

PEMBUATAN SERAT NANO PVA/TiO₂/Zat Warna MENGUNAKAN ELEKTROSPINNING SEBAGAI SEL SURYA DSSC MENGGUNAKAN ELEKTRODA KAIN FIBERGLASS/TINTA KARBON

Juan Prianto¹, Valentinus Galih Vidia Putra¹, Juliany Ningsih Mohamad²

¹ Applied Magister of Textile Engineering and Apparel, Politeknik STTT Bandung, Jl. Jakarta No. 31, Bandung, 40272, Indonesia

² Department of physics, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adi Sucipto Penfui, Kupang, 85001, Indonesia
E-mail: jualanlie2604@gmail.com

Abstrak

Sebagai wilayah tropis, Indonesia mempunyai banyak area yang disinari matahari dengan baik. Oleh karena itu energi terbarukan yang berasal dari energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif selain energi dari bahan bakar fosil. Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah sel surya (fotovoltaik) yang mampu mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa menghasilkan emisi gas buang apapun. Salah satu bentuk umum dari sel surya adalah Dye Sensitized Solar Cells yang memanfaatkan zat warna sebagai photosensitizer. Agar DSSC dapat menghasilkan tegangan dan arus yang tinggi, diperlukan semikonduktor yang memiliki bandgap rendah. Cara untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan adalah dengan memperkecil ukuran molekul dengan memperkecil jarak antar atom semikonduktor ataupun dengan memperkecil jarak antar molekulnya. Penggunaan elektrospinning dalam pembuatan serat nano diharapkan dapat memperkecil jarak atau ukuran molekul dari semikonduktor yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan campuran PVA/TiO₂ sebagai semikonduktornya karena TiO₂ memiliki bandgap yang rendah dan tersedia dengan harga murah secara komersial. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah mulai dari pembuatan campuran zat PVA/TiO₂ lalu proses elektrospinning pengujian menggunakan SEM dan pengujian tegangan serta arus pada susunan DSSC. Pada penelitian ini digunakan zat warna antosianin yang berasal dari wortel sebagai photosensitizer. Setelah direndam zat warna dilakukan proses curing lalu ditambahkan elektrolit dan DSSC disusun menyerupai sandwich. Elektrolit yang digunakan adalah campuran KI/I₂ yang dibuat dalam bentuk gel sebagai variabel tetap. Pada penelitian ini dilakukan pengujian SEM untuk melihat morfologi dan ukuran dari serat PVA/TiO₂. Dilakukan pengujian UV-Vis pada larutan PVA/TiO₂ dan larutan zat warna. Dilihat dari pengujian SEM, lapisan tipis PVA/TiO₂ dapat dibentuk menggunakan elektrospinning tegangan 20kV dan waktu 240 detik yang menghasilkan ukuran serat dengan rata – rata sebesar 177,6nm. Energi gap dari serat nano PVA/TiO₂ yang dihasilkan sebesar 2,8eV. Tegangan yang dihasilkan pada saat sel surya terpapar sinar matahari sebesar 53mV sementara tegangan yang dihasilkan pada saat sel surya tidak terpapar sinar sebesar 8mV. Arus dihasilkan pada saat sel surya terpapar sinar matahari sebesar 26,5µA sementara arus yang dihasilkan pada saat sel surya tidak terpapar sinar matahari sebesar 4µA.

Kata Kunci: TiO₂, elektrospinning, DSSC

Abstract

Indonesia as tropical islands have many areas that are exposed to sunlight therefore renewable energy from solar energy can be utilized as an alternative other than energy from fossil fuels. Alternative energy which has great potential but is not yet fully utilized are solar cells (photovoltaic) that can convert solar energy directly from sunlight into electrical energy without producing any emission gasses. One of the common forms of solar cells is Dye-Sensitized Solar Cells that utilize dyes to be used as photosensitizers. In order for DSSC to produce high voltage and current, a semiconductor with a low bandgap is needed. The way to increase the resulting voltage is to reduce the size of the molecule by reducing the distance between the semiconductor atoms or by reducing the distance between the molecules. The use of electrospinning in the manufacturing of thin-film nanofiber is expected to reduce the distance between molecules of the used semiconductor. In this study, the mixture of PVA/TiO₂ is

