



**SIMULASI UNJUK KERJA *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
MENGUNAKAN VARIASI KETEBALAN
PHOTOELEKTRODA TiO_2**

TESIS

Oleh
Nova Alviati
NIM 161820201003

**MAGISTER FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**SIMULASI UNJUK KERJA *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
MENGUNAKAN VARIASI KETEBALAN
PHOTOELEKTRODA TiO_2**

TESIS

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Magister Fisika (S2) dan mencapai gelar Magister Sains

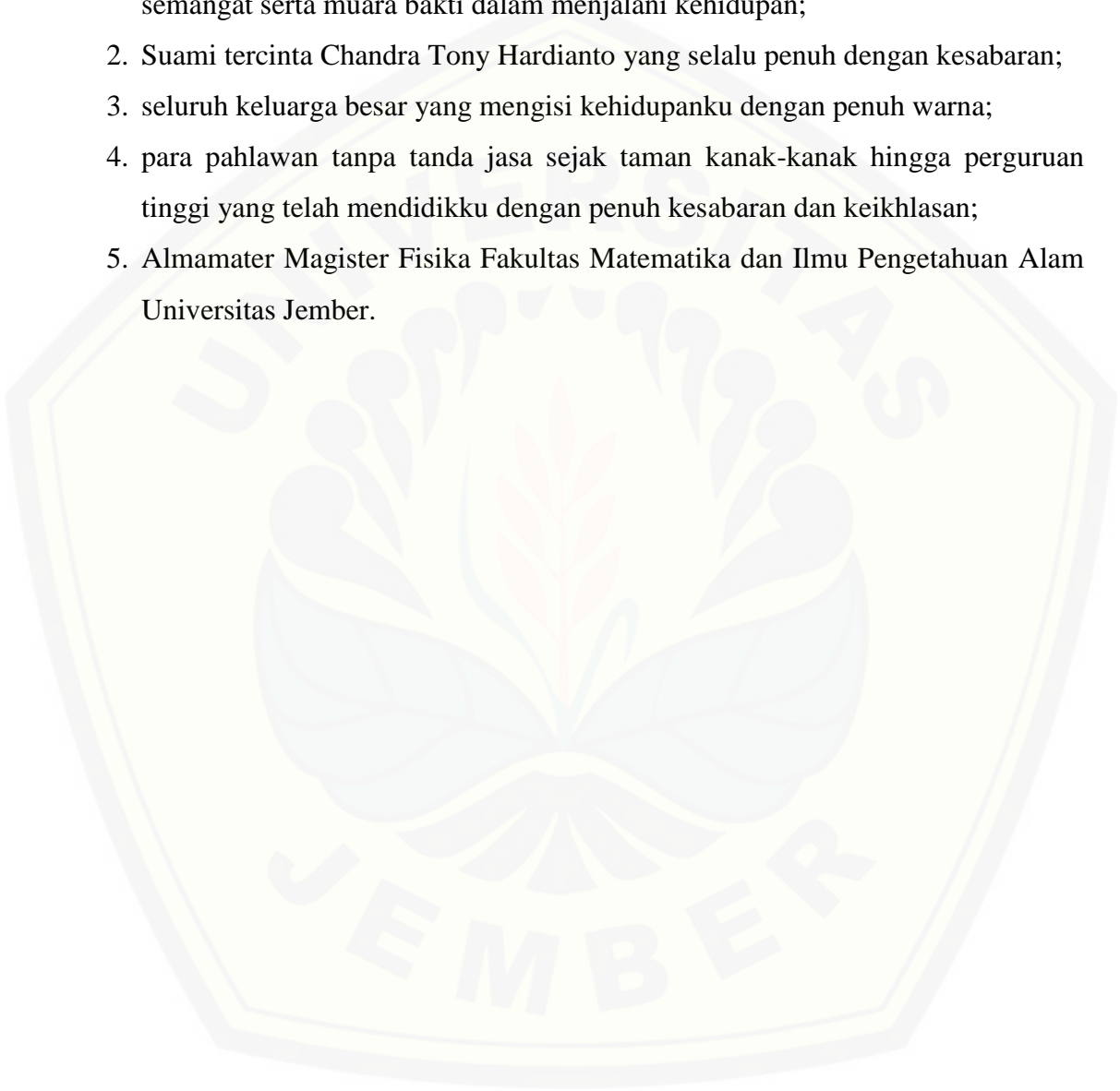
Oleh
Nova Alviati
NIM 161820201003

**MAGISTER FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Tesis ini Saya persembahkan untuk:

1. Ibu Sri Hartatik dan Bapak Khudori yang selalu menjadi inspirasi, sumber semangat serta muara bakti dalam menjalani kehidupan;
2. Suami tercinta Chandra Tony Hardianto yang selalu penuh dengan kesabaran;
3. seluruh keluarga besar yang mengisi kehidupanku dengan penuh warna;
4. para pahlawan tanpa tanda jasa sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidikku dengan penuh kesabaran dan keikhlasan;
5. Almamater Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



MOTO

“Dan perumpamaan-perumpamaan ini Kami buat untuk manusia; dan tidak ada yang akan memahaminya kecuali mereka yang berilmu.”
(terjemahan Surat *Al-Ankabut* ayat 43)^{*}

“The purpose of computing is insight, not numbers.”
(Richard W. Hamming)^{**}



^{*} Departemen Agama Republik Indonesia. 2002. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Surabaya: Mahkota.

