



TUGAS AKHIR - SF141501

**PENINGKATAN KINERJA DYE-SENSITIZED SOLAR
CELL DENGAN METODE KOMPRESI LAPISAN TiO_2**

**FAJAR TIMUR
NRP. 1111 100 058**

**Dosen Pembimbing
Endarko, M.Si, Ph.D**

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - SF141501

**ENHANCED PERFORMANCE OF DYE-SENSITIZED
SOLAR CELL BY COMPRESSION ON TIO₂ LAYER
METHOD**

**FAJAR TIMUR
NRP 1111 100 058**

**Supervisor
Endarko, M.Si, Ph.D**

**Physics Department
Faculty of Mathematic and Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PENINGKATAN KINERJA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL DENGAN METODE KOMPRESI LAPISAN TiO_2

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fajar Timur

NRP 1111 100 058

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Endarko, M.Si, Ph.D



Surabaya
Juli 2015

PENINGKATAN KINERJA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL DENGAN METODE KOMPRESI LAPISAN TiO₂

Nama Mahasiswa : Fajar Timur
NRP : 1111100058
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing : Endarko, M.Si, Ph.D

Abstrak

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan salah satu jenis lain dari sel surya selain sel photovoltaic. Saat ini DSSC lebih banyak dipilih dibanding dengan sel photovoltaic karena memiliki nilai efisiensi tinggi, murah, dan proses pembuatan yang mudah. Untuk dapat membuat suatu DSSC yang memiliki nilai efisiensi yang baik maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Penelitian ini dilakukan dengan bertujuan untuk menganalisa kinerja dari DSSC berbasis struktur nanopartikel TiO₂ terkompresi. Terdapat tiga jenis sampel DSSC yang disiapkan dalam penelitian ini. Sampel DSSC pertama dibuat dengan tanpa dilakukan proses kompersi. Sedangkan kedua sampel DSSC lainnya dilakukan proses kompresi masing-masing dengan beban 25 N, dan 50 N. Dye yang digunakan dalam penelitian ini adalah dye sintesis N-749 dan metode pendeposisian partikel TiO₂ menggunakan teknik doctor blade. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses kompresi pada lapisan TiO₂ memberi pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja dari DSSC. Selain itu terjadi peningkatan perbandingan nilai efisiensi masing-masing sebesar 147.57 persen dan 186.36 persen pada sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N dan 50 N dibandingkan dengan sampel DSSC tanpa dilakukan proses kompresi

Kata kunci : *Dye-sensitized solar cell, TiO₂, Teknik doctor blade, Kompresi.*

ENHANCED PERFORMANCE OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELL BY COMPRESSION ON TiO₂ LAYER

Name : Fajar Timur
NRP : 1111100058
Department : Fisika FMIPA ITS
Supervisor : Endarko, M.Si, Ph.D

Abstract

Dye-sensitized solar cell (DSSC) is one of kind of solar cell type beside photovoltaic cell. DSSC recently is preferred due to have high efficiency, low cost, and can be fabricated easily. Further research is needed to create DSSC which have good performance. This research was conducted to analyze the performance of DSSC based on compressed TiO₂ nanoparticle. Three samples of DSSC were prepared on this research. The first sample is made without any compression treatment, while the other two sample were compressed by force of 25 and 50 N respectively. The dye which is used in this research was N-749 sintetic dye and the TiO₂ deposition method was done by using doctor blade method. The result shows that the compression process on TiO₂ layer give significant value toward increasing the performance of DSSC. Moreover the result also shows that the efficiency ratio value of DSSC is increased by 147.57 percent and 186.36 percent on the sample of DSSC with 25 N dan 50 N compression force compare to the sample of DSSC without compression process

Keywords : *Dye-sensitized solar cell, TiO₂, Doctor blade method, Compression.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul :

PENINGKATAN KINERJA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL DENGAN METODE KOMPRESI LAPISAN TiO₂

Penyusunan karya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan nikmat, rahmat, dan kekuatan yang tiada terkira jumlahnya.
2. Rasulullah SAW yang telah membimbing manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman ilmiah sehingga manusia dapat merasakan nikmat iman dan islam.
3. Bapak Slamet Budiono dan Ibu Diana Wahyuningsih, sebagai kedua orangtua yang telah membesarkan dan mendidik penulis dengan penuh kasih sayang dan selalu memberikan dukungan dan do'a yang tiada hentinya. juga kedua adik tersayang Bayu Prasetya dan Natan Alam.
4. Seluruh rakyat Indonesia dengan melalui Dirjen DIKTI yang telah memberikan beasiswa BIDIK MISI kepada penulis selama menempuh studi S1 Fisika di ITS Surabaya.
5. Bapak Endarko, M.Si, Ph.D dosen pembimbing yang telah bersedia mengarahkan dan membimbing, penulis dalam penyusunan karya tugas akhir ini.
6. Bapak Gatut Yudhoyono, MT yang telah memberikan dukungan, saran dan bimbingan bagi penulis dalam penyusunan karya tugas akhir ini..

7. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
8. Seluruh dosen dan civitas akademika jurusan Fisika ITS atas ilmu dan pengalaman yang diberikan selama ini. Semoga dapat menjadi ilmu yang bermanfaat.
9. Mas Hadi Santoso, Friska Ayu, Putri Ayu K.C, Aris Widodo sebagai rekan tim riset DSSC yang telah memberikan banyak bantuan dan dukungan dalam proses riset dan penyusunan karya tugas akhir ini
10. Ayu Jati P, Emy Aditya, Gusti Rana F, Fristya A, dll sebagai rekan sesama penghuni Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Fisika ITS
11. Teman-teman Fisika 2011 yang berbagi pengalaman suka dan duka dengan penulis selama masa perkuliahan. Semoga persahabatan kita semua tak terputus.
12. Semua pihak yang telah berjasa bagi penulis yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikannya dengan sebaik-baik balasan.

Penulis menyadari bahwa apa yang disajikan dalam karya tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Kekurangan-kekurangan tersebut disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis sendiri. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif sehingga kami dapat berbenah diri dan dapat memberikan yang terbaik. Semoga karya tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 8 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Bab	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Abstract	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sel Surya Konvensional berbasis Silikon	5
2.2 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)	7
2.3 Kaca Konduktif Transparan	10
2.4 Elektrolit	10
2.5 Katalis	11
2.6 Titanium Dioksida (TiO ₂)	12
2.7 Dye Sintetis N-749	13
2.8 Karakterisasi Sel Surya	14
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Alat dan Bahan	17
3.2 Langkah Kerja	17
3.3 Diagram Alir Penelitian	18

3.4 Prosedur Kerja	19
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pengujian XRD Partikel TiO ₂	33
4.2 Pengujian Absorbansi Panjang Gelombang Cahaya Pada Larutan <i>Dye</i>	35
4.3 Pengamatan Morfologi Permukaan Lapisan TiO ₂	36
4.4 Hasil Uji Arus dan Tegangan DSSC	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	51
BIODATA PENULIS	63

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Perbedaan karakteristik DSSC dengan berbagai beban kompresi	43
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Sel Surya Silikon pn-junction	5
Gambar 2. 2 Cara kerja Sel Surya Silikon	6
Gambar 2. 3 Bentuk struktur <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC)	7
Gambar 2. 4 Prinsip kerja DSSC	8
Gambar 2. 5 Struktur kristal TiO ₂ fase anatase	13
Gambar 2. 6 struktur kimia dye N749	14
Gambar 2. 7 Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) sebuah sel surya	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 3. 2 (a) alat ultrasonic cleaner; (b) sampel kaca ITO terbungkus alumunium foi	20
Gambar 3. 3 Larutan TiCl ₃ dengan campuran aquades	20
Gambar 3. 4 (a) Endapan partikel TiO ₂ ; (b) Serbuk partikel TiO ₂	21
Gambar 3. 5 (a) Penggerusan serbuk TiO ₂ ; (b) pasta TiO ₂ yang tersimpan dalam wadah	22
Gambar 3. 6 Mencari sisi konduktif kaca ITO	23
Gambar 3. 1 Teknik pendeposisian pasta TiO ₂ dengan metode <i>doctor blade</i>	23
Gambar 3. 8 (a) Proses pendeposisian pasta TiO ₂ pada kaca ITO; (b) Pemanasan kaca ITO yang telah terdeposisi TiO ₂	24
Gambar 3. 9 Alat mechanical compression	25
Gambar 3. 10 Gambaran fisik lapisan semikonduktor sebelum dan sesudah proses kompresi (Meen T.H, 2014)	25
Gambar 3. 11 Kaca ITO yang telah dilakukan proses kompresi	26
Gambar 3. 12 Proses analisa morfologi permukaan lapisan TiO ₂ dengan alat SEM	26

Gambar 3. 13 (a) Proses menimbang serbuk dye; (b) Larutan dye yang telah terbentuk	27
Gambar 3. 14 Proses pengujian absorbansi larutan dye dengan menggunakan alat spektrometer Uv-Vis	28
Gambar 3. 15 Proses penghalusan grafit karbon dari pensil 8B	29
Gambar 3. 16 Proses pendeposisian pasta karbon	30
Gambar 3. 17 Teknik Penyusunan Sandwich DSSC	30
Gambar 3. 18 Sampel DSSC yang telah difabrikasi	31
Gambar 3. 19 (a) Alat Keithley I-V meter; (b) Pengukuran daya lampu halogen	32
Gambar 3. 2 Proses pengujian karakteristik DSSC dengan alat Keithley I-V	32
Gambar 4. 1 Grafik puncak kristal fase anatase TiO ₂ yang dihasilkan dengan bantuan software Match!	33
Gambar 4. 2 Grafik pengujian ukuran serbuk TiO ₂ dengan bantuan software MAUD	34
Gambar 4. 3 Grafik hasil pengukuran absorbansi larutan dye pada berbagai panjang gelombang cahaya	36
Gambar 4. 4 Hasil pengujian SEM terhadap morfologi lapisan permukaan TiO ₂ tanpa kompresi	37
Gambar 4. 5 Hasil uji SEM morfologi lapisan permukaan TiO ₂ dengan beban kompresi 25 N	38
Gambar 4. 6 Hasil uji SEM morfologi lapisan permukaan TiO ₂ dengan beban kompresi 50 N	38
Gambar 4. 7 Grafik karakteristik rapat arus dan tegangan pada DSSC dengan berbagai beban kompresi	42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri dan teknologi saat ini telah mengakibatkan meningkatnya permintaan terhadap energi. Kecenderungan yang terjadi dewasa ini adalah timbulnya kesadaran masyarakat bahwa sumber energi dari bahan bakar fosil adalah terbatas. Selain itu kesadaran lingkungan hidup juga mendorong tren menurunnya permintaan bahan bakar tak-terbarukan yang cenderung mempercepat kerusakan lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang saat ini banyak diteliti adalah energi matahari. Negara-negara tropis seperti Indonesia mendapatkan keberuntungan menikmati sinar matahari merata sepanjang tahun dibandingkan negara-negara di lintang tinggi. Energi terkandung dalam cahaya matahari dapat dimanfaatkan melalui setidaknya dua cara: pemanfaatan energi panas, atau pengubahan menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya.

Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839. Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954, trio Bell Laboratories, Chapin, Fuller dan Pearson, menemukan sebuah fenomena p-n *junction* yang dapat mengubah radiasi sinar matahari menjadi tenaga listrik pertama kalinya dan material yang dipergunakan yaitu berupa silikon (Si). Sel surya berbasis silikon merupakan jenis sel surya yang banyak digunakan saat ini. Walaupun sel surya sekarang didominasi oleh bahan silikon, masalah mahalnya biaya produksi dan proses fabrikasinya yang tidak sederhana menjadi suatu kendala yang berarti (Ali, S. 2007).