used as a semiconductor because of the low bandgap of TiO₂, low price, and commercially available. The stages that are carried in this study are started from making a mixture solution of PVA/TiO₂ then the electrospinning process, SEM test, and voltage and current measurement from the DSSC array. In this study, the dye used as a photosensitizer is anthocyanin dye from carrot. After the dipping of dyes, the fabric is then cured and the electrolyte is added and piled up like a sandwich. The electrolyte that used in this study is the mixture of KI/I₂ in solid form as a fixed variable. SEM test is done to see the nanofiber morphology and fiber size of a thin film of PVA/TiO₂. UV-Vis test was performed on PVA/TiO₂ solution and dye solution. Judging from the SEM test, a thin layer of PVA/TiO₂ can be formed using electrospinning with a voltage of 20kV and a time of 240 seconds which produces an average fiber size of 177.6nm. The energy gap of the PVA/TiO₂ nanofibers produced is 2.8eV. The voltage generated when the solar cell is exposed to sunlight is 53mV while the voltage generated when the solar cell is not exposed to light is 8mV. The current generated when the solar cell is exposed to sunlight is 26.5μA. while the current generated when the solar cell is not exposed to sunlight is 4μA.

Keywords: TiO₂, electrospinning, DSSC

PENDAHULUAN

Jumlah energi yang dapat diperbaharui semakin sedikit setiap tahunnya sehingga diperlukan adanya energi alternatif. Selain bahan bakar fosil, salah satu sumber energi yang dapat dijadikan alternatif adalah sinar matahari. Indonesia sebagai wilayah tropis memiliki banyak area yang langsung terkena sinar matahari dengan baik, sehingga energi terbarukan yang berasal dari sinar matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif. Sel surya adalah salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal yang dapat mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik tanpa menghasilkan emisi gas buangan. Kelebihan utama dari sel surya adalah energi tersebut dapat langsung diubah dari sinar matahari menjadi energi listrik hanya dengan panel surya fotovoltaik yang sangat kecil [1]. Beberapa peneliti menyatakan bahwa perkembangan fabrikasi sel surya umumnya untuk menciptakan sel surya yang memiliki karakteristik ringan, portable dan fleksibel serta dapat menghasilkan tegangan dan efisiensi yang tinggi [2,3,4,5].

Pengembangan sel surya untuk mendapatkan karakteristik tersebut ada berbagai macam seperti menjahitkan kabel Ti yang dilapisi TiO₂ dan *fiberglass* sebagai counter electrode nya pada kain kapas untuk menghasilkan DSSC yang fleksibel dan *wearable* [5], mengganti kaca ITO dengan kawat logam sebagai anoda dan kain CNT sebagai counter electrode sehingga menghasilkan panel surya yang elastis, *wearable* serta memiliki ketahanan yang tinggi, namun perkembangan tersebut memiliki

kekurangannya masing – masing seperti diperlukannya teknologi dan biaya produksi yang sangat tinggi dan kekuatan fisik yang kurang baik [4,6]. Untuk menanggulangi kekurangan tersebut telah dibuat DSSC yang terbuat dari kain TC dan *fiberglass* sebagai *working electrode* (anoda) dan plastik elastis PET/ITO sebagai *counter electrode* (katoda) dan ditambahkan *sealant* untuk menghindari kebocoran elektrolit. DSSC yang dibentuk memiliki ketahanan fisik yang cukup baik dan juga harganya murah, tetapi karena katoda yang dipakai adalah plastik PET/ITO terdapat resiko terjadinya retakan atau patah pada bagian katoda bila terlalu banyak digerakan atau dilipat. Untuk menghindari hal itu pada penelitian ini digunakan kain *fiberglass*/tinta karbon sebagai material konduktif [7,8]. Pada pembuatan DSSC diperlukan 2 elektroda konduktif, semikonduktor, zat warna dan elektrolit. Semikonduktor yang umumnya dipakai adalah TiO₂ terutama yang berukuran nano karena memiliki *band gap* yang rendah sehingga memudahkan elektron untuk tereksitasi [9]. TiO₂ yang berukuran nano memiliki *wavenumber* yang lebih tinggi dibandingkan dengan TiO₂ biasa sehingga dapat menghasilkan energi yang lebih tinggi. Selain membuat ukuran semikonduktor menjadi ukuran yang lebih kecil cara untuk meningkatkan *wavenumber* adalah dengan memperkecil jarak antar molekul semikonduktor [10]. Metode pelapisan zat TiO₂ umumnya dilakukan dengan metode *knife coating*. Ada banyak metode lain yang dapat digunakan untuk pelapisan zat TiO₂ dan salah satunya adalah dengan pembuatan lapisan serat tipis nano TiO₂. Campuran TiO₂ (diambil dari TiF₄) dengan PVAc yang dibuat menjadi lapisan