^{**} <http://www.brainyquote.com/quotes/quotes/r/richardham645682.html>.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Nova Alviati

NIM : 161820201003

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Simulasi Unjuk Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO_2 ” adalah benar-benar hasil karya ilmiah antara dosen pembimbing dan saya selaku mahasiswa, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Januari 2020

Yang menyatakan,

Nova Alviati, S.Si
NIM 161820201003

TESIS

**SIMULASI UNJUK KERJA *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
MENGUNAKAN VARIASI KETEBALAN
PHOTOELEKTRODA TiO_2**

Oleh
Nova Alviati
NIM 161820201003

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Tesis berjudul “Simulasi Unjuk Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO_2 ” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 24 Januari 2020

tempat : Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji:

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.
NIP. 196712151998021001

Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.
NIP. 197208201998021001

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Prof. Drs. Agus Subekti, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196008011984031002

Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197202101998021001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas MIPA,

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Simulasi Investigasi Unjuk Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO_2 ; Nova Alviati, 161820201003; 2020: 50 halaman; Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan sel surya generasi ketiga yang ramah lingkungan serta ekonomis, tetapi nilai efisiensi konversi energinya masih lebih rendah dibanding sel surya generasi pertama dan sel surya generasi kedua. Jika ditinjau secara teoritis kinerja DSSC ini masih dapat ditingkatkan. Hal ini menyebabkan pengembangan penelitian mengenai DSSC menarik untuk dilakukan dengan harapan dapat tercapainya peningkatan kinerja pada DSSC. Upaya peningkatan kinerja DSSC dapat dilakukan dengan mengoptimasi komponen-komponen dasar penyusunnya. Beberapa komponen dasar penyusun DSSC yaitu photoelektroda, zat pewarna (*dye*), elektrolit, dan *counter* elektroda. Salah satu komponen dasar dari DSSC yang mampu menunjang kinerjanya yaitu photoelektroda.

Photoelektroda merupakan komponen pada DSSC yang berfungsi menyediakan permukaan yang luas untuk memuat zat pewarna (*dye*) dan meneruskan elektron fotogenerasi menuju ke sirkuit eksternal DSSC. Pada komponen photoelektroda ini dilapisi dengan material semikonduktor. Material semikonduktor yang memiliki kestabilan tinggi terhadap cahaya matahari serta tidak berbahaya bagi lingkungan yaitu Titanium Dioksida (TiO_2), sehingga dalam penelitian ini digunakan TiO_2 sebagai lapisan semikonduktor pada photoelektroda.

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi investigasi unjuk kerja DSSC dengan menggunakan variasi ketebalan photoelektroda TiO_2 . Kegiatan simulasi menggunakan variasi ketebalan photoelektroda TiO_2 dimulai dari skala nanometer (1 nm) sampai dengan skala mikrometer (100 μm). Setiap perubahan ketebalan photoelektroda TiO_2 tersebut mempengaruhi nilai parameter-parameter kelistrikan pada DSSC yaitu rapat arus listrik *short circuit* (J_{sc}), tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}), daya listrik maksimum (P_{max}), dan efisiensi DSSC (η). Berdasarkan kegiatan simulasi ini diperoleh nilai ketebalan photoelektroda TiO_2 optimum yang diindikasikan dengan tingginya nilai parameter-parameter kelistrikan yang dihasilkan pada ketebalan tersebut. Selanjutnya setelah diperoleh nilai ketebalan optimum photoelektroda TiO_2 , maka dilakukan simulasi variasi nilai mobilitas elektron akibat perubahan temperatur DSSC pada nilai ketebalan photoelektroda TiO_2 tersebut. Hal ini dilakukan karena faktor temperatur menjadi faktor eksternal yang mampu mempengaruhi kinerja DSSC. Nilai temperatur yang disimulasikan yaitu 273 K sampai dengan 373 K dengan rentang 10 K dengan masing-masing variasi temperatur ini menyebabkan perubahan terhadap nilai mobilitas elektron di dalam TiO_2 .

Hasil penelitian berupa grafik hubungan antara rapat arus listrik *short circuit* (J_{sc}) terhadap tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}) yaitu grafik J-V, grafik hubungan antara daya listrik maksimum (P_{max}) terhadap tegangan listrik *open*