Selain hal diatas, sel surya konvensional jenis silikon memiliki keterbatasan suplai bahan baku silikonnya. Ini dapat dimengerti karena harga silikon meningkat seiring dengan permintaan industri semikonduktor. Ditambah lagi dengan suplai bahan baku silikon yang terbatas. Silikon yang dipakai sebagai bahan dasar *chip* di

dunia mikroelektronika ini semakin dibutuhkan mengingat adanya peningkatan tajam untuk produksi peralatan elektronika mulai dari komputer, monitor, televisi dsb. Hal ini diperparah dengan jenis sel surya yang paling banyak dipasarkan di dunia yakni sel surya jenis silikon sehingga sel surya secara langsung harus berkompetisi dengan industri lain khususnya industri elektronika untuk mendapatkan material silikon (Septina, W. 2007).

Seiring dengan perkembangan teknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Keunggulan dari DSSC adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional yang semua proses melibatkan bahan silikon itu sendiri, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah (Grätzel, Michael. 2003).

Salah satu unsur utama dalam DSSC adalah photoanoda, yang terbuat dari lapisan tipis nanopartikel TiO_2 . Penelitian yang dilakukan oleh Jenn Kai Tsai pada tahun 2013 menunjukkan bahwa penggunaan nanokristal TiO_2 terkompresi sebagai photoanoda DSSC menghasilkan nilai efisiensi sebesar 9.01% (Tsai.J.K, 2013). Sedangkan penelitian yang dilakukan pada tahun 2014 oleh Teen Hang Meen menunjukkan bahwa penggunaan nanokristal p25 TiO_2 terkompresi menghasilkan perbandingan peningkatan nilai efisiensi sebesar 19.5% (Meen, T.H, 2014)

Berdasarkan kedua penelitian diatas serta uraian yang telah disebutkan, maka penelitian ini akan coba membahas mengenai perbandingan antara penggunaan metode kompresi lapisan TiO_2 dan metode konvensional pada proses fabrikasi DSSC. Kedua metode dalam fabrikasi DSSC tersebut akan dibandingkan kinerja serta efisiensi yang dihasilkan dalam mengkonversi energi cahaya ke energi listrik.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

- a) Bagaimana cara membuat prototipe DSSC dengan kompresi lapisan TiO_2 ?
- b) Bagaimana pengaruh proses kompresi lapisan TiO_2 terhadap kinerja DSSC yang dihasilkan?
- c) Bagaimana perbandingan nilai efisiensi antara DSSC yang dibuat dengan proses kompresi lapisan TiO_2 dengan proses biasa?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan bertujuan untuk :

- a) Membuat prototipe DSSC dengan kompresi lapisan TiO_2
- b) Mengetahui pengaruh proses kompresi lapisan TiO_2 terhadap DSSC yang dihasilkan.
- c) Mengetahui perbandingan nilai efisiensi antara DSSC yang dibuat dengan proses kompresi lapisan TiO_2 dengan proses konvensional

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa batasan masalah yakni:

- a) Elektroda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah semikonduktor nanopartikel TiO_2 fase anatase, zat-zat yang digunakan pada proses pembuatan pengaruhnya tidak akan dibahas lebih lanjut.
- b) Metode *doctor blade* digunakan pada proses pendeposisian pasta TiO_2 ke kaca ITO, dan selanjutnya dilakukan proses kompresi pada lapisan photoanoda tersebut.
- c) Proses kompresi dilakukan dengan teknik *mechanical compression* pada temperatur ruang, tidak dibahas mengenai pengaruh temperatur terhadap lapisan TiO_2 yang dihasilkan.

- d) *Dye sensitizer* yang digunakan pada penelitian ini adalah N-749(*Sigma Aldrich*). Prosesar karakterisasi dilakukan untuk mengetahui absorpsi *dye* terhadap panjang gelombang cahaya, reaksi antara *dye*, lapisan TiO₂ dan elektrolit tidak akan dibahas lebih lanjut.
- e) DSSC yang dihasilkan dilakukan proses pengujian arus dan tegangan (I-V) dengan alat Keithley I-V meter dibawah penyinaran sebuah lampu halogen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai riset dan pengembangan bidang sel surya alternatif selain sel *photovoltaic*, serta menambah wawasan mengenai pemanfaatan energi cahaya matahari sebagai sumber energi terbarukan.

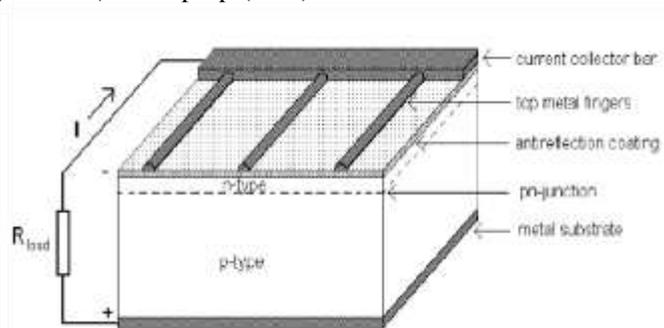
1.6 Sistematika Laporan

Hasil penelitian ini dituliskan dalam lima bab. Bab I berisi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, dan manfaat penelitian. Bab II berisi tinjauan pustaka yang dijadikan sumber acuan dilakukannya penelitian ini. Bab III berisi metodologi penelitian dan uraian lengkap tentang langkah-langkah dilakukannya penelitian. Bab IV memuat hasil data pengujian yang dilakukan serta analisa dan pembahasan terkait apa yang terjadi dalam penelitian. Dan Bab V yang berisi kesimpulan dari penelitian serta saran untuk penelitian lebih lanjut.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya Konvensional berbasis Silikon

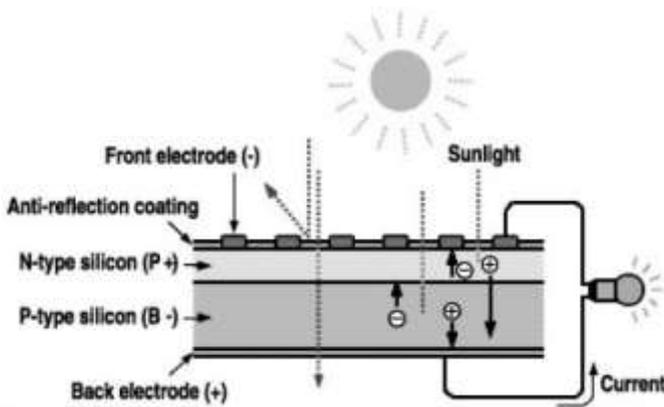
Sel surya atau fotovoltaik adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti di Bell Laboratories menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis *p-n junction* dengan efisiensi 6%. Saat ini sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dengan nilai efisiensi laboratorium dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15%. Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor *p-n junction* (Gambar 2.1). Sel terdiri dari lapisan semikonduktor *doping-n* dan *doping-p* yang membentuk *p-n junction*, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipen (elektron) dan tipe-p (*hole*).



Gambar 2. 1 Struktur Sel Surya Silikon *pn-junction* (Halme, 2002)

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar.

Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area *doping-n* akan bermuatan positif sedangkan area *doping-p* akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi antara keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan *hole* ke daerah-p. Pada proses ini telah terbentuk *p-n junction* (Gambar 2.1). Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah terbentuk dioda (Halme, 2002).

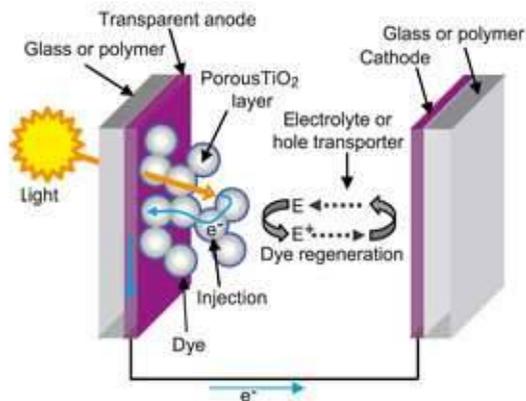


Gambar 2. 2 Cara kerja Sel Surya Silikon (Septina, dkk. 2007)

Skema cara kerja sel surya silikon ditunjukkan pada Gambar 2.3, ketika *junction* semikonduktor disinari, foton yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* pada pita valensi. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-*hole*. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir (Septina, dkk. 2007)

2.2 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

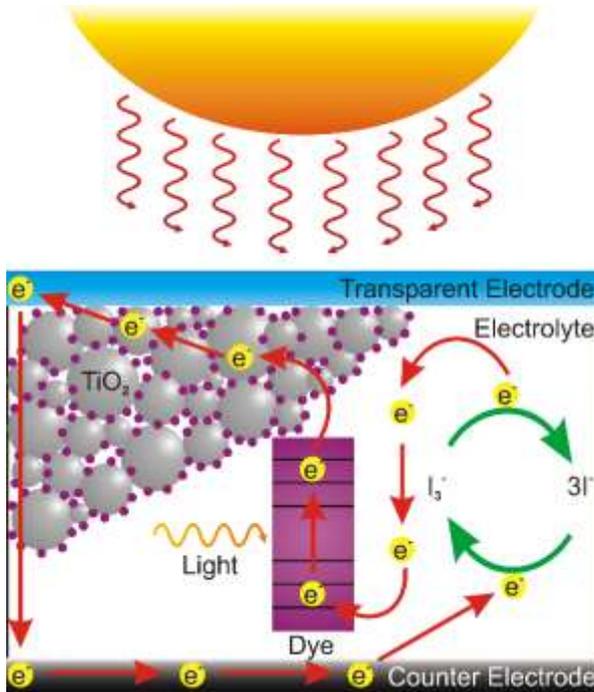
Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan terobosan baru dalam *solar cell* dengan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan sel surya konvensional (silikon). DSSC ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 di École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Swiss. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan pengembangan atau modifikasi dari sel surya fotoelektrokimia dengan sistem yang baru. Sel surya fotoelektrokimia menggunakan efek fotovoltaiik untuk menghasilkan listrik, dimana efek fotovoltaiik tersebut didasarkan pada persambungan antara bahan semikonduktor dengan cairan elektrolit yang mengandung pasangan reduksi dan oksidasi (Gambar 2.3). Sistem baru dari DSSC ini adalah adanya *dye* atau zat warna sebagai sensitizer (membuat sel surya menjadi peka terhadap cahaya) untuk menyerap cahaya dan menginjeksikan elektron pada bahan semikonduktor (Smestad, 1998)



Gambar 2. 3 Bentuk struktur *dye sensitized solar cell* (DSSC) (Gratzel, 1991)

Penelitian mengenai *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) saat ini telah berkembang sangat pesat, hal tersebut dikarenakan DSSC memiliki banyak kelebihan yaitu memiliki nilai efisiensi tinggi,

murah, dan proses pembuatan yang mudah. Secara umum DSSC terdiri dari tiga struktur utama yaitu (1) sebuah *dye sensitizer* yang berfungsi untuk menangkap energi matahari dan menghasilkan eksiton, (2) sebuah nanostruktur metal oksida sebagai media transport elektron, (3) sebuah elektrolit redoks atau material pengantar *hole*. (Tsai,JK. 2013).



Gambar 2. 4 Prinsip kerja DSSC (Halme, 2002)

Prinsip kerja pada DSSC secara skematik dapat ditunjukkan pada gambar 2.3 di atas. Pada saat elektroda kerja ditimpa oleh foton, energi foton diserap oleh *dye* yang ada pada permukaan TiO₂. Sehingga foton dapat mengeksitasi elektron dari level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) ke level LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*). Level LUMO berada pada sisi ligan

dye yaitu COOH. Level ini dekat dengan level konduksi TiO₂ dan *dye* akan tereksitasi (*Dye**). (O'regan dan Gratzel, 1991; Smestad dan Grätzel, 1998)



Tahap selanjutnya merupakan tahap pemisahan muatan, elektron berpindah dari *dye* ke TiO₂. Perpindahan elektron dari *dye* ke TiO₂ meninggalkan *hole* dan menyebabkan *dye* teroksidasi (*Dye*⁺). Perpindahan elektron ini juga dipengaruhi oleh timbulnya medan listrik antara grup COOH di *dye* dengan lapisan TiO₂. COOH melepaskan ion H₊ dan teradsorpsi ke lapisan TiO₂ sehingga *dye* bermuatan lebih negatif. Selain itu, perpindahan elektron disebabkan oleh level konduksi TiO₂ yang lebih rendah dari level LUMO *dye*.