tipis menggunakan elektrospinning dapat menghasilkan lapisan tipis dengan ukuran sekitar $2\mu\text{m}$ dan lapisan tersebut dapat digunakan untuk membuat sel surya photovoltaic [11,12]. Pada penelitian ini digunakan zat warna alam antosianin yang diambil dari wortel sebagai variabel tetap. Tidak digunakannya zat warna sintetik rhuteum dikarenakan ketersediaannya yang terbatas dan berbahaya bagi kesehatan manusia [13,14]. Pada penelitian ini juga digunakan elektrolit campuran KI/I_2 sebagai variabel tetap. Elektrolit diubah menjadi bentuk gel dengan menambahkan PVA untuk mengurangi resiko kebocoran elektrolit dikarenakan penggunaan material konduktif dari bahan kain tekstil yang memiliki rongga [15,16,17,18].

Mengacu pada latar belakang tersebut, pada penelitian ini digunakan elektrospinning dengan harapan dapat memperkecil jarak antar molekul ataupun memperkecil ukuran molekul TiO_2 dengan mencampurkan TiO_2 dengan PVA dan dibuat dalam bentuk serat nano sehingga akan didapatkan tegangan yang besar menggunakan TiO_2 komersil dengan ukuran yang bukan nanometer untuk mengurangi biaya produksinya. Digunakan kain *fiberglass*/tinta karbon sebagai material konduktifnya karena penulis ingin memanfaatkan material tekstil untuk mendapatkan DSSC yang fleksibel dan ringan dan belum ada penelitian yang menggunakan semikonduktor serat nano PVA/TiO_2 dari hasil elektrospinning yang disusun dalam rancangan DSSC yang elektrodanya terbuat dari kain *fiberglass*/tinta karbon. Penggunaan campuran TiO_2 komersil dengan PVA pada DSSC yang menggunakan kain *fiberglass*/karbon sebagai elektrodanya dijadikan *state of the art* pada penelitian ini.

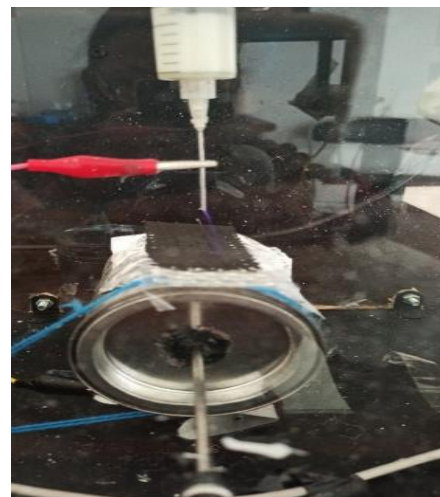
MATERIAL

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah TiO_2 anatase yang dibeli dari PT. Bratachem, Bandung, Indonesia. Polivinil Alkohol (PVA) dibeli dari PT. Bratachem, Bandung, Indonesia. Kain *fiberglass*/tinta karbon difabrikasi di Lab Mekratonika Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Indonesia. Larutan elektrolit campuran KI/I_2 didapatkan dari Lab Kimia Umum Politeknik STTT Bandung, Indonesia. Wortel 250gr dibeli dari pasar tradisional Bandung, Indonesia. Alat yang digunakan pada studi ini adalah Electrospinning

(Lab Mekatronika Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Indonesia); AVOMeter analog CE-TECH YX-360TR; Stenter (Lab Pencapan, Politeknik STTT Bandung, Indonesia); Magnetic stirrer (Lab Evaluasi Kimia, Politeknik STTT Bandung, Indonesia); Scanning Electron Microscopy (SEM) (Balai Besar Tesktil, Bandung, Indonesia); Indonesia); Spectrotometer UV-Vis (Lab Sintesa Kimia dan Polimer, Politeknik STTT Bandung, Indonesia).