circuit (V_{oc}) yaitu grafik P-V, dan grafik hubungan antara nilai efisiensi DSSC (η) terhadap ketebalan photoelektroda TiO_2 (d) yaitu grafik (η - d). Berdasarkan kegiatan simulasi diperoleh bahwa nilai ketebalan photoelektroda TiO_2 optimum sebesar $5 \mu m$ dengan nilai rapat arus listrik *short circuit* (J_{sc}) sebesar $0,0145 A/cm^2$; nilai tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}) sebesar $0,6079 V$; nilai daya listrik maksimum (P_{max}) sebesar $0,0049 VA/cm^2$; nilai *fill factor* sebesar $0,5558$; dan nilai efisiensi sebesar $4,90 \%$. Selanjutnya, hasil simulasi perubahan nilai mobilitas elektron pada ketebalan optimum photoelektroda TiO_2 ($5 \mu m$) menunjukkan bahwa ketika nilai mobilitas elektron sebesar $0,0155 cm^2/Vs$ diperoleh hasil performa DSSC yaitu nilai rapat arus listrik *short circuit* (J_{sc}) sebesar $0,0145 A/cm^2$; nilai tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}) sebesar $0,7582 V$; nilai daya listrik maksimum (P_{max}) sebesar $0,0061 VA/cm^2$; nilai *fill factor* sebesar $0,5548$; dan nilai efisiensi sebesar $6,10 \%$.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat serta nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Simulasi Unjuk Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO_2 ”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, serta perhatian demi selesainya penelitian dan penulisan tesis ini;
2. Prof. Drs. Agus Subekti, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji I dan Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran demi kesempurnaan tesis ini;
3. rekan kerja Henry Ayu Kartikasari, Ro'syil Qohhar, dan teman-teman Lab. material yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk berdiskusi demi selesainya tesis ini;
4. sahabat-sahabat seperjuangan di Magister Fisika Universitas Jember;
5. Edy Sutrisno, Taufik Usman, Sunarto, Hadi, Ansori, Budiyono, Aji Priyono, Bu Wiwin serta segenap keluarga besar FMIPA Universitas Jember;
6. semua pihak yang turut membantu demi selesainya tesis ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini. Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi disiplin ilmu Fisika serta kepada setiap pembacanya.

Jember, 24 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sejarah Perkembangan <i>Solar Cell</i> (Sel Photovoltaik)	6
2.2 <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	8
2.2.1 Komponen – Komponen Penyusun DSSC	9
2.2.2 Mekanisme Kerja DSSC.....	12
2.3 Photoelektroda Ideal	14
2.3.1 Karakteristik Titanium Dioksida (TiO ₂).....	15
2.3.2 Ketebalan Photoelektroda TiO ₂	17

2.3.3 Sintesis Ketebalan Photoelektroda TiO ₂ Secara Eksperimen.....	18
2.3.4 Efek Temperatur terhadap Mobilitas Elektron	18
2.4 Performa <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).....	19
2.5 Analisis Simulasi Numerik <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>.....	21
2.6 Penelitian-Penelitian Sebelumnya.....	22
BAB 3. METODE PENELITIAN	24
3.1 Jenis Penelitian	24
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.3 Prosedur Penelitian	24
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah.....	25
3.5 Analisis Data	28
3.5.1 Analisis Validitas Hasil Observasi	28
3.5.2 Analisis pada Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO ₂	28
3.5.3 Analisis pada Variasi Nilai Mobilitas Elektron.....	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Validitas Hasil Observasi.....	29
4.2 Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO₂.....	30
4.3 Variasi Nilai Mobilitas Elektron	35
BAB 5. PENUTUP.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	
A. VARIASI KETEBALAN PHOTOELEKTRODA TiO₂.....	44

DAFTAR TABEL

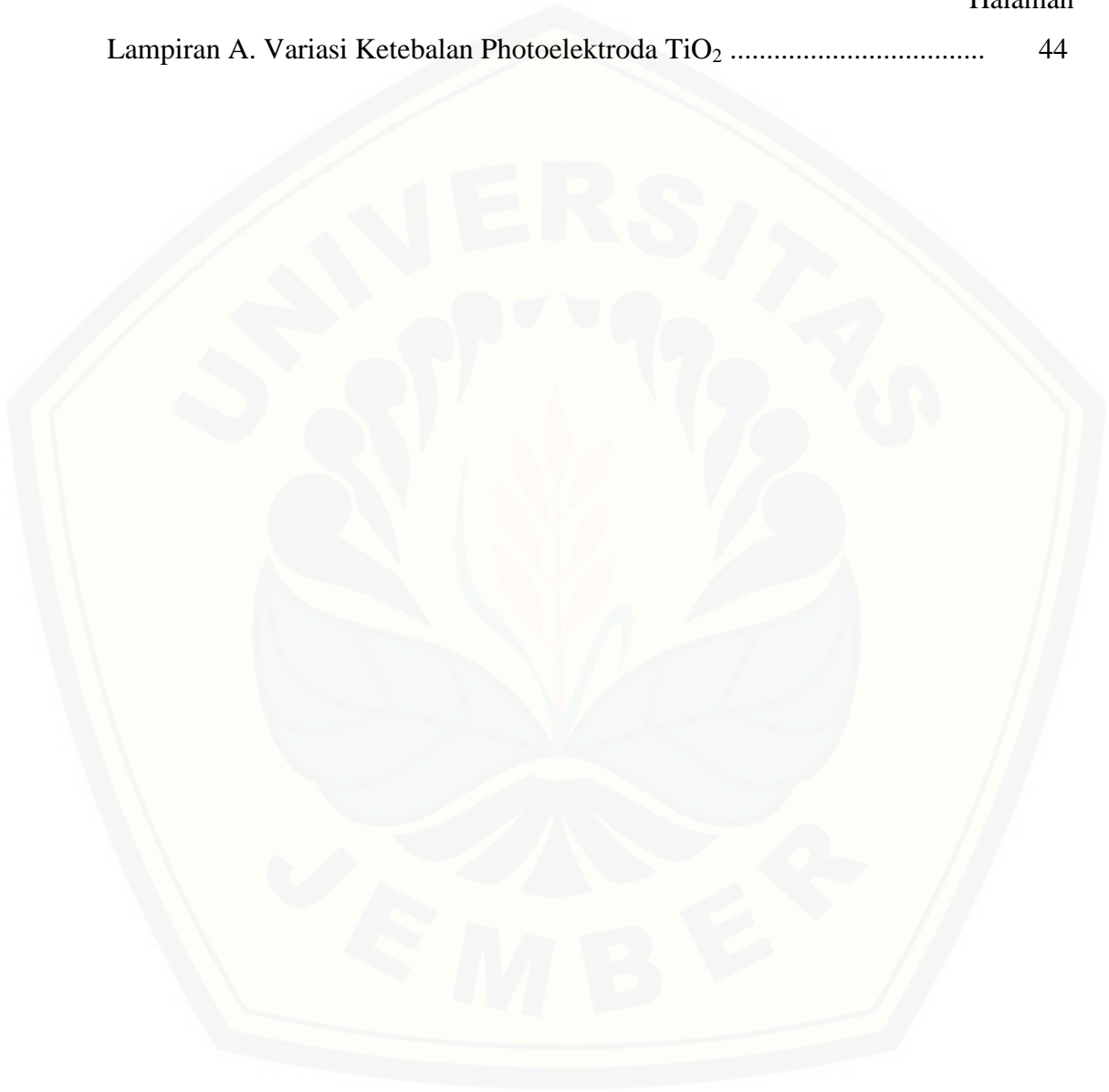
	Halaman
2.1 Perbedaan setiap generasi <i>solar cell</i>	7
2.2 Jenis fase kristal TiO ₂	16
3.1 Parameter input penelitian	26
4.1 Hasil simulasi pada beberapa ketebalan photoelektroda TiO ₂	32
4.2 Simulasi variasi nilai mobilitas elektron pada ketebalan 5 μm	38

