lapis 5				
	Spesimen 1	15,2	315	0,31	0,0029%
	Spesimen 2	19,8	198	0,344	0,0023%
	Spesimen 3	23,2	323	0,298	0,0024%



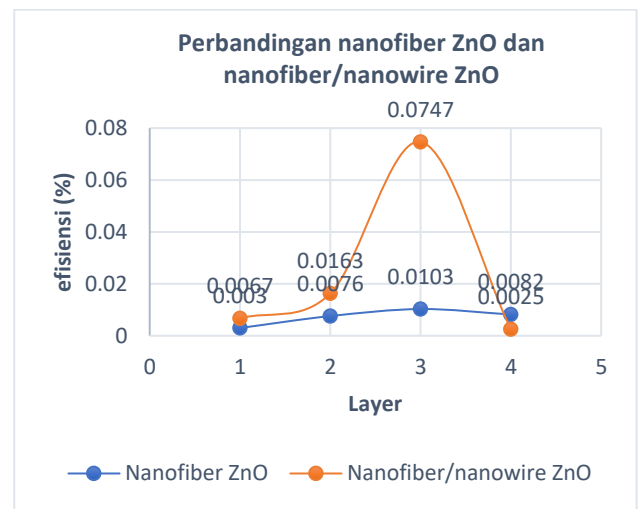
Grafik 3.2. Grafik hubungan antara I dan V pada DSSC dengan semikonduktor nanofiber/nanowire ZnO

Pada pengujian I - V, DSSC dengan semikonduktor *nanofiber/nanowire* ZnO didapatkan lapisan terbaik untuk unjuk kerja DSSC terdapat pada lapis ke empat. Dari lapisan 1 layer hingga 4 layer mengalami kenaikan yang signifikan, karena luasan aktif semikonduktor meningkat. Sehingga didapatkan hasil arus dan voltase dengan nilai yang tinggi, akan tetapi DSSC dengan 5 lapis *nanofiber/nanowire* ZnO mengalami penurunan nilai arus maupun voltase, karena semakin banyak lapisan struktur semikonduktor *nanofiber/nanowire* ZnO akan berpengaruh terhadap nilai transparansi kaca FTO.

Nanofiber/nanowire ZnO yang dideposisikan ke kaca FTO sebanyak 4 kali menghasilkan nilai arus dan voltase yang tinggi, disini lain proses eksitasi

elektron berlangsung lama dan stabil. Hal ini dikarenakan luasan aktif dan juga densitas dari ZnO yang semakin tinggi berpengaruh terhadap banyaknya molekul dye yang terabsorpsi dalam semikonduktor ZnO, sehingga eksitasi elektron dalam proses *fotoelectrict* juga akan meningkat.

Proses *hydrothermal* yang berperan penting dalam pertumbuhan kristal menghasilkan nilai arus dan voltase dengan perbedaan yang kontras. Perbandingan antara nanofiber ZnO sebelum dan setelah perlakuan proses *hydrothermal* disajikan dalam bentuk grafik berikut.



Grafik 3.3. Perbandingan hasil pengujian I - V sebelum dan setelah proses *hydrothermal* nanofiber ZnO

Grafik 3.3 menunjukkan bahwa proses *hydrothermal* berperan penting dalam proses penumbuhan kristal ZnO dalam bentuk hexagonal wurzite. Nanowire ZnO tumbuh 360 derajat pada permukaan nanofiber. Dengan luasan aktif yang meningkat maka lebih banyak molekul dye yang terabsorpsi pada semikonduktor ZnO, sehingga proses eksitasi elektron akan meningkat dan akan meningkatkan unjuk kerja dari DSSC. Pada grafik 3.3 didapatkan bahwa nilai arus dan voltase tertinggi terdapat pada nanofiber/nanowire ZnO 4 layer dengan efisiensi 0,0747%. Pada layer ke lima baik nanofiber ZnO maupun nanofiber/nanowire ZnO mengalami penurunan efisiensi. Hal ini dikarenakan transparansi kaca FTO akan berkurang dengan bertambahnya jumlah lapisan semikonduktor ZnO.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka peneliti dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan metode *electrospinning* yang murah dan efisien, *nanofiber* ZnO berhasil dibuat.
2. Proses *hydrothermal* berperan aktif dalam pertumbuhan *single crystal* ZnO