METODA

Elektroda kerja disusun dari kain *fiberglass*/tinta karbon sebagai pengganti dari kaca Indium Tin Oxide (ITO) dan dilapisi semikonduktor yang terbentuk dari serat nano campuran PVA/TiO_2 yang didapatkan dari proses elektrospinning. Larutan PVA/TiO_2 dibuat dengan mencampurkan 10g PVA dengan 10g TiO_2 lalu dilarutkan dengan 100ml air menggunakan magnetic stirrer. Kain *fiberglass*/tinta karbon dilapisi dengan larutan PVA/TiO_2 menggunakan teknik pelapisan tipis dengan elektrospinning. Proses ini dilakukan pada tegangan 20kV selama 240 detik. Proses saat sebelum dan sesudah elektrospinning dapat dilihat pada Gambar 1.



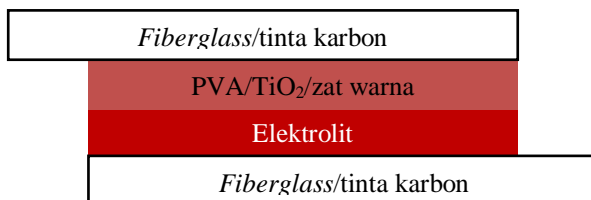
(a)



(b)

Gambar 1. Proses elektrospinning (a) sebelum; (b) sesudah

Dilakukan penyusunan DSSC sebagai berikut : elektroda kerja, *photosensitizer*, elektrolit dan elektroda pasif. Kain direndam dalam zat warna sebagai *photosensitizer* selama 30 menit lalu dilakukan proses *curing* dengan suhu 200°C selama 300 detik. Elektrolit yang terbuat dari campuran PVA/KI/I₂ ditambahkan diatas elektroda kerja dan disusun menyerupai *sandwich* dengan elektroda pasif. Penyusunan DSSC dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema penyusunan DSSC

Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) dilakukan pada lapisan tipis serat nano PVA/TiO₂. Pengujian ini bertujuan untuk melihat morfologi dari serat nano dan melihat ukuran serat nano tersebut. Pengujian UV-Vis dilakukan pada larutan PVA.TiO₂ untuk menghitung energi gap dari kedua zat tersebut. Perhitungan energi gap dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$Eg = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Dimana

h : konstanta Planck ($6,52 \times 10^{-34} Js$)

c : kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 ms^{-2}$)

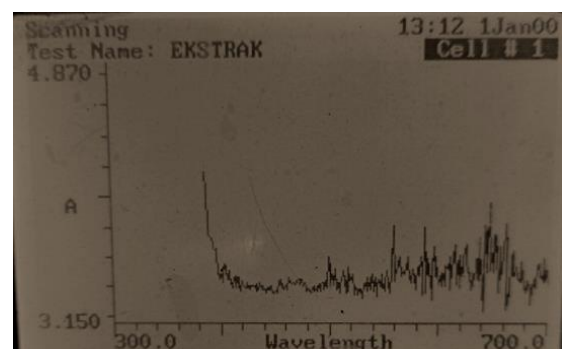
λ : panjang gelombang

Pengukuran ini dilakukan pada kondisi saat DSSC tidak terpapar sinar matahari dan saat DSSC terpapar sinar matahari langsung. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan menggunakan AVometer pada sel surya yang telah disusun. Pengambilan data pada kondisi tidak terpapar sinar dilakukan sesaat setelah sel surya disusun sementara pengeambilan data saat kondisi terpapar sinar matahari langsung dilakukan setelah sel surya terpapar sinar matahari langsung pada jam 12.00 siang hari di Politeknik STTT Bandung.