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Grafik perbedaan generasi <i>solar cell</i>	7
2.2 Jurnal publikasi DSSC.....	9
2.3 Ilustrasi komponen-komponen penyusun DSSC	9
2.4 Mekanisme kerja DSSC: (a) struktur komponen DSSC; (b) proses perpindahan elektron	12
2.5 Nilai transparansi kaca FTO garis warna biru dan kaca ITO garis warna hitam	14
2.6 Contoh sintesis ketebalan photoelektroda TiO ₂	18
2.7 Pergerakan elektron pada TiO ₂	19
2.8 Grafik hubungan parameter-parameter kelistrikan DSSC yang menunjukkan performa DSSC	19
2.9 Grafik hubungan antara ketebalan photoelektroda terhadap efisiensi DSSC	22
3.1 Diagram tulang ikan penelitian	25
3.2 Diagram alir kegiatan simulasi	27
4.1 Penelitian Ni <i>et al.</i> (2008).....	30
4.2 Replikasi menggunakan matlab.....	30
4.3 Grafik J-V pada beberapa ketebalan photoelektroda TiO ₂	30
4.4 Grafik P-V pada beberapa ketebalan photoelektroda TiO ₂	31
4.5 Grafik hubungan nilai efisiensi DSSC terhadap ketebalan photoelektroda TiO ₂ (η -d)	34
4.6 Grafik J-V pada variasi nilai mobilitas elektron dengan ketebalan photoelektroda TiO ₂ sebesar 5 μ m	36
4.7 Grafik P-V pada variasi nilai mobilitas elektron dengan ketebalan photoelektroda TiO ₂ sebesar 5 μ m	37

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO_2	44



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi fosil yang bersumber dari batu bara, minyak bumi, dan gas alam telah terbukti sebagai pendorong kemajuan ekonomi di dunia, termasuk di negara Indonesia (Herzog *et al.*, 2001). Salah satu kemajuan tersebut dapat ditinjau berdasarkan kemampuan suatu negara untuk memenuhi kebutuhan listrik terhadap seluruh warganya yaitu ditunjukkan dengan nilai rasio elektrifikasi. Pada tahun 2012, nilai rasio elektrifikasi di Indonesia masih mencapai sekitar 74 %, sehingga Perusahaan Listrik Negara (PLN) telah menetapkan target untuk meningkatkan nilai rasio elektrifikasi tersebut sebesar (2-3) % di tahun 2013 (Fathoni *et al.*, 2014). Dalam rangka untuk mencapai target ini, pemerintah Indonesia menetapkan beberapa proyek dengan membangun pembangkit listrik 10.000 MW yang bersumber dari batu bara (Fathoni *et al.*, 2014). Hingga pada tahun 2017, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (2018) menyampaikan bahwa nilai rasio elektrifikasi di Indonesia telah mampu mencapai nilai sebesar 95,35 %.

Di sisi lain, peningkatan nilai rasio elektrifikasi ini mengindikasikan bahwa penggunaan batu bara sebagai sumber energi di Indonesia sudah berlebihan. Hal ini diperkuat dengan prediksi dari Badan Internasional Energi Terbarukan (IRENA 2017) yang bekerja sama dengan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia (KESDM) bahwa penggunaan batu bara akan meningkat lebih dari dua kali lipat pada tahun 2030 dari level sekarang. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus dan berlebihan dalam jangka waktu lama dapat berdampak negatif terhadap lingkungan (Herzog *et al.*, 2001). Efek negatif dari eksploitasi energi fosil ini yaitu permasalahan lingkungan seperti emisi gas rumah kaca dari pembakaran batu bara, polusi udara meningkat, masalah yang berkaitan dengan kontaminasi dan kelangkaan air (Gong dan Sumathy, 2012b; *Renewable Agency Energy*, 2017). Hal ini memicu pemikiran

bahwa transisi menuju energi alternatif sangat perlu untuk dilaksanakan dengan pertimbangan bahwa potensi energi alternatif di Indonesia cukup besar (Abdulkadir, 2013). Potensi energi alternatif ini dapat ditinjau berdasarkan keberadaan sumber-sumber energi alternatif antara lain biomassa, angin, cahaya matahari, PLTA, dan PLTG (Herzog *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2012).