Selanjutnya elektron bergerak melalui struktur kristal TiO₂ - TCO menuju rangkaian luar dan elektron masuk ke elektroda karbon dan bergerak melalui elektrolit sebagai pembawa minoritas. Perjalanan elektron dari elektroda karbon ke elektrolit dipercepat oleh dengan memanfaatkan karbon sebagai katalis.

Elektrolit redoks biasanya berupa elektrolit cair berupa pasangan iodide dan triiodide (I⁻/I₃⁻) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Adapun untuk mengatasi kebocoran elektrolit, elektrolit cair diubah bentuk menjadi elektrolit gel dengan memanfaatkan bahan polimer. Polimer tersebut sebagai semikonduktor tipe p yang dapat mentransfer *hole*. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis.



Pada persambungan elektrolit dengan dan molekul *dye* terjadi pergerakan *hole* dari molekul *dye* ke elektrolit dan pergerakan elektron dengan arah yang sebaliknya, sehingga dapat mereduksi

dye, dimana satu ion iodide pada elektrolit mengantarkan elektron yang membawa energi menuju *dye* teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul *dye* teroksidasi. Sehingga *dye* kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi (reaksi reduksi) (O'regan dan Gratzel, 1991; Smestad dan Grätzel, 1998; Halme, 2002).



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya berasal dari perbedaan tingkat energi fermi elektroda semikonduktor TiO₂ dengan potensial redoks (I/I₃⁻) elektrolit. Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Li B, Wang L, 2006).

2.3 Kaca Konduktif Transparan

Kaca konduktif transparan merupakan kaca yang bersifat konduktif secara elektrik, namun dapat ditembus cahaya. Karena dapat ditembus cahaya, foton dapat mengeksitasi elektron pada lapisan penyerap cahaya. Elektron yang tereksitasi selanjutnya akan mengalami pemisahan elektron sehingga dapat dihasilkan muatan listrik. Sifat penghantar listrik dari kaca kemudian dipergunakan untuk menghantarkan elektron menuju sirkuit dan kembali ke sel surya karena didalam logam juga ada elektron lepas. Jenis kaca yang umum digunakan antara lain AZO (*Aluminium-doped Zinc Oxide*), FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*), ATO (*antimony-doped tin oxide*) dan ITO (*Indium-doped Tin Oxide*). Pada penelitian ini digunakan ITO, hal ini dikarenakan ITO memiliki nilai resistansi terkecil diantara kaca konduktif lainnya (Puspitasari, 2012).

2.4 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang dapat terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya dapat menjadi konduktor elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia

lainnya. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar (Jiangshui, 2011).

Elektrolit pada DSSC ini memiliki peran sebagai pentransfer elektron. Elektrolit berfungsi untuk meregenerasi elektron pada *dye* yang telah mengalami eksitasi dan kehilangan elektron. Elektrolit pada saat ini kebanyakan berwujud cair dan berbasis pelarut. Elektrolit tersebut memiliki kekurangan karena sifatnya tidak stabil dalam penggunaan jangka panjang. Ketidakstabilan ini disebabkan karena jenis pelarut yang digunakan biasanya adalah pelarut organik dan digabungkan dengan proses penyinaran yang menimbulkan panas. Hal tersebut dapat menyebabkan hilangnya elektrolit dan berakibat electron pada *dye* tidak dapat teregenerasi, dan proses pengubahan atau konversi energi matahari menjadi listrik dapat terhenti seketika (Smestad dan Grätzel, 1998).

2.5 Katalis

Katalis merupakan suatu bahan yang dapat mempercepat suatu reaksi namun tanpa ikut bereaksi dengan reaktan. Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi. Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utamayaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Satu contoh sederhana untuk katalisis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjerap. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai

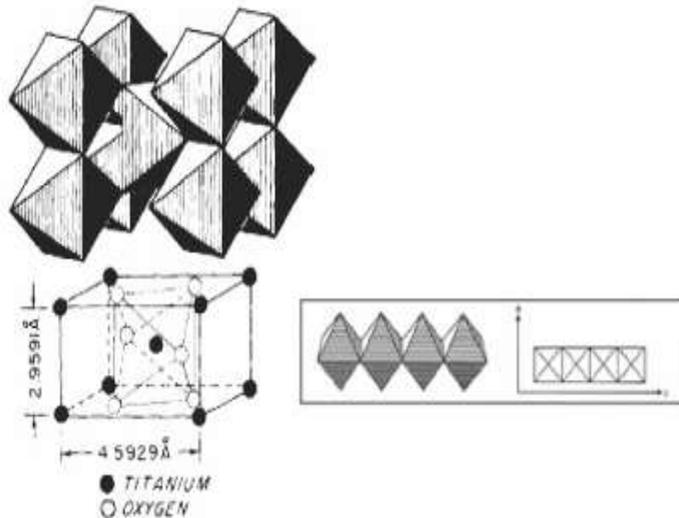
terbentuknya produk baru. ikatan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas (Nic.M, 2006)

Pada DSSC katalis dibutuhkan untuk mempercepat proses reduksi ion triiodide pada kaca konduktif. Lapisan katalis umumnya terbuat dari platinum, grafit dan emas. Penggunaan katalis karbon tidak sebaik platinum dan emas karena sifat reduksi ion I_3^- lebih rendah dibandingkan platinum (Won J.L, 2008). Meskipun platinum dan emas memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan karbon, harganya yang mahal menyebabkan banyak peneliti kemudian menggunakan katalis grafit atau karbon karena lebih murah. Selain murah, grafit/karbon mempunyai luas permukaan tinggi dan keaktifan dalam reduksi triiodide menyurupai platina. (Silviyanti, 2013).

2.6 Titanium Dioksida (TiO₂)

TiO₂ merupakan senyawa oksidasi dari unsur titanium. Secara fisik, TiO₂ ini berbentuk serbuk berwarna putih. Di alam umumnya TiO₂ mempunyai tiga fasa yaitu rutil, anatase, dan brookite seperti ditunjukkan struktur kristalnya. Fasa rutil dari TiO₂ adalah fasa yang umum dan merupakan fasa yang disintesis dari mineral *ilmenite* melalui proses Becher. Pada proses Becher, oksida besi yang terkandung dalam *ilmenite* dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan gas sulfat atau klor sehingga menghasilkan TiO₂ rutil dengan kemurnian 91-93%. Titania pada fasa anatase umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa brookite pada ukuran partikel 11 – 35 nm, dan fasa rutil diatas 35 nm. Material TiO₂ atau juga biasa disebut titania adalah material semikonduktor tipe-n yang memiliki energi gap sebesar 3,2 eV dan menyerap sinar pada daerah ultraviolet (Gambar 2.5). Material ini memiliki kemampuan yang baik dalam sifat fotokimia dan fotoelektrokimia, selain itu material TiO₂ tidak beracun. TiO₂ yang bisa digunakan untuk aplikasi DSSC ini adalah TiO₂ dengan fase anatase. Sebagian besar penelitian saat ini menggunakan TiO₂ fase anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi (Gratzel 2003, Maddu 2010).

Kemampuan fotoaktif yang tinggi memiliki arti bahwa material tersebut memiliki kemampuan penyerapan cahaya yang tinggi. TiO_2 hanya akan mengabsorpsi cahaya dengan panjang gelombang dibawah 400 nm, sehingga akan menyisakan sebagian besar spektrum untuk diserap oleh *dye* (Halme, 2002).

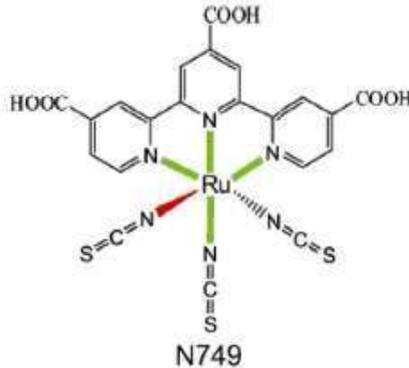


Gambar 2. 5 Struktur kristal TiO_2 fase anatase (Treybal, 1981).

2.7 Dye Sintetis N-749

Dye berperan penting dalam DSSC karena sebagai penangkap elektron tereksitasi dari foton. *Dye* yang efisien harus memiliki sifat optik dan karakteristik penyerapan yang intens pada daerah cahaya tampak dan memiliki sifat adsorpsi kimia yang kuat ke Permukaan TiO_2 . Selain itu, *dye* teroksidasi harus cepat diregenerasi untuk menghindari proses rekombinasi elektron. Untuk kebutuhan tersebut dihasilkan *dye* sintesis dari bahan kimia. *Dye* sintetis yang digunakan sebagai *sensitizer* adalah *dye* turunan

dari Ruthenium kompleks, salah satunya adalah *dye* N-749 yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

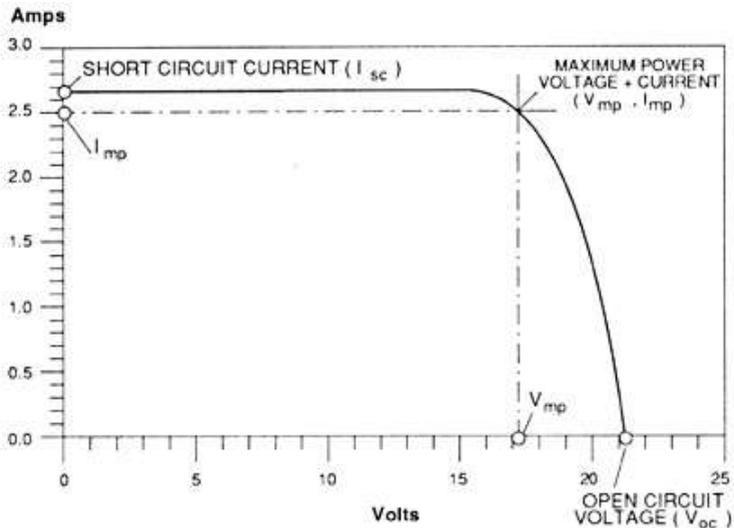


Gambar 2. 6 Struktur kimia *dye* N749

Senyawa ruthenium memiliki gugus karboksil yang berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida (Gratzel, 2003). Bagian COOH adalah yang menempel pada lapisan TiO₂, sedangkan NCS adalah sebagai pendonor elektron. *Dye* N-749 merupakan pewarna yang kehijauan dan memiliki terpyridyl ligan sekitar logam ruthenium. *Dye* N-749 merupakan nama produk dari Sigma Aldrich. *Dye* ini mempunyai nama lain yakni Black *dye*, Ruthenium 620, dan lain-lain. Rumus empiris dari *dye* ini adalah C₆₉H₁₁₆N₉O₆RuS₃. Penyerapan untuk *dye* N749 adalah sekitar 860 nm (Bang S.Y, 2012).