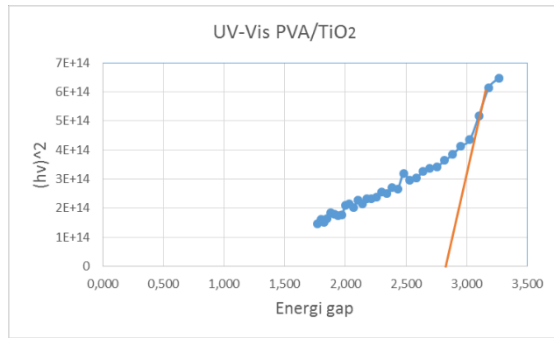
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil proses palapisan dengan elektrospinning, serat nano PVA/TiO₂ yang terbentuk adalah seluas 3 x 3 cm². Dilakukan pengukuran hambatan menggunakan AVO meter untuk melihat apakah serat nano PVA/TiO₂ sudah melapisi sisi konduktif dari karbon atau belum dan hasil menunjukan bahwa bagian karbon tersebut telah terlapisi dengan baik sehingga tidak ada hambatan yang terukur pada AVometer.

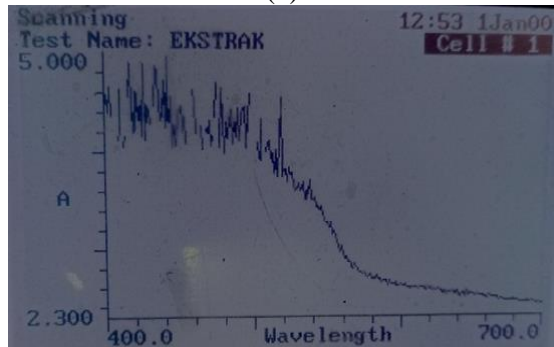
Pada pengujian UV-Vis yang dapat dilihat pada Gambar 3 hasil pengujian menunjukan bahwa energi gap dari PVA/TiO₂/zat warna lebih kecil dibandingkan dengan larutan PVA/TiO₂. Energi gap PVA/TiO₂ sebesar 2,8eV sementara energi gap PVA/TiO₂/zat warna sebesar 2eV. Hal ini menyatakan bahwa zat warna antosianin dari wortel dapat digunakan dalam penyusunan DSSC ini dan perbedaan energi gap antara kedua larutan tersebut tidak tinggi sehingga elektron akan mudah tereksitasi dari zat warna ke semikonduktor.



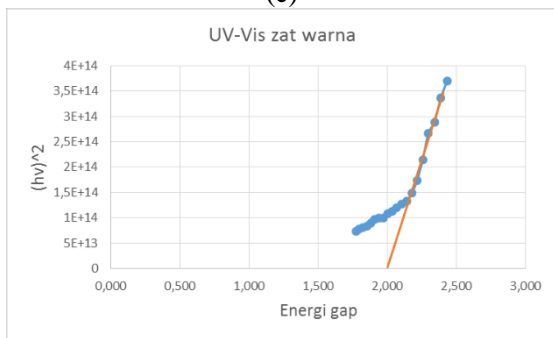
(a)



(b)



(c)



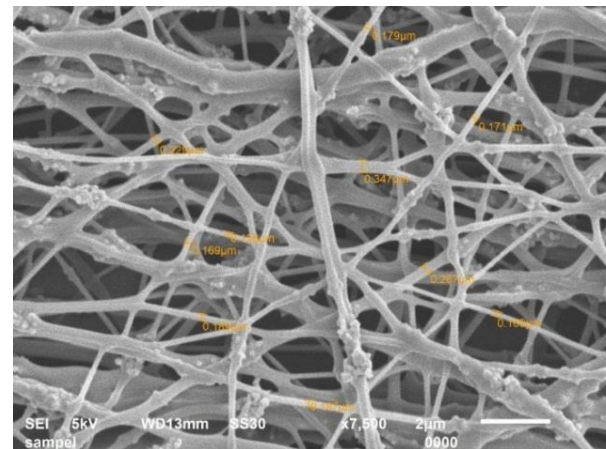
(d)