Berdasarkan beberapa kandidat sumber-sumber energi alternatif tersebut, Badan Internasional Energi Terbarukan (IRENA 2017) beserta Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia (KESDM) telah memprediksi cara-cara untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan sampai dengan tahun 2030. Hasil prediksi tersebut menyatakan bahwa energi matahari menawarkan potensi yang paling besar untuk dapat diubah menjadi energi listrik yaitu kapasitas potensinya sekitar 47 GW dapat terpasang pada tahun 2030 (*Renewable Agency Energy*, 2017). Hal ini dikarenakan kondisi geografis Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa bumi dan memiliki iklim tropis (Dang, 2018), sehingga menyebabkan energi cahaya matahari pada siang hari sangat melimpah dan tersedia sepanjang tahun yaitu setiap tahunnya mencapai 3,8 juta exajoule ($1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$) (Gong *et al.*, 2012a; Kabir *et al.*, 2018). Oleh karena itu, energi cahaya matahari dapat menjadi salah satu solusi terbaik untuk menyediakan energi listrik (Fathoni *et al.*, 2014). Energi cahaya matahari ini dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan suatu alat yaitu sel surya (*solar cell*). Berdasarkan fungsinya, *solar cell* sering disebut dengan sel *photovoltaic* (sel PV).

Perkembangan sel PV ini terus dilakukan yaitu generasi pertama berbasis Silikon (Si) dengan kelebihan memiliki nilai efisiensi yang tinggi yaitu sekitar (12-20)% (Daukes, 2009), akan tetapi proses fabrikasinya rumit dan tidak ramah lingkungan (Shahzad, 2015). Selanjutnya, dikembangkan teknologi sel surya generasi kedua dengan berbasis lapisan tipis (*thin film*) berbahan semikonduktor organik dengan nilai efisiensi (<10%), biaya lebih rendah dibandingkan dengan generasi pertama, akan tetapi kurang ramah lingkungan (Daukes, 2009). Kemudian, generasi ketiga dikembangkan sel surya organik berbasis pewarna alami (*dye*) yang secara teori termodinamika memiliki nilai batas efisiensi hingga 86,8% (Daukes, 2009), tetapi secara eksperimen masih mampu dikembangkan

hingga nilai efisiensinya sebesar (<11%) (Maluta, 2010; Mori *et al.*, 2011). Sel surya generasi ketiga ini disebut dengan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Dewi *et al.*, 2016; Supriyanto *et al.*, 2019a).

DSSC merupakan *solar cell* generasi ketiga yang tersusun dari komponen-komponen berupa photoelektroda dengan lapisan semikonduktor, zat pewarna (*dye*), elektrolit, dan *counter* elektroda. Pengembangan DSSC ini dilakukan karena kelebihanannya antara lain biaya produksi yang rendah, proses fabrikasi yang sederhana, efisiensi konversi energi yang tinggi (sekitar <11% secara eksperimen yang sudah dilakukan dan secara teori termodinamika nilai efisiensi memiliki batas hingga 86,8%), dan ramah lingkungan (Ni *et al.*, 2008; Daukes, 2009; Maluta, 2010; Mori *et al.*, 2011; Gong dan Sumathy, 2012b; Kusumawardani dan Sugiyarto, 2014). Salah satu komponen penting penunjang kinerja DSSC yaitu photoelektroda dengan lapisan semikonduktor (Kumari *et al.*, 2016; Supriyanto *et al.*, 2019b). Bahan semikonduktor yang dapat digunakan antara lain Titanium Dioksida (TiO_2), Zinc Oksida (ZnO), Tin Dioksida (SnO_2), dan Niobium Pentaoksida (Nb_2O_5) (Maluta, 2010). Dari beberapa material semikonduktor tersebut, TiO_2 memiliki nilai efisiensi tertinggi, struktur permukaan yang luas, batas butir yang padat, stabilitas yang tinggi terhadap cahaya, celah pita energi yang lebar, dan tidak berbahaya bagi lingkungan (Ni *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2016; Ramelan *et al.*, 2017). Oleh sebab itu, material TiO_2 menjadi pilihan untuk digunakan sebagai photoelektroda untuk aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC).

Penggunaan photoelektroda berlapis TiO_2 dalam DSSC perlu dioptimasi ketebalannya dalam berbagai variasi yaitu nanometer hingga mikrometer agar dihasilkan kinerja DSSC yang tinggi. Selain itu, faktor lain yang dapat mempengaruhi kinerja DSSC yaitu temperatur kerja. Berdasarkan teori, peningkatan temperatur kerja dapat menyebabkan perubahan nilai mobilitas elektron, sehingga berpengaruh terhadap kinerja DSSC (Aboulouard *et al.*, 2017; Tayyan, 2011).