2.8 Karakterisasi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama (Green,Martin.A,1982). Karakteristik arus-tegangan sebuah sel surya ketika disinari cahaya ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 7 Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) sebuah sel surya

Pada Gambar 2.6, diperlihatkan tegangan *open-circuit* (V_{oc}), Arus *short circuit* (I_{sc}), *Maximum Power Point* (MPP), tegangan dan arus pada MPP (V_{MPP} dan I_{MPP}). Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* (V_{oc}). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *Fill factor* (FF) Unjuk kerja sel surya adalah faktor pengisian. *Fill factor* sel surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} , menurut persamaan (Green,Martin.A, 1982) :

$$\text{Fill factor (FF)} = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.5)$$

Dengan menggunakan *fill factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan berikut:

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF, \quad (2.6)$$

Sehingga efisiensi (η) sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{max}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{cahaya}) (Green,Martin.A,1982) :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}}, \quad (2.7)$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *magnetic stirrer*, *furnace*, spektrometer UV-Vis, *pH meter digital*, potensiostat, *hot-plate*, neraca digital, *ultrasonic-cleaner*, mikroskop, mortar, krusible, gelas kimia, gelas ukur, cuvet, pipet, pinset, kabel listrik, dan penggaris.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain TiCl_3 , NH_4OH , Serbuk *dye* sintetis N-749, Aquades, PEG 1000 (*Polyethylene Glycol*), KI, *Acetonitril*, *Iodine*, HCL, Etanol, Triton X-100, Asam Asetat, dan Pensil 8.

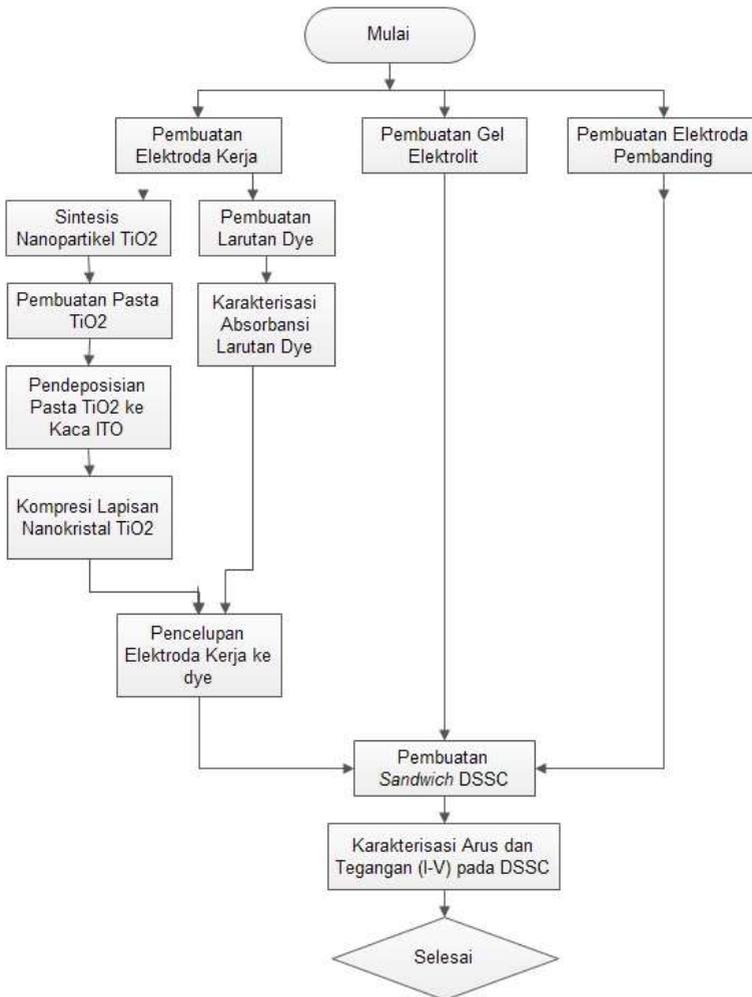
3.2 Langkah kerja

Secara umum, proses dalam penelitian ini adalah :

1. Pembuatan nanopartikel TiO_2 dengan fase anatase.
2. Pembuatan Pasta TiO_2 .
3. Pendeposisian pasta TiO_2 pada kaca ITO (*Indium Tin Oxide*).
4. Proses kompresi lapisan permukaan TiO_2 yang telah dideposisi pada kaca ITO
5. Karakterisasi morfologi permukaan kaca terkompresi dengan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*).
6. Pembuatan larutan *dye* berbahan dasar *dye* sintetis N-749.
7. Pengukuran nilai absorbansi cahaya dari larutan *dye* yang dihasilkan dengan bantuan alat *UV-Vis Spectrometer*
8. Perendaman kaca ITO yang telah tedeposisi (Elektroda kerja) ke dalam larutan *dye*
9. Pembuatan elektrolit gel.
10. Karakterisasi arus, tegangan dan efisiensi yang dihasilkan.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

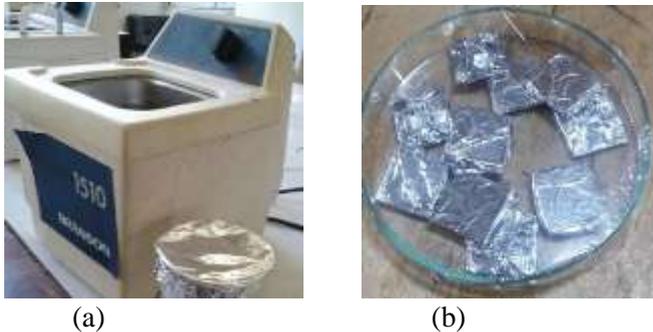
3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Persiapan awal

Tahap persiapan ini meliputi pembersihan kaca ITO dengan *ultrasonic cleaner*, proses pembersihan mortar, gelas kimia, gelas ukur, krusible, pipa tetes, hingga pengaduk. Hal ini dilakukan agar didapatkan bahan yang diinginkan tanpa terkontaminasi dengan bahan lain yang tak diinginkan. Pembersihan kaca ITO dengan *ultrasonic cleaner* dilakukan agar kaca terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan air saja. Bersih tidaknya kaca ITO mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan pada kaca substrat. Persiapan lainnya adalah

Proses pembersihan kaca ITO dengan *ultrasonic cleaner* langkah kerjanya sebagai berikut :

- Disiapkan sampel potongan kaca ITO berukuran $2 \times 2 \text{ cm}^2$
- Alkohol 70% dituangkan pada gelas kimia sebanyak 200 ml.
- Kaca ITO selanjutnya dimasukkan pada gelas kimia yang telah berisi alkohol 70%.
- Alat *Ultrasonic cleaner* (Gambar 3.2) selanjutnya diisi aquades sampai batas yang ditentukan.
- Langkah berikutnya gelas kimia yang berisi alkohol dan kaca ITO dimasukkan ke ultrasonic cleaner kemudian diatur waktu 60 menit.
- Setelah 60 menit kaca di keringkan menggunakan *hairdryer*. Proses pembersihan kaca ITO dilakukan sebanyak dua kali.
- Kaca yang telah dibersihkan selanjutnya disimpan terbungkus dalam media aluminium foil untuk menjaga kebersihan kaca dari kontaminasi.



Gambar 3. 2 (a) alat ultrasonic cleaner; (b) sampel kaca ITO terbungkus aluminium foil

3.4.2 Sintesis Nanopartikel TiO_2

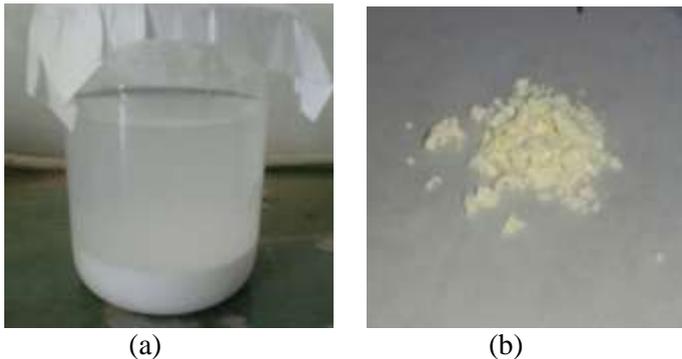
Sintesis ini dilakukan dengan metode kopresipitasi, yaitu dengan mencampurkan asam dan basa sehingga diperoleh endapan bahan yang diinginkan (Gambar 3.3). Kopresipitasi merupakan metode yang prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat. langkahnya yaitu:

- Larutan TiCl_3 sebanyak 20 ml dicampur dengan 100 ml aquades selanjutnya diaduk selama 1 jam.



Gambar 3. 3 Larutan TiCl_3 dengan campuran aquades

- Larutan tersebut tetap diaduk kemudian ditetesi larutan NH_4OH hingga larutan tersebut memiliki pH 9.
- Setelah nilai pH bernilai 9 larutan tetap diaduk sampai larutan menjadi berwarna putih pekat.
- Larutan selanjutnya diendapkan pada suhu kamar dan tertutup rapat selama 24 jam.
- Endapan yang terbentuk dipisahkan dari larutannya dan diganti dengan memasukan 200 ml aquades, kemudian diaduk dan kembali di endapkan. Langkah tersebut dilakukan hingga endapan bernilai pH 7.
- Endapan tersebut kemudian dikalsinasi pada suhu 400°C dengan *holding time* 3 jam sampai terbentuk serbuk TiO_2 dengan fase anatase. (Gambar 3.4)



Gambar 3. 4 (a) Endapan partikel TiO_2 ; (b) Serbuk partikel TiO_2

- Serbuk TiO_2 yang terbentuk selanjutnya dilakukan pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*), data difraksi yang diperoleh selanjutnya diolah dengan bantuan *software Match!* Untuk analisis fasa dan *software Maud* untuk menganalisis ukuran partikel.

3.4.3 Pembuatan Pasta TiO₂

Langkah pembuatan pasta TiO₂ yaitu :

- Serbuk TiO₂ sebanyak 0,7gr digerus halus dalam mortar. (Gambar 3.5)
- Aquades sebanyak 1,4 ml ditambahkan kedalam mortar dengan tetap digerus selama 10 menit.
- Selanjutnya ditambahkan PEG1000 sebanyak 3 gr, asam asetat sebanyak 0,7ml, *acetylacetone* sebanyak 1 ml, serta triton X-100 sebanyak 0,7 ml. (Kook, Lee Jin. 2009).
- Pasta TiO₂ yang telah terbentuk selanjutnya diletakkan pada wadah yang tertutup rapat.



(a)



(b)

Gambar 3. 5 (a) Penggerusan serbuk TiO₂; (b) pasta TiO₂ yang tersimpan dalam wadah

3.4.4 Pendeposisian Pasta TiO₂ Pada Kaca ITO

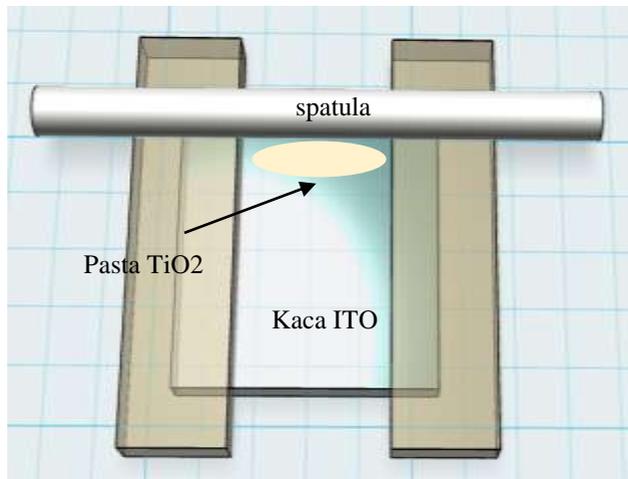
Pendeposisian atau proses pelapisan pasta TiO₂ pada kaca ITO dilakukan dengan metode *Doctor Blade*. Langkahnya yaitu:

- Kaca ITO dengan ukuran 2,5 × 2,5 cm² dicari sisi konduktifnya dengan alat *multimeter*. (Gambar 3.6)



Gambar 3. 6 Mencari sisi konduktif kaca ITO

- Kaca selanjutnya diberi pembatas pada sisin konduktifnya dengan plastik tertentu untuk mendapatkan area pendeposisian pasta TiO_2 dengan ukuran luasan $2 \times 2 \text{ cm}^2$.