Gambar 3. (a) Hasil UV-Vis PVA/TiO₂ (b) perhitungan energi gap PVA/TiO₂ (c) hasil UV-Vis PVA/TiO₂/zat warna (d) perhitungan energi gap PVA/TiO₂/zat warna

Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa dengan elektrospinning, serat nano dari larutan PVA/TiO₂/zat warna dapat dibentuk dengan tegangan 20kV selama 240 detik. Rata – rata ukuran dari serat nano yang terbentuk adalah sebesar 177,6nm.

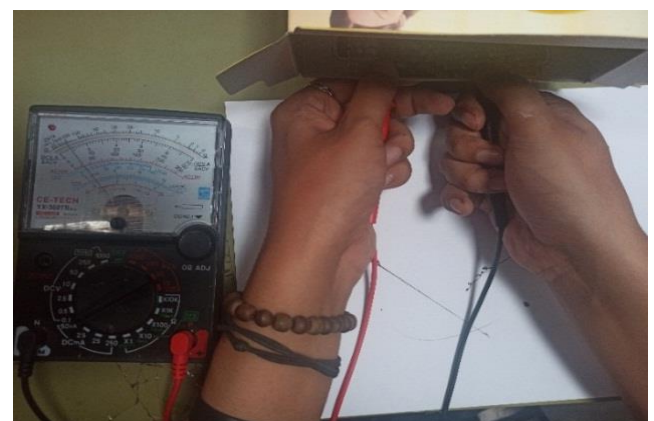
Pada pengujian tegangan dan arus menggunakan AVometer, tegangan yang didapatkan adalah sebesar 53mV sementara arus yang didapatkan adalah sebesar 26,5μA pada saat sel surya terpapar sinar matahari. Pada saat sel surya tidak terpapar sinar matahari, tegangan yang didapatkan adalah sebesar 8mV dan arus yang didapatkan adalah sebesar 4μA.

Hasil ini menunjukkan bahwa DSSC telah tersusun dengan baik dan setiap bagiannya berfungsi dengan baik.



Gambar 4. Hasil pengujian SEM

Cara pengambilan data tegangan dan arus dari DSSC yang telah disusun dapat dilihat pada Gambar 5



(a)



(b)

Gambar 5. Cara pengambilan data tegangan dan arus (a) tidak terpapar sinar (b) terpapar sinar matahari

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa serat nano PVA/TiO₂/zat warna dapat dibentuk menggunakan elektrospinning dengan tegangan output maksimum 20 kV selama 240 detik. Ukuran serat nano tersebut adalah sebesar 177,6nm. Didapatkan hasil output berupa tegangan sebesar 53mV saat terpapar sinar matahari dan 8mV saat tidak terpapar. Didapatkan arus sebesar 26,5μA saat terpapar sinar matahari dan 4μA saat tidak terpapar. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa serat nano dapat dibentuk dari campuran PVA/TiO₂/zat warna menggunakan elektrospinning dan dapat dijadikan elektroda aktif pada DSSC dari kain *fiberglass*/tinta karbon.

Saran yang dapat disampaikan tim penulis untuk penelitian selanjutnya adalah perlunya dilakukan pengukuran ketebalan dari serat nano tersebut menggunakan alat uji TEM dan juga perlu dilakukan perbandingan hasil tegangan dan arus antara semikonduktor hasil dari penelitian dengan semikonduktor yang tidak diproses.