3. Efisiensi tertinggi terdapat pada *nanofiber* ZnO dengan nilai 0,01% dan *nanofiber/nanowire* ZnO dengan nilai 0,74%.
4. Unjuk kerja DSSC pada lapisan semikonduktor *nanofiber/nanowire* ZnO maupun *nanofiber* ZnO mengalami kenaikan dari 1 layer hingga 4 layer, akan tetapi pada 5 layer mengalami penurunan unjuk kerja.

SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi *dye* baik dari sintesis maupun ekstraksi.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai resistansi dan transparansi TCO untuk meningkatkan proses eksitasi elektron pada DSSC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Endres, D., & Mazumder, S. (2011). Numerical investigation of pulsed chemical vapor deposition of aluminum nitride to reduce particle formation. *Journal of Crystal Growth*, 335(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2011.08.041>
- [2] Hu, H., Huang, X., Deng, C., Chen, X., & Qian, Y. (2007). Hydrothermal synthesis of ZnO nanowires and nanobelts on a large scale. *Materials Chemistry and Physics*, 106(1), 58–62. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.05.016>
- [3] Imran, M., Haider, S., Ahmad, K., Mahmood, A., & Al-masry, W. A. (2017). Fabrication and characterization of zinc oxide nanofibers for renewable energy applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1067–S1072. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.01.013>
- [4] Kang, M. S., Lee, C. H., Park, J. B., Yoo, H., & Yi, G. C. (2012). Gallium nitride nanostructures for light-emitting diode applications. *Nano Energy*, 1(3), 391–400. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.03.005>
- [5] Lupan, O., Guérin, V. M., Ghimpu, L., Tiginyanu, I. M., & Pauporté, T. (2012). Nanofibrous-like ZnO layers deposited by magnetron sputtering and their integration in dye-sensitized solar cells. *Chemical Physics Letters*, 550, 125–129. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2012.08.071>
- [6] Mccune, M., Zhang, W., & Deng, Y. (2012). High Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells Based on Three-Dimensional Multilayered ZnO Nanowire Arrays with “Caterpillar-like” Structure. *Nano Letters*, 12, 3656–3662. <https://doi.org/10.1021/nl301407b>
- [7] Park, J. A., Moon, J., Lee, S. J., Lim, S. C., & Zyung, T. (2009). Fabrication and characterization of ZnO nanofibers by electrospinning. *Current Applied Physics*, 9(3 SUPPL.), S210–S212. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.01.044>
- [8] Vittal, R., & Ho, K.-C. (2016). Zinc oxide based dye-sensitized solar cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (November), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.273>
- [9] Wong, K. K., Ng, A., Chen, X. Y., Ng, Y. H., Leung, Y. H., Ho, K. H., ... Phillips, D. L. (2012). Effect of ZnO nanoparticle properties on dye-sensitized solar cell performance. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(3), 1254–1261. <https://doi.org/10.1021/am201424d>
- [10] Wu, J.-J., & Liu, S.-C. (2002). Low-Temperature Growth of Well-Aligned ZnO Nanorods by Chemical Vapor Deposition. *Advanced Materials*, 14(3), 215–218. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020205\)14:3<215::AID-ADMA215>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020205)14:3<215::AID-ADMA215>3.0.CO;2-J)
- [11] Yandri, V. R., & Andalas, P. U. (2012). PROSPEK PENGEMBANGAN ENERGI SURYA UNTUK, 4(1), 14–19.