Gambar 3. 7 Teknik pendeposisian pasta TiO_2 dengan metode *doctor blade*

- Lapisan TiO_2 yang telah dideposisi pada kaca ITO sedapat mungkin memiliki ketebalan yang sesuai yaitu tidak terlalu tebal maupun terlalu tipis. (Gambar 3.7).
- Kaca yang telah dideposisi oleh lapisan TiO_2 selanjutnya dipanaskan dengan media *hotplate*.
- Pemanasan dilakukan mulai dari suhu ruang kemudian ditingkatkan temperaturnya sebanyak 50°C tiap 5 menit sampai temperatur puncak sebesar 450°C .
- Pemanasan dihentikan ketika lapisan TiO_2 pada kaca yang saat dipanaskan berwarna hitam berubah menjadi warna putih kembali
- Kaca yang telah dipanaskan selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan didiamkan selama 24 jam.



(a)



(b)

Gambar 3. 8 (a) Proses pendeposisian pasta TiO_2 pada kaca ITO; (b) Pemanasan kaca ITO yang telah terdeposisi TiO_2

3.4. 5 Proses Kompresi lapisan nanokristal TiO_2

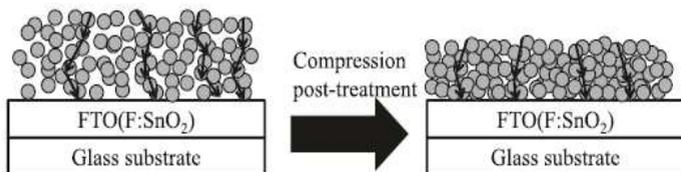
Proses kompresi dilakukan dengan tujuan untuk membuat permukaan pada lapisan nanokristal TiO_2 lebih halus dan homogen, hal ini berakibat meningkatkan transport elektron antar nanokristal TiO_2 (Gambar 3.10). Langkahnya sebagai berikut:

- Disiapkan alat kompresi yang akan digunakan, pada penelitian ini alat yang digunakan berbasis *mechanical compression* (Gambar 3.9).



Gambar 3. 9 Alat mechanical compression

- Disiapkan material *shock absorber* serta *non stick layer*
- Kaca ITO yang telah dideposisi lapisan nanokristal TiO_2 diletakkan diatas material *shock absorber* (Gambar 3.11)



Gambar 3. 10 Gambaran fisik lapisan semikonduktor sebelum dan sesudah proses kompresi (Meen T.H, 2014)

- Selanjutnya pada bagian atas dimana terdapat lapisan nanokristal TiO_2 diletakkan nanokristal TiO_2 material *non stick layer*
- Kaca selanjutnya dikompresi dengan variasi beban 25 N selama 10 menit
- Langkah yang sama juga dilakukan untuk variasi beban 50 N



Gambar 3. 11 Kaca ITO yang telah dilakukan proses kompresi

3.4.6 Karakterisasi Morfologi Permukaan Elektroda kerja

Sesudah dilakukan proses kompresi, lapisan TiO_2 terdeposisi (elektrodakerja) di karakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran hingga 200, 500, dan 1000 kali untuk melihat morfologi permukaan lapisan nanopartikel TiO_2 (Gambar 3.12).



Gambar 3. 12 Proses analisa morfologi permukaan lapisan TiO_2 dengan alat SEM

3.4.7 Pembuatan Larutan *Dye*

Larutan *dye* yang digunakan yaitu berbasis *dye* sintesis N-749. Langkah pembuatannya yaitu (Gambar 3.13):

- Serbuk *dye* sintesis ditimbang sebanyak 6,8 miligram
- Serbuk tersebut selanjutnya dilarutkan kedalam 10 mL larutan ethanol
- Larutan tersebut selanjutnya diaduk dengan stirrer selama 10 menit.



(a)



(b)

Gambar 3. 13 (a) Proses menimbang serbuk *dye*; (b) Larutan *dye* yang telah terbentuk

- Larutan *dye* yang telah terbentuk selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah yang tertutup rapat

3.4.8 Karakterisasi Absorbansi Larutan *Dye*

Proses karakterisasi dilakukan dengan bertujuan untuk mengetahui daya absorbansi larutan *dye* yang digunakan, proses ini dilakukan dengan menggunakan peralatan spektrometer UV (Gambar 3.14). Langkahnya yaitu:

- Disiapkan cuvet sebanyak dua buah
- Salah satu cuvet diisi dengan larutan *dye*, sedangkan cuvet lainnya diisi ethanol untuk mengkalibrasi alat spektrometer UV-Vis.



Gambar 3. 14 Proses pengujian absorbansi larutan *dye* dengan menggunakan alat spektrometer Uv-Vis

- Kedua cuvet selanjutnya diletakan ke dalam alat spektrometer UV dan diprogram untuk mengetahui grafik absorbansi terhadap panjang gelombang.

3.4.9 Pencelupan Elektroda kerja

Proses pencelupan elektroda kerja dilakukan pada 10 ml larutan *dye* selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah dilakukan pencelupan, elektroda kerja tersebut tersebut dikeringkan di udara terbuka. Langkah tersebut dilakukan untuk semua variasi elektroda kerja yang digunakan

3.4.10 Pembuatan Elektrolit Gel

Elektrolit yang digunakan adalah berupa elektrolit gel berbasis polimer PEG (*polyethylene glycole*) dengan berat molekul (BM) 1000. langkahnya yaitu:

- Dicampurkan PEG 1000 sebanyak 7 gr, kloroform sebanyak 25 ml, KI sebanyak 3 gr, serta acetonitril sebanyak 10 ml

- Larutan tersebut diaduk secara homogen dengan alat *magnetic stirrer* sambil dipanaskan pada suhu 80°C
- Larutan tersebut tetap diaduk sampai diperoleh elektrolit berbentuk gel.

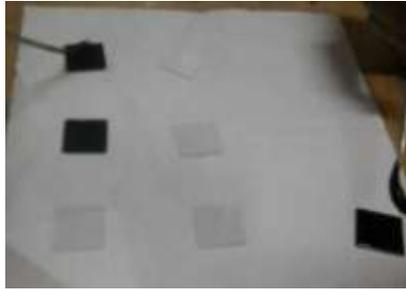
3.4.11 Pembuatan Elektroda Pemanding

Elektroda pemanding pada DSSC merupakan kaca dengan permukaan konduktif yang dilapisi oleh karbon. langkah pembuatannya yaitu:

- Grafit yang berasal dari pensil 8B ditumbuk halus dengan mortar. (Gambar 3.15).
- Serbuk grafit sebanyak 3,5 gr selanjutnya dicampurkan dengan ethanol sebanyak 14 ml sehingga didapat pasta grafit.



Gambar 3. 15 Proses penghalusan grafit karbon dari pensil 8B

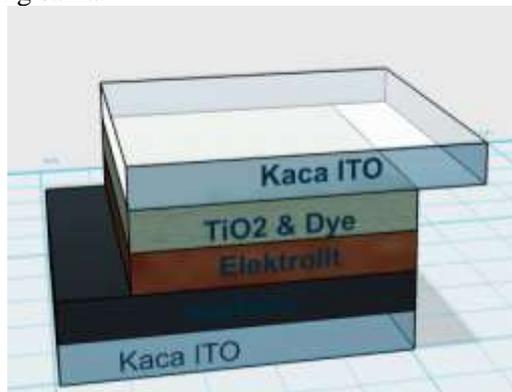


Gambar 3. 16 Proses pendeposisian pasta karbon

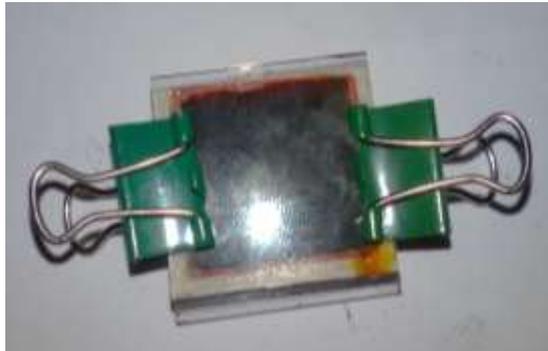
- Pasta grafit selanjutnya dideposisikan pada permukaan kaca ITO. (Gambar 3.16).
- Selanjutnya dilakukan proses pemanasan pada kaca ITO dengan alat *hot plate* pada suhu 350°C selama 30 menit.

3.4.12 Pembuatan *Sandwich DSSC*

Lapisan sandwich DSSC secara berurutan terdiri dari elektoda kerja, elektrolit dan elektroda karbon ditunjukkan seperti pada Gambar 3.3. Hal perlu diperhatikan yaitu untuk menghindari gel elektrolit mengalir ataupun menguap keluar, kemasan perakitan DSSC harus dibuat kedap sehingga elektrolit tetap dalam keadaan dan jumlah yang sama.



Gambar 3. 17 Teknik Penyusunan Sandwich DSSC



Gambar 3. 18 Sampel DSSC yang telah difabrikasi

3.4.14 Karakterisasi Arus dan Tegangan (I-V) pada DSSC

Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) akan dilakukan di Lab. Fisika UNS-Solo dan Lab. Fisika ITB-Bandung dengan menggunakan alat Keithley I-V meter (Gambar 3.19 dan 3.20). Data keluaran dan alat I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Berdasarkan data tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*. Berdasarkan grafik hubungan tersebut dapat diketahui karakteristik Sel DSSC yang dibuat dengan menganalisa parameter sel-surya seperti ; tegangan *open-circuit (Voc)*, Arus *short circuit (Isc)*, *Maximum Power Point (MPP)*, tegangan dan arus pada MPP (*VMPP* dan *IMPP*), *Fill factor (FF)* dan Efisiensi. Langkah kerjanya yaitu :

- Disiapkan peralatan Keithley I-V meter serta lampu halogen
- Diatur jarak penyinaran antara lampu halogen dengan DSSC yang akan diukur.
- Diukur besar intensitas cahaya dari lampu halogen dengan alat luxmeter, diusahakan agar didapat daya sebesar $1000\text{W}/\text{cm}^2$

- Setelah diperoleh daya lampu yang diharapkan, sampel DSSC diletakkan dibawah penyinaran lampu halogen dan dihubungkan dengan alat Keithley I-V meter
- Alat Keithley I-V meter kemudian dinyalakan, data yang diperoleh kemudian dicatat



(a)



(b)

Gambar 3. 19 (a) Alat Keithley I-V meter; (b) Pengukuran daya lampu halogen



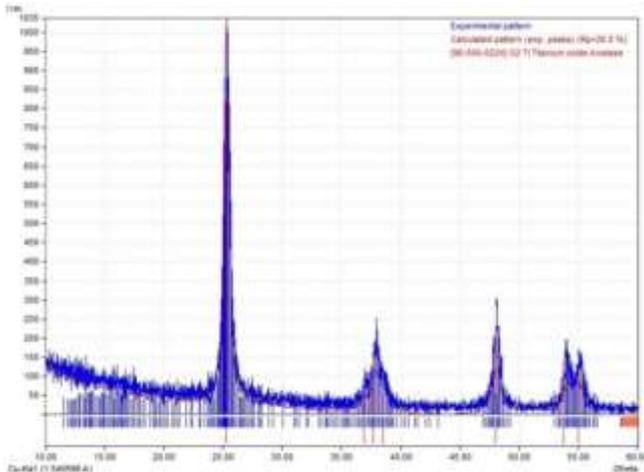
Gambar 3. 20 Proses pengujian karakteristik DSSC dengan alat Keithley I-V