Sejauh ini, penelitian tentang penggunaan photoelektroda berlapis TiO_2 dalam DSSC telah diteliti yaitu secara eksperimen dan simulasi. Pada tahun 2008

dilakukan pemodelan variasi ketebalan elektroda dalam skala mikrometer untuk mencari daya maksimum yang dihasilkan oleh *solar window* (Ni *et al.*, 2008). Selanjutnya, pada tahun 2016 dilakukan penelitian-penelitian sebagai berikut yaitu penelitian terhadap pengaruh ketebalan orde mikrometer elektroda kerja TiO₂ transparan secara eksperimen (Dewi *et al.*, 2016) dan penelitian eksperimen ketebalan orde mikrometer pada TiO₂ sebagai photoanoda pada DSSC (Kumari *et al.*, 2016). Berikutnya, penelitian-penelitian lain dilakukan oleh Tayyan (2011) dan Aboulouard *et al.* (2017) menginformasikan bahwa temperatur merupakan salah satu faktor eksternal yang dapat mempengaruhi kinerja DSSC.

Penelitian-penelitian tersebut dilakukan dengan pemanfaatan TiO₂ dalam dimensi mikrometer. Menurut Liu *et al.* (2016), struktur dimensi nanometer dapat memberikan permukaan yang besar untuk memuat molekul zat pewarna, sehingga memungkinkan untuk menghasilkan sejumlah besar fotoelektron. Selain itu, semikonduktor dimensi nanometer memiliki batas butir yang rapat, sehingga memungkinkan transfer pembawa muatan yang efisien (Liu *et al.*, 2016). Untuk itu, pada penelitian ini akan dikaji penggunaan photoelektroda TiO₂ dalam DSSC yaitu dimensi ketebalan nanometer hingga mikrometer, sehingga dapat ditinjau perbedaan karakteristik kelistrikannya sebagai penunjang kinerja DSSC. Pada penelitian ini juga akan dikaji efek perubahan nilai mobilitas elektron terhadap kinerja DSSC akibat perubahan temperatur kerjanya. Berdasarkan hal-hal tersebut, penelitian ini dikemas dengan judul “Simulasi Unjuk Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Variasi Ketebalan Photoelektroda TiO₂”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana unjuk kerja DSSC yang diperoleh dari penggunaan photoelektroda TiO₂ dengan variasi ketebalan nanometer sampai dengan mikrometer?
2. Bagaimana pengaruh perubahan nilai mobilitas elektron pada ketebalan optimum photoelektroda TiO₂ terhadap kinerja DSSC?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi dilakukan pada komponen photoelektroda TiO_2 pada DSSC.
2. Luas area DSSC sebesar 1 cm^2 , koefisien absorpsi *dye* sebesar 5000 cm^{-1} , dan intensitas cahaya matahari sebesar 100 mW/cm^2 .
3. Temperatur kerja disimulasikan pada $273 \text{ K} - 373 \text{ K}$.
4. Unjuk kerja DSSC diukur berdasarkan parameter tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}), rapat arus listrik *short circuit* (J_{sc}), daya listrik maksimum (P_{max}), *fill factor* (FF), dan efisiensi (η).

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh unjuk kerja DSSC dari penggunaan photoelektroda TiO_2 dengan variasi ketebalan nanometer sampai dengan mikrometer.
2. Mengetahui pengaruh perubahan nilai mobilitas elektron pada ketebalan optimum photoelektroda TiO_2 terhadap kinerja DSSC.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dapat dicapai dari penelitian ini adalah hasil penelitian dapat memberikan informasi-informasi fisis mengenai energi alternatif DSSC dan dijadikan sumbangan di bidang ilmu fisika material semikonduktor khususnya di bidang komputasi untuk penelitian lebih lanjut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan beberapa hal antara lain sejarah perkembangan *Solar Cell* (sel photovoltaik), *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), photoelektroda ideal, performa *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), analisis simulasi numerik *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), dan penelitian-penelitian sebelumnya.

2.1 Sejarah Perkembangan *Solar Cell* (Sel Photovoltaik)

Seorang fisikawan dari Perancis yaitu Edmund Becquerel pada tahun 1839 menyampaikan bahwa terdapat beberapa material yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan listrik saat terkena sinar matahari. Namun, baru pada tahun 1905 Albert Einstein menjelaskan tentang efek fotolistrik dan sifat cahaya. Efek fotolistrik merupakan suatu peristiwa munculnya elektron ketika foton/pancaran sinar matahari mengenai suatu logam. Peristiwa ini yang menjadi prinsip dasar pada perangkat *solar cell* (Kumar, 2013).