UCAPAN TERIMAKASIH

Karya ini disponsori oleh Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (UPPM) Politeknik STTT Bandung dan Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Para penulis berterima kasih atas dukungan dan kontribusi untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Shaik, M.R.S, Santosh B. Waghmare, Suvarna Shankar Labade, Pooja Vittal Fuke & Anil Tekale. A Review Paper on Electricity Generation from Solar Energy. *IJRASET*. 2017
- 2 Cheng Yen-Ju, Sheng-Hsiung Yang, & Chain-Shu Hsu. Synthesis of Conjugated Polymers for Organic Solar Cell Applications. *ACS Publication : Chemistry Review*. 2009
- 3 Lipomi Darren.J, Benjamin C.-K. Tee, Michael Vosgueritchian & Zhenan Bao. Stretchable Organic Solar Cells. *Advanced Materials*. 2011
- 4 Pan Shaowu, Zhibin Yang, Peining Chen, Jue Deng, Houpu Li, & Huisheng Peng. Wearable Solar Cells by Stacking Textile Electrodes. *Angewandte Chemie*. 2014
- 5 Yun Min Ju, Seung I. Cha, Seon Hee Seo & Dong Y. Lee. Highly Flexible Dye-sensitized Solar Cells Produced by Sewing Textile Electrodes on Cloth. *Scientific Reports*. 2014
- 6 Wen Zhen, Min-Hsin Yeh, Hengyu Guo, Jie Wang, Yunlong Zi, Weidong Xu, Jianan Deng, Lei Zhu, Xin Wang, Chenguo Hu, Liping Zhu, Xuhui Sun & Zhong Lin Wang. Self-powered textile for wearable electronics by hybridizing fiber-shaped nanogenerators, solar cells, and supercapacitors. *Science Advances*. 2016
- 7 Liu Jingqi, Yi Li, Sheng Yong, Sasikumar Arumugam & Steve Beeby. Flexible printed Monolithic-structured solid-state Dye sensitized solar Cells on Woven Glass Fibre textile for Wearable energy Harvesting Applications. *Scientific Reports*. 2018
- 8 Liu Jingqi, YiLi, Menglong Li, Sasikumar Arumugam & Stephen P Beeby. Processing of Printed Dye Sensitized Solar Cells on Woven Textiles. *IEEE*. 2019
- 9 Lee Joon Seok, Kyeong Hwan You, & Chan Beum Park. Highly Photoactive, Low Bandgap TiO₂ Nanoparticles Wrapped by Graphene. *Advanced Materials*. 2012
- 10 Colinge J.P dan Chyntia A. Colinge. Physics of Semiconductor Devices. KLUWER ACADEMIC PUBLISHER. 2002
- 11 Bharat, S & Kattamuri, Kumar & Potti, Lakshmanarao & Vin, Anjaneyulu & Bandi, Veeranjanyulu & Chagantipati, Sreeram & Rk, Mogili. Nanofibers In Pharmaceuticals-A Review. 2012
- 12 Onozuka Katsuhiko, Bin Ding, Yosuke Tsuge, Takayuki Naka, Michiyo Yamazaki, Shinichiro Sugi, Shingo Ohno, Masato Yoshikawa, Seimei Shiratori. Electrospinning processed nanofibrous TiO₂ membranes for photovoltaic applications. *Institute of Physics Publishing : Nanotechnology*. 2006
- 13 Hardani, Cari dan Agus Supriyanto. Characteristics Ruthenium (N719) as a

- 14 Photosensitizer in Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC).Prosiding SNFA. 2020
Khairullah Mohamad Haekal, Risa Suryana, dan Fahru Nurosyid. Pembuatan Nanofiber Campuran TiO₂ dan Karbon dengan Metode Electrospinning. Materials Science. 2017
- 15 Cavus S dan E.Durgun. Poly(vinyl alcohol) Based Polymer Gel Electrolytes: Investigation on Their Conductivity and Characterization. ACTA PHYSICA POLONICA. 2016
- 16 Gu Peng, Dingyu Yang, Xinghua Zhu, Hui Sun, Peihua Wangyang, Jitao Li, & Haibo Tian. Influence of electrolyte proportion on the performance of dye-sensitized solar cells. *AIP Advances*. 2017
- 17 Su'aita M.S, M.Y.A. Rahman& A. Ahmad. Review on polymer electrolyte in dye-sensitized solar cells (DSSCs). *Elsevier*. 2015
- 18 Wu Jihuai,Zhang Lan, Jianming Lin, Miaoliang Huang, Yunfang Huang, Leqing Fan, & Genggeng Luo. Electrolytes in Dye-Sensitized Solar Cells. *ACS Publication : Chemistry Review*. 2015