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

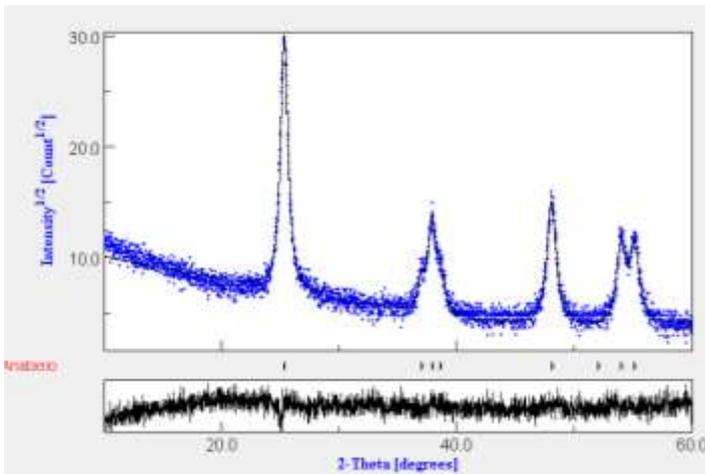
4.1 Hasil Pengujian XRD Partikel TiO₂

Untuk mengetahui karakteristik dari serbuk partikel TiO₂ yang telah disintesis dilakukan pengujian XRD (X-Ray Diffraction). Data yang diperoleh dari pengujian tersebut berupa grafik dengan karakteristik puncak tertentu yang dapat digunakan untuk mengetahui fase dari material serbuk TiO₂ yang dihasilkan dari percobaan. Secara umum material TiO₂ memiliki tiga bentuk fase yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*. Fase dari TiO₂ yang umumnya banyak dipilih sebagai material penyusun DSSC adalah fase *rutile* dan *anatase*. Diantara kedua fase tersebut fase anatase memiliki kelebihan dibandingkan fase *rutile* yaitu fase *anatase* memiliki karakteristik sifat fotovoltaiik yang baik serta memiliki band gap energi yang sesuai dengan energi foton yang diserap oleh *dye* pada rentang panjang gelombang cahaya tampak.



Gambar 4. 1 Grafik puncak kristal fase anatase TiO₂ yang dihasilkan dengan bantuan *software Match!*

Pada percobaan ini serbuk TiO_2 yang terbentuk diharapkan memiliki fase anatase, untuk itu dilakukan proses pengujian dengan bantuan software komputer Match! (Gambar 4.1). Berdasarkan pengujian dengan software tersebut diketahui bahwa serbuk TiO_2 yang disintesis dalam percobaan ini memiliki fase anatase. Berdasarkan hasil analisa diketahui bahwa sudut kristal dengan puncak Kristal tertinggi yang membentuk fase anatase terdapat pada sudut $2\theta = 25.32^\circ$. pada puncak-puncak kristal yang lain, fase Anatase terbentuk pada sudut $2\theta = 36.96^\circ, 37.83^\circ, 38.53^\circ, 48.06^\circ, 53.88^\circ,$ dan 55.08° . metode untuk menentukan jenis fase TiO_2 dilakukan berdasarkan pada keserasian posisi puncak sudut (2θ) tertentu dengan data acuan dari *database* software Match!.



Gambar 4. 2 Grafik pengujian ukuran serbuk TiO_2 dengan bantuan *software* MAUD

Proses pengujian serbuk TiO_2 juga meliputi uji ukuran partikel. Selain fase, ukuran partikel dari material TiO_2 juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja dari DSSC.

TiO₂ merupakan semikonduktor dalam DSSC yang berperan menghasilkan elektron yang berasal dari eksitasi oleh energi cahaya yang diserap material *dye*. Agar jumlah proses eksitasi elektron meningkat material *dye* harus banyak yang menempel pada permukaan TiO₂. Untuk meningkatkan penyerapan material *dye* ini dapat dilakukan dengan meningkatkan luas permukaan dari TiO₂.

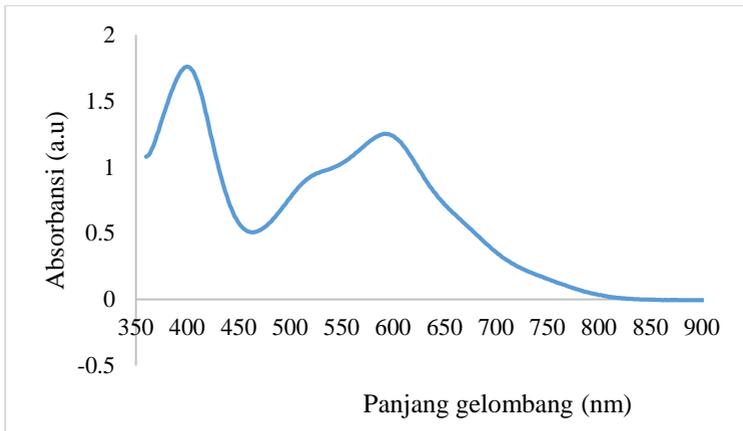
Proses meningkatkan luas permukaan dari serbuk TiO₂ dapat dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel dari TiO₂, hal tersebut dapat terjadi karena semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaan totalnya akan semakin besar. Pada percobaan ini ukuran partikel dari TiO₂ yang terbentuk dengan bantuan *software* komputer *software Materials Analysis Using Diffraction (MAUD)* (Gamba 4.2). Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa serbuk TiO₂ yang terbentuk memiliki nilai $Sig = 1,3082525$ dan $Rw(\%) = 16,095331$, kedua nilai tersebut masih memenuhi nilai $Sig < 2\%$ dan $Rw < 15\%$ yang merupakan nilai syarat minimum dari analisis Rietveld yang dapat diterima (E.H Kisi, 1994).

4.2 Pengujian Absorbansi Panjang Gelombang Cahaya Pada Larutan *Dye*

Untuk mengetahui nilai penyerapan cahaya pada material *dye*, material black *dye* yang digunakan dalam DSSC diuji nilai absorbansi cahayanya. Hasil dari pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui pada panjang gelombang berapa material *dye* menyerap gelombang cahaya secara optimum. *Dye sensitizer* yang baik mampu menyerap cahaya dengan maksimal pada range panjang gelombang yang lebar, terutama di daerah rentang panjang gelombang cahaya tampak karena intensitas tertinggi gelombang elektro magnetik yang diterima oleh bumi dari matahari adalah terletak pada daerah rentang panjang gelombang cahaya tampak (Hikmah, 2015).

Berdasarkan grafik absorbansi cahaya terhadap panjang gelombang, yang ditampilkan oleh Gambar 4.3, diketahui bahwa material black *dye* yang digunakan dalam percobaan ini memiliki

nilai absorbansi maksimum pada sekitar panjang gelombang 400nm serta 600nm. Grafik menunjukkan bahwa nilai absorbansi cahaya tidak bersifat linier dengan nilai dari panjang gelombang. Nilai absorbansi dari material *dye* yang baik secara umum harus memiliki nilai yang maksimum pada sekitar panjang gelombang cahaya tampak yaitu cahaya dengan panjang gelombang 350-780nm



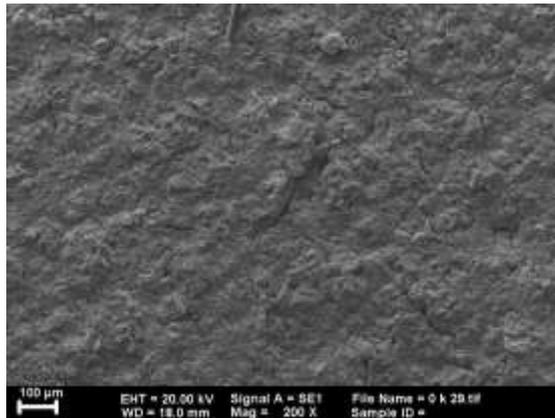
Gambar 4. 3 Grafik hasil pengukuran absorbansi larutan *dye* pada berbagai panjang gelombang cahaya

4.3 Pengamatan Morfologi Permukaan Lapisan TiO₂

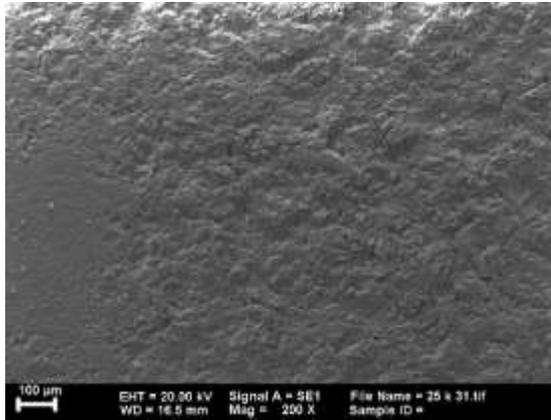
Untuk mengetahui struktur permukaan dari material TiO₂ yang telah dideposisi ke kaca ITO dilakukan pengujian dengan menggunakan alat SEM (*Scanning electron microscope*). Berdasarkan pengujian diketahui bahwa pada Gambar 4.4 yaitu sampel lapisan TiO₂ tanpa proses kompresi memiliki struktur yang kasar dan tidak rata. Gambar menunjukkan struktur lapisan TiO₂ tanpa kompresi dengan perbesaran 200 kali, pada gambar tersebut nampak adanya struktur retakan (*cracking*) pada permukaan lapisan TiO₂. Adanya struktur retakan ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor berikut.

Faktor pertama yaitu terjadinya proses penguapan yang cepat pada pelarut TiO_2 saat dilakukan proses pemanasan. Pada saat dilakukan deposisi ke kaca ITO, serbuk TiO_2 harus dicampurkan dengan senyawa pelarut, proses ini berguna agar partikel TiO_2 lebih mudah ditempel serta mempermudah dalam mengatur proses ketebalan. Pada saat proses deposisi telah selesai dilakukan, dilakukan proses pemanasan untuk menghilangkan pelarut. Karena memiliki titik didih yang berbeda dengan TiO_2 , pelarut dari TiO_2 akan menguap sehingga kemudian hanya akan menyisakan lapisan TiO_2 pada kaca ITO.

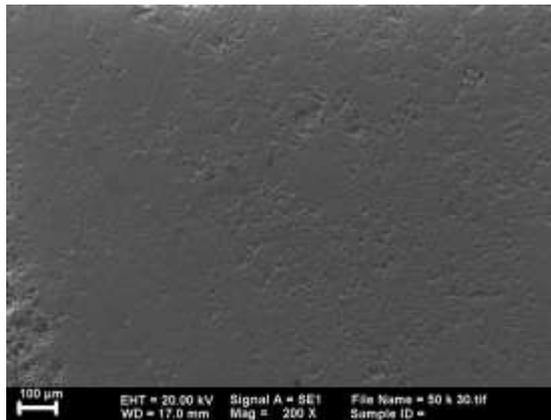
Faktor kedua yaitu berkurangnya ikatan antar partikel TiO_2 ketika lapisan TiO_2 pada kaca sangat tebal. Setiap partikel memiliki nilai ketebalan kritis terhadap retakan (*critical thickness for cracking*). Nilai ini memiliki arti bahwa apabila suatu partikel dideposisi pada suatu media dengan tebal yang melebihi nilai tersebut, maka akan terbentuk pola retakan pada partikel terdeposisi (Kozuka, 2004). Pada saat dilakukan pendeposisian partikel TiO_2 pada pada ITO, ketebalan pendeposisian mungkin telah melewati nilai *critical thickness for cracking* sehingga akibat hal tersebut muncul pola retakan pada lapisan TiO_2 terdeposisi.