Solar cell merupakan suatu perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, sehingga *solar cell* disebut juga sebagai sel photovoltaik (sel PV) yang memiliki arti yaitu photo adalah cahaya dan voltaik adalah tegangan listrik. Selanjutnya pada tahun 1954, terjadi perkembangan yang signifikan yaitu penemuan *solar cell* silikon pertama oleh laboratorium Bell setelah beberapa dekade percobaan dengan sel surya efisiensi rendah terbuat dari selenium. Setahun kemudian, lisensi komersial pertama untuk sel PV silikon dijual. Pada tahun 1958, sel PV silikon pertama digunakan untuk menggerakkan satelit (Herzog *et al.*, 2001; Boman dan Torpner, 2017). Hal ini menjadi faktor pendorong dalam pengembangan penelitian tentang sel PV selama tahun 1960-an, tetapi perbaikan sel PV baru dilakukan pada tahun 1970-an untuk meningkatkan kualitas dan kinerja serta mengurangi biaya produksinya, sehingga sel PV memasuki pasar baru yaitu sebagai alat bantu telekomunikasi, peralatan navigasi, dan penggunaan daya rendah lainnya (Boman dan Torpner, 2017).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kinerja dari DSSC menggunakan berbagai variasi ketebalan photoelektroda TiO_2 dengan orde nanometer hingga mikrometer dan mengetahui pengaruh perubahan nilai mobilitas elektron terhadap efisiensi DSSC. Unjuk kerja DSSC ditinjau berdasarkan karakteristik kelistrikan berupa grafik hubungan rapat arus listrik terhadap tegangan listrik (J-V), grafik hubungan daya maksimum terhadap tegangan listrik (P-V), grafik hubungan nilai efisiensi terhadap ketebalan photoelektroda (η -d), dan hubungan nilai mobilitas elektron terhadap efisiensi. Hasil penelitian ini didasarkan pada simulasi perhitungan numerik, sehingga jenis penelitian ini sebagai penelitian kuantitatif.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Komputasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2018 sampai dengan Agustus 2019.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap yaitu tahap persiapan, tahap realisasi, dan tahap analisis. Tahap persiapan berupa kegiatan studi pustaka (*review* jurnal) dan penginstalan perangkat lunak pada laptop dengan spesifikasi lenovo AMD A9. Berdasarkan *review* jurnal tersebut dapat diidentifikasi permasalahan pada penelitian-penelitian sebelumnya (gap penelitian) serta diperoleh rumusan masalah. Selain itu, juga diperoleh parameter-parameter input mengenai material TiO_2 .

Pada tahap realisasi dilakukan kegiatan observasi yaitu dengan menguji parameter-parameter input beserta persamaan-persamaan fisis DSSC, sehingga photoelektroda TiO_2 pada DSSC dapat direpresentasikan dengan baik.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian unjuk kerja DSSC dengan variasi ketebalan photoelektroda TiO_2 menginformasikan bahwa kinerja DSSC tertinggi diperoleh pada nilai ketebalan photoelektroda TiO_2 sebesar $5 \mu\text{m}$ dengan nilai rapat arus listrik *short circuit* (J_{sc}) sebesar $0,0145 \text{ A/cm}^2$; nilai tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}) sebesar $0,6079 \text{ V}$; nilai daya listrik maksimum (P_{max}) sebesar $0,0049 \text{ VA/cm}^2$; nilai *fill factor* sebesar $0,5558$; dan nilai efisiensi sebesar $4,90 \%$.
2. Hasil simulasi perubahan nilai mobilitas elektron pada ketebalan optimum photoelektroda TiO_2 ($5 \mu\text{m}$) menunjukkan bahwa ketika nilai mobilitas elektron sebesar $0,0155 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ diperoleh hasil performa DSSC tertinggi antara lain: nilai rapat arus listrik *short circuit* (J_{sc}) sebesar $0,0145 \text{ A/cm}^2$; nilai tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}) sebesar $0,7582 \text{ V}$; nilai daya listrik maksimum (P_{max}) sebesar $0,0061 \text{ VA/cm}^2$; nilai *fill factor* sebesar $0,5548$; dan nilai efisiensi sebesar $6,10 \%$.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan semikonduktor TiO_2 *pure*, sehingga untuk selanjutnya dapat dikembangkan proses doping pada TiO_2 agar memungkinkan terjadinya serapan energi cahaya matahari yang lebih besar.
2. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan unjuk kerja DSSC sampai dengan diperoleh IPCE (*Incident Photon-to-Current Conversion Efficiency*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, M. 2013. *Modeling and Simulation of a Solar Photovoltaic System, Its Dynamics and Transient Characteristics in LABVIEW*. Drive Systems 3(2), 185–192. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v3i2.2422>
- Aboulouard, A., Jouaiti, A., dan Elhadadi, B. 2017. Modelling and Simulation of The Temperature Effect in Dye Sensitized Solar Cells, 9(21), 94–98.
- Boman, E., dan Torpner, J. 2017. *Characterization of Natural Peruvian Dyes on Dye-Sensitized Solar Cells*. Uppsala University, Sweden. ISSN 1653-5634
- Dang, M. Q. 2018. *Solar Energy Potential in Indonesia*. 2017. ICYS 2017 13 - 14 September 2017, Prague, Czech Republic.
- Daukes, E. 2009. *Solar Energy for Heat and Electricity: The Potential for Mitigating Climate Change*. Vol. 1 (1), 1–12.
- Dewi, N. A., Nurosyid, F., Supriyanto, A., dan Suryana, R. 2016. *Pengaruh Ketebalan Elektroda Kerja TiO₂ Transparan terhadap Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) sebagai Aplikasi Solar Window*. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6(02), 73–78.
- Fathoni, A. M., Utama, N. A., dan Kristianto, M. A. 2014. *A Technical and Economic Potential of Solar Energy Application with Feed-in Tariff Policy in Indonesia*. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.013>
- Gong, J., Liang, J., dan Sumathy, K. 2012a. *Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs): Fundamental Concepts and Novel Materials*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5848–5860. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.044>
- Gong, J., dan Sumathy, K. 2012b. *A Theoretical Study on Third Generation Photovoltaic Technology: Dye-Sensitized Solar Cells*. *Mechanical Engineering*.
- Herzog, A. V., Lipman, T. E., dan Kammen, D. M. 2001. *Renewable Energy Sources*. *Encyclopedia of Life* 1–63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2010.03698.x>

- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. 2018. *Solar Energy: Potential and Future Prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**(October), 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>
- Kibria, M. T., Ahammed, A., Sony, S. M., Hossain, F., dan Islam, S.-U. 2014. *A Review: Comparative Studies on Different Generation Solar Cells Technology. Proceedings of 5th International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh [ICEAB 2014]*.
- Kumar, S. 2013. *Modeling and Simulation of Hybrid Wind/Photovoltaic Stand-Alone Generation System*. National Institute Technology, Rourkela, 58.
- Kumari, J. M. K. W., Sanjeevadarshini, N., Dissanayake, M. A. K. L., Senadeera, G. K. R., dan Thotawatthage, C. A. 2016. *The Effect of TiO₂ Photoanode Film Thickness on Photovoltaic Properties of Dye-Sensitized Solar Cells. Ceylon Journal of Science*, **45**(1), 33. <https://doi.org/10.4038/cjs.v45i1.7362>
- Kusumawardani, C. dan Sugiyarto. 2014. *Development of Solid State Dye-Sensitized Solar Cell Based on Nitrogen-Doped TiO₂*. Research Proposal International Collaboration Research and Scientific Publication.
- Lee, K. J., Kim, J. H., Kim, H. S., Shin, D., Yoo, D. W., dan Kim, H. J. 2012. *A Study on a Solar Simulator for Dye Sensitized Solar Cells. International Journal of Photoenergy*, 2012(March), 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/834347>
- Liu, X. 2014. *TiO₂ Crystal Nanorods and Their Application in Dye-Sensitized Solar Cells*. Deakin University.
- Liu, X., Fang, J., Liu, Y., dan Lin, T. 2016. *Progress in Nanostructured Photoanodes for Dye-Sensitized Solar Cells*. 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11706-016-0341-0>
- Luque, A., dan Hegedus, S. 2011. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-72169-8.
- Macaira, J., Andrade, L., dan Mendes, A. 2013. *Modeling, Simulation and Design of Dye Sensitized Solar Cells*. 1–38. LEPAE - Departamento de Engenharia

- Química, Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, Portugal.
- Maluta, E. N. 2010. *Simulation of Dye-Sensitized Solar Cells*. University of Bath Department of Physics.
- Mital, G. S., dan Manoj, T. 2011. *A Review of TiO₂ Nanoparticles*. **56**(16), 1639–1657. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4476-1>
- Mohammed, A. A., Ahmad, A. S., dan Azeez, W. A. 2015. *Fabrication of Dye Sensitized Solar Cell Based on Titanium Dioxide (TiO₂)*. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, **5**, 361-367. <http://dx.doi.org/10.4236/ampc.2015.59036>.
- Mori, R., Ueta, T., Sakai, K., Niida, Y., Koshiha, Y., Lei, L., Nakamae, K., dan Ueda, Y. 2011. *Organic Solvent Based TiO₂ Dispersion Paste for Dye-Sensitized Solar Cells Prepared by Industrial Production Level Procedure*. *Journal of Materials Science*, **46**(5), 1341–1350. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-4925-2>.
- Ni, M., Leung, M. K. H., dan Leung, D. Y. C. 2008. *Theoretical Modelling of The Electrode Thickness Effect on Maximum Power Point of Dye-Sensitized Solar Cell*. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, **86**(1), 35–42. <https://doi.org/10.1002/cjce.20015>
- Ramelan, A. H., Wahyuningsih, S., Saputro, S., Supriyanto, E., dan Hanif, Q. A. 2017. *TiO₂ Nanostructure Synthesized by Sol-Gel for Dye Sensitized Solar Cells as Renewable Energy Source*. *Material Science and Engineering*, **176**(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/176/1/012013>
- Renewable Agency Energy. 2017. *Renewable Energy Prospects: Indonesia*.
- Supriyanto, Edy et al. 2019a. *Simulasi Performa Variasi Natural Dye Berbahan Lokal untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)*. Jurnal proceeding Internasional IC2MAM. Malang.
- Supriyanto, E., Alviati, N., Kartikasari, H. A., Rohman, L., dan Triyana, K. 2019b. *Simulation of Electron Diffusion Coefficient Interpretation on the Optimum Thickness of TiO₂ Photoanode in Dye-Sensitized Solar Cell*

(DSSC). *Journal of International Proceeding IC2MAM*, Malang. doi: 10.1088/1757-899X/515/1/012058.

Shah, M. W., dan Biate, R. L. 2016. *Design and Simulation of Solar PV Model Using Matlab/Simulink. International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 7, Issue 3, March-2016 ISSN 2229-5518, 7(3), 551–554.

Shahzad, U. 2015. *The Need For Renewable Energy Sources. ITEE Journal ISSN International Journal of Information Technology and Electrical Engineering*, 16–18. <https://doi.org/2306-708X>

Tayyan, A. A. El. 2011. *Dye Sensitized Solar Cell: Parameters Calculation and Model Integration. Journal of Electron Devices*, 11, 616–624.

Takechi, K., Muszynski, R., dan Kamat, P. V. 2016. *Fabrication Procedure of Dye-Sensitized Solar Cells*. <https://www3.nd.edu/~pkamat/pdf/solarcell.pdf>.

Yuan, W. 2013. *Design and Development of Efficient Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells*. Michigan State University.