Gambar 4. 4 Hasil pengujian SEM terhadap morfologi lapisan permukaan TiO_2 tanpa kompresi



Gambar 4. 5 Hasil pengujian SEM terhadap morfologi lapisan permukaan TiO₂ dengan beban kompresi 25 N



Gambar 4. 6 Hasil pengujian SEM terhadap morfologi lapisan permukaan TiO₂ dengan beban kompresi 50 N

Faktor ketiga yang dapat menyebabkan terbentuknya struktur retakan pada lapisan TiO₂ yaitu adanya perbedaan nilai pemuaian termal antara material TiO₂ dengan kaca ITO. Apabila antara struktur TiO₂ dengan kaca ITO memiliki nilai pemuaian termal yang berbeda, maka pada saat dilakukan proses pemanasan salah

satu diantara kedua material tersebut akan memuai terlebih dahulu dibandingkan material lainnya. Pemuaian ini akan menyebabkan berubahnya ukuran dari material yang dapat menyebabkan meregangnya jarak antar partikel. Proses inilah yang pada akhirnya dapat menghasilkan struktur *cracking* atau retakan pada lapisan TiO₂ (Lin C.K, 2006).

Terdapatnya retakan pada lapisan TiO₂ memiliki pengaruh terhadap kinerja dari DSSC. Struktur retakan pada lapisan TiO₂ dapat menyebabkan berkurangnya jumlah ikatan antar partikel TiO₂. Nilai efisiensi kerja dari DSSC dapat menurun dikarenakan elektron yang telah mengalami eksitasi karena menerima energi cahaya matahari tidak dapat mengalir dengan baik dikarenakan terdapatnya celah-celah dalam TiO₂ karena adanya pola struktur retakan tersebut.

Untuk menghilangkan adanya struktur retakan pada lapisan TiO₂ tersebut dilakukan proses kompresi. Berdasarkan Gambar 4.5 hasil pengujian dengan alat SEM tampak bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara lapisan TiO₂ sebelum dan setelah dilakukan proses kompresi. Pada Gambar 4.4 terlihat pada lapisan permukaan TiO₂ tanpa proses kompresi terdapat sebuah struktur retakan (*cracking*) yang cukup jelas. Selain tampaknya sebuah struktur retakan, pada lapisan permukaan TiO₂ tersebut tampak memiliki struktur yang kasar dan persebaran partikelnya sangat tidak merata. Gambar 4.5 menunjukkan lapisan permukaan TiO₂ setelah dilakukan proses kompresi dengan beban 25 N. Pada gambar tersebut terlihat bahwa hampir tidak dijumpai adanya struktur retakan (*cracking*) pada lapisan permukaan TiO₂. Selain itu lapisan tersebut memiliki struktur yang sedikit lebih rata dan persebaran partikelnya sedikit lebih baik bila dibandingkan lapisan TiO₂ tanpa dilakukan proses kompresi. Pada Gambar 4.6 menunjukkan lapisan permukaan TiO₂ setelah dilakukan proses kompresi dengan beban 50 N. Lapisan permukaan TiO₂ yang terlihat pada gambar tersebut sama sekali tidak menunjukkan adanya struktur retakan pada lapisannya. Lapisan permukaan TiO₂ dengan beban kompresi 50 N tampak

jauh lebih halus serta persebaran partikelnya lebih rata apabila dibandingkan dengan lapisan TiO_2 dengan beban kompresi 25 N.

Berdasarkan hasil pengujian dengan alat SEM dapat diketahui bahwa dilakukannya proses kompresi dapat memberi pengaruh yang sangat signifikan terhadap struktur permukaan dari lapisan TiO_2 . Selain berguna untuk memperbaiki struktur permukaan dari lapisan TiO_2 , proses kompresi juga berguna untuk mengurangi ketebalan lapisan TiO_2 tanpa mengurangi jumlah partikel TiO_2 yang terdeposisi pada kaca ITO. Ketebalan lapisan dari TiO_2 pada kaca ITO juga memiliki peranan dalam kinerja dari DSSC.

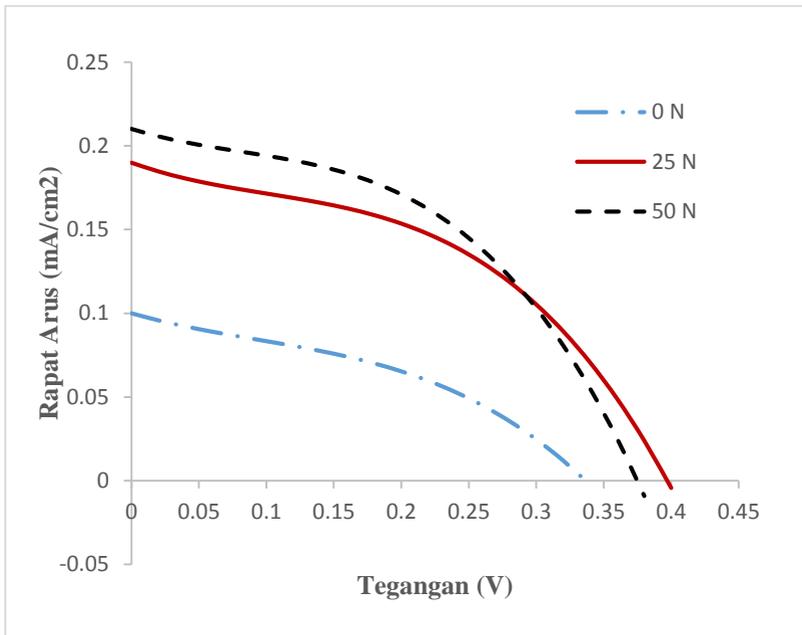
Lapisan TiO_2 yang terlalu tebal dapat mengakibatkan jumlah elektron yang mengalir menjadi berkurang, hal tersebut dapat terjadi karena adanya proses rekombinasi antara elektron dengan molekul *dye* yang teroksidasi. Proses rekombinasi sendiri dipengaruhi oleh jarak lapisan TiO_2 yang terlalu tebal. Selain hal tersebut jarak lapisan TiO_2 yang terlalu tebal dapat menyebabkan jalur mengalir elektron menjadi semakin jauh sehingga akan mempersulit elektron untuk bergerak ke elektroda anoda DSSC. Dengan dilakukannya proses kompresi lapisan TiO_2 ketebalan dapat berkurang sehingga dapat meminimalisir terjadinya proses rekombinasi elektron pada lapisan TiO_2 . Proses kompresi dapat mengurangi ketebalan lapisan TiO_2 dengan tanpa mengurangi luas permukaan total dari partikel TiO_2 yang dideposisi. Berkurangnya ketebalan pada lapisan TiO_2 juga berguna untuk mengurangi jarak transport elektron serta nilai hambatan dalam dari sebuah DSSC (Tsai, J.K, 2006).

Proses kompresi pada lapisan TiO_2 dapat menyebabkan meningkatnya kerapatan partikel TiO_2 , namun demikian meskipun kerapatannya meningkat lapisan TiO_2 masih memiliki sifat porositas yang baik. Hal tersebut dapat diketahui dari molekul *dye* yang dapat terserap dengan baik pada lapisan TiO_2 pada saat dilakukan proses pencelupan *dye*. Molekul *dye* yang berikatan dengan baik pada partikel TiO_2 akan berakibat meningkatkan kinerja dari DSSC, hal ini terjadi karena dengan

semakin banyaknya ikatan antara *dye* dengan partikel TiO_2 maka akan semakin banyak pula energi cahaya matahari diserap dan kemudian dapat dikonversi untuk menjadi energi listrik.

4.4 Hasil Uji Arus dan Tegangan DSSC

Gambar 4.7 menunjukkan karakteristik rapat arus dan tegangan dari DSSC dengan penyinaran $100\text{mW}/\text{cm}^2$. Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa pada sampel DSSC tanpa kompresi memiliki pola garis grafik yang landai serta rendah, hal tersebut mengindikasikan bahwa pada sampel DSSC tanpa proses kompresi memiliki nilai rapat arus yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan sampel DSSC dengan proses kompresi.



Gambar 4. 7 Grafik karakteristik rapat arus dan tegangan pada DSSC dengan berbagai beban kompresi

Diantara kedua sampel DSSC dengan proses kompresi diketahui bahwa sampel dengan beban kompresi 50 N pada sekitar daerah dibawah tegangan 0.26 V memiliki pola garis grafik yang berada sedikit diatas garis grafik sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N. Pola garis tersebut menunjukkan bahwa pada sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N memiliki nilai rapat arus yang lebih tinggi daripada sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N. Sedangkan pada sekitar daerah diatas tegangan 0.26 V pola garis grafik sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N berada sedikit diatas pola garis grafik sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N. Pola garis tersebut menunjukkan bahwa pada sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N memiliki nilai rapat arus yang lebih tinggi daripada sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N.

Pola garis grafik pada sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N tampak lebih landai. Pola grafik ideal rapat arus dan tegangan pada DSSC seharusnya pada awalnya lurus dan pada titik tertentu akan turun dengan curam (Mershin, 2012). Berdasarkan grafik hubungan antara rapat arus dan tegangan dapat dihitung nilai MPP (*maximum power point*) dari DSSC. Nilai MPP merupakan suatu nilai yang menunjukkan besar daya listrik maksimum yang dapat dihasilkan dari sebuah DSSC. Nilai MPP ini juga merupakan salah satu variabel perhitungan untuk menentukan nilai *fill factor* serta efisiensi kerja dari DSSC.

Tabel 4. 1 Perbedaan karakteristik DSSC dengan berbagai beban kompresi

Beban (N)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	$F.F$ (%)	η (%)
0	0,330	0,130	40,000	0,013
25	0,400	0,190	44,470	0,032
50	0,370	0,210	51,081	0,037

Berdasarkan data hasil pengukuran arus dan tegangan yang disajikan pada Tabel 4.1, diketahui bahwa pada sampel DSSC tanpa dilakukan proses kompresi didapatkan nilai tegangan open circuit, rapat arus, *fill factor*, serta efisiensi yang lebih rendah daripada sampel DSSC dengan proses kompresi. Berdasarkan data tersebut dapat diindikasikan bahwa proses kompresi pada lapisan TiO_2 dapat meningkatkan kinerja dari DSSC. Berdasarkan percobaan diketahui bahwa perlakuan proses kompresi pada lapisan TiO_2 dapat merubah jarak antar partikel dari TiO_2 . Dengan jarak antar partikel TiO_2 yang berkurang, elektron yang tereksitasi dapat mengalir lebih lancar dan pada akhirnya dapat meningkatkan kinerja dari DSSC.

Diantara kedua sampel DSSC dengan proses kompresi diketahui bahwa DSSC dengan beban kompresi 50 N memiliki nilai tegangan open circuit (V_{oc}) yang lebih kecil namun rapat arus (J_{sc}), *fill factor* (FF), serta efisiensi (η) yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N. V_{oc} merupakan kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai ketika tidak ada arus atau tegangan rangkaian terbuka saat arus bernilai nol dan tegangan bernilai maksimum penyinaran. Sedangkan J_{sc} adalah nilai maksimum output dari sel surya yang dapat dikeluarkan di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau *short circuit*.

Nilai V_{oc} dan J_{sc} setidaknya dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu; pertama, jumlah elektron yang tereksitasi yang berkaitan dengan tingkat adsorpsi molekul *dye*; kedua, tingkat rekombinasi dari molekul *dye* dengan partikel TiO_2 atau antara partikel TiO_2 dengan elektrolit; dan ketiga, reaksi redoks antara ion-ion dalam elektrolit. (Tsai,JK, 2013). Rendahnya nilai V_{oc} pada sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N dibandingkan dengan sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N dapat diakibatkan oleh ketiga faktor diatas.

Berdasarkan data pengukuran diketahui bahwa nilai *fill factor* dan efisiensi tertinggi terdapat pada sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa

beban kompresi memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan nilai *fill factor* serta efisiensi. Beban kompresi yang semakin besar akan membuat kemungkinan terjadinya cracking pada lapisan TiO_2 semakin kecil, hal tersebut berakibat pada pergerakan elektron yang semakin lancar. Dengan membandingkan nilai efisiensi antara sampel DSSC tanpa proses kompresi dengan DSSC dengan dilakukan proses kompresi diketahui bahwa terjadi peningkatan perbandingan nilai efisiensi sebesar 147,57% untuk sampel dengan beban kompresi 25 N serta 186,36% untuk sampel dengan beban kompresi 50 N. berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa proses kompresi pada lapisan TiO_2 merupakan suatu metode yang efektif dalam upaya peningkatan nilai efisiensi kerja dari DSSC.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe DSSC dengan proses kompresi lapisan TiO₂ yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik telah berhasil dibuat dan dikarakterisasi arus dan tegangannya.
2. Proses kompresi pada lapisan TiO₂ memberi pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja dari DSSC.
3. Terdapat peningkatan perbandingan nilai efisiensi masing-masing sebesar 147,57 % dan 186,36 % pada sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N dan 50 N dibandingkan dengan sampel DSSC tanpa dilakukan proses kompresi

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada proses fabrikasi DSSC menggunakan katalis berbasis platina atau emas dan jenis elektrolit lain
2. Pada proses pengujian menggunakan alat IPCE untuk mengetahui nilai konversi foton ke elektron dari DSSC.
3. Pengukuran absorbansi cahaya sebaiknya tidak hanya dilakukan pada molekul *dye*, namun juga dilakukan proses pengukuran pada sampel DSSC.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S. 2007. Biomimicry in Solar Energy Conversion With natural Dye Sensitized Nanocrystalline Photovoltaic Cells, Department of Chemistry and Biochemistry Obelin College, Ohio, 4-6.
- Grätzel, Michael 2003. Dye-Sensitized Solar Cells, journal of Photochemistry and Photobiology, Vol.4.
- Green, Martin.A. 1982. Solar Cells Operating Principles Technology and System Application. Prentice Hall, Inc, Evylewood Cliffs.
- Halme, Janne. 2002. Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : Technical review and Preliminary Test. Master's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology, Helsinki University Of Technology.
- Hikmah. Irmayatul. 2015. Pengaruh Penggunaan Gel-Electrolyte Pada Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis TiO_2 Nanopartikel Dengan Ekstrak Murbei (Morus) Sebagai Dye Sensitizer Pada Substrat Kaca Ito. Jurusan fisika fakultas matematika dan ilmu pengetahuan ITS Surabaya
- Jiangshui, Luo,dkk. 2011. Protic ionic liquid and ionic melts prepared from methanesulfonic acid and 1H-1,2,4-triazole as high temperature PEMFC electrolytes. Journal of Materials Chemistry
- Kook, Lee Jin, Jeong Bo-Hwa, Jang Sung-il, Kim Young-Guen, Jang YongWook, Lee Su-Bin, Kim Mi-Ra. 2009. Preparations of TiO_2 pastes and its application to light-scattering layer for dye-sensitized solar cells.,Journal of Industrial and Engineering Chemistry 15 724-729.
- Kozuka. Hiromitsu, dan Kajimura Masahiro. 2004. single-step dip coating of crack-free TiO_2 films > 1 micrometer Thick : Effect of poly(vinylpyrrolidone) on critical thickness . dept. material science and engineering. kansai university

- Li B, Wang L, Kang B, Wang P & Qiu Y. 2006, Review of Recent Progress in Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 90:549-573.
- Lin CK, Yang TJ, Feng YC, Tsung TT, Su CY: Characterization of electrophoretically deposited nanocrystalline titanium dioxide films. *Surf Coating Tech* 2006, 200:3184–3189.
- Maddu, A., Zyhri, M., Irmasyah. 2010. Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye. *MST* 11.
- Maddu, A., Zyhri, M., Irmasyah. 2012. the Use Of Polymer Gel Electrolyte Containing I⁻/I₃⁻ Redox Couple To Assembly A Solid State Dye Sensitized TiO₂ Solar Cell”, *LIPI Nomor* 536/D.
- Meen T.H. 2014. Optimizatition of dye-sensitized solar cell performance by mechanical compression. Department of Electronic Engineering, National Formosa University, Yunlin 632, Taiwan
- Mershin. Andreas, dkk .2012. Self-assembled photosystem-I biophotovoltaics on nanostructured TiO₂ and ZnO. Center for Bits and Atoms, NE47-383, Massachusetts Institute of Technology
- Nic. M, J. Jirat, B. Kosata. 2006. IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006-) ISBN 0-9678550-9-8
- O’regan, B dan Gratzel, M. 1991. A Low-Cost, High Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ films”, *Nature* Vol. 353. Issue 6346, 737.
- Puspitasari, Nurrisma. 2012. Studi Awal Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Rosela (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Luas Permukaan Lapisan TiO₂.

Jurusan fisika fakultas matematika dan ilmu pengetahuan
ITS Surabaya.

- Septina, W., D. Fajarisandi, dan M. Aditia. 2007. Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell), Laporan Penelitian Bidang Energi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Silviyanti, N.A. 2013. Analisis Perbandingan Efisiensi Pada Pembuatan Prototype Dye Sensitized Solar Cell Berbasis TiO₂, ZnO dan MgO Single Layer dan Double Layer. ITS. Surabaya.
- Smestad, G.P dan Gratzel, M. 1998. Demonstrating Electron and Nanotechnology”, *J. Chem.Educ.*, 75 (6), hal 1-6
- Tsai, JK, dkk. 2013. Effect of compressed TiO₂ nanoparticle thin film thickness on the performance of dye-sensitized solar cells. Department of Electronic Engineering, National Formosa University, Yunlin 632, Taiwan
- Won, J.L, et al. 2008. Electrochemical approach to enhance the open-circuit voltage (V_{oc}) of dye-sensitized solar cells (DSSCs). Konkuk University, Seoul, Republic of Korea.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

A. Data Hasil pengujian XRD partikel TiO ₂	51
B. Data pengukuran rapat arus dan tegangan untuk semua sampel DSSC	54
C. Proses perhitungan karakteristik rapat arus, tegangan, serta efisiensi dari sampel DSSC	58

LAMPIRAN

A. Data Hasil pengujian XRD partikel TiO₂

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

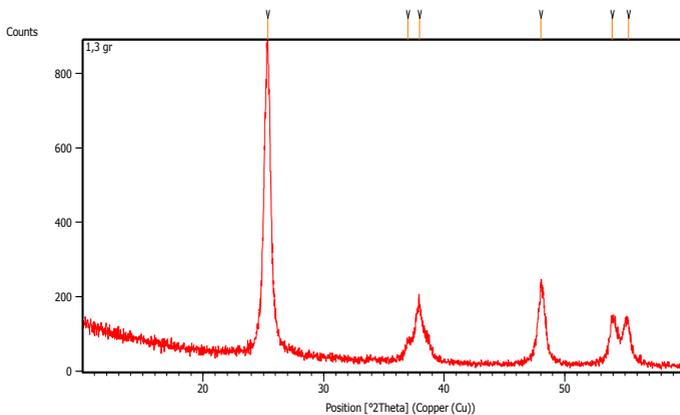
Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	1,3 gr
File name	E:\DATA
PENGUJIAN\Pengujian tahun 2015\Maret\Putri\1,3 gr\1,3 gr.rd	
Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Sp	Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	3/20/2015 10:32:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	59.9884
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000

Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
25.3406	813.82	0.1673	3.51480	100.00
36.9855	50.63	0.2676	2.43057	6.22
37.9437	154.82	0.4684	2.37136	19.02
48.0320	210.12	0.1004	1.89423	25.82
53.9462	120.66	0.4684	1.69970	14.83
55.2884	104.41	0.4684	1.66157	12.83

Pattern List: (Bookmark 4)

Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = 1,3 gr.rd
- Modification time = "3/20/2015 10:47:04 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "3/20/2015 10:47:04 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "3/18/2015 9:24:25 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

B. Data pengukuran rapat arus dan tegangan untuk semua sampel DSSC

Tabel 1 Data karakteristik rapat arus dan tegangan untuk sampel DSSC tanpa proses kompresi

V (Volt)	J (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
0.00	0.10491	0.00000
0.01	0.10343	0.00103
0.02	0.10177	0.00204
0.03	0.10004	0.00300
0.04	0.09861	0.00394
0.05	0.09710	0.00486
0.06	0.09548	0.00573
0.07	0.09402	0.00658
0.08	0.09235	0.00739
0.09	0.09082	0.00817
0.10	0.08924	0.00892
0.11	0.08761	0.00964
0.12	0.08590	0.01031
0.13	0.08406	0.01093
0.14	0.08220	0.01151
0.15	0.08036	0.01205
0.16	0.07844	0.01255
0.17	0.07639	0.01299
0.18	0.07423	0.01336
0.19	0.07205	0.01369
0.20	0.06961	0.01392
0.21	0.06711	0.01409
0.22	0.06435	0.01416
0.23	0.06124	0.01409
0.24	0.05791	0.01390

0.25	0.05436	0.01359
0.26	0.05029	0.01307
0.27	0.04598	0.01241
0.28	0.04107	0.01150
0.29	0.03567	0.01035
0.30	0.02970	0.00891
0.31	0.02302	0.00714
0.32	0.01557	0.00498
0.33	0.00729	0.00240
Daya Maksimum		0.01416

Tabel 2 Data karakteristik rapat arus dan tegangan untuk sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N

V (Volt)	J (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
0.00	0.19207	0.00000
0.01	0.19060	0.00191
0.02	0.18917	0.00378
0.03	0.18782	0.00563
0.04	0.18646	0.00746
0.05	0.18490	0.00924
0.06	0.18333	0.01100
0.07	0.18175	0.01272
0.08	0.18024	0.01442
0.09	0.17858	0.01607
0.10	0.17693	0.01769
0.11	0.17531	0.01928
0.12	0.17357	0.02083
0.13	0.17174	0.02233
0.14	0.16991	0.02379
0.15	0.16781	0.02517

0.16	0.16582	0.02653
0.17	0.16384	0.02785
0.18	0.16148	0.02907
0.19	0.15916	0.03024
0.20	0.15658	0.03132
0.21	0.15374	0.03228
0.22	0.15066	0.03315
0.23	0.14727	0.03387
0.24	0.14355	0.03445
0.25	0.13949	0.03487
0.26	0.13485	0.03506
0.27	0.12977	0.03504
0.28	0.12420	0.03478
0.29	0.11790	0.03419
0.30	0.11091	0.03327
0.31	0.10324	0.03200
0.32	0.09493	0.03038
0.33	0.08569	0.02828
0.34	0.07570	0.02574
0.35	0.06487	0.02270
0.36	0.05324	0.01917
0.37	0.04060	0.01502
0.38	0.02731	0.01038
0.39	0.01318	0.00514
Daya Maksimum		0.03506

Tabel 3 Data karakteristik rapat arus dan tegangan untuk sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N

V (Volt)	J (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
-0.02	0.21891	-0.00436

0.00	0.18522	-0.00091
0.01	0.19232	0.00192
0.03	0.21427	0.00537
0.04	0.19575	0.00785
0.06	0.17941	0.00987
0.07	0.18441	0.01292
0.09	0.20170	0.01715
0.10	0.19568	0.01957
0.12	0.16743	0.01926
0.13	0.18061	0.02348
0.15	0.19210	0.02786
0.16	0.17695	0.02832
0.18	0.15490	0.02712
0.19	0.16622	0.03159
0.21	0.17448	0.03578
0.22	0.15612	0.03436
0.24	0.13650	0.03209
0.25	0.13406	0.03353
0.27	0.13747	0.03644
0.28	0.12449	0.03487
0.30	0.09096	0.02685
0.31	0.08223	0.02550
0.33	0.06111	0.01986
0.34	0.04377	0.01489
0.36	0.03061	0.01087
0.37	0.00854	0.00316
0.39	-0.02445	-0.00942
Daya Maksimum		0.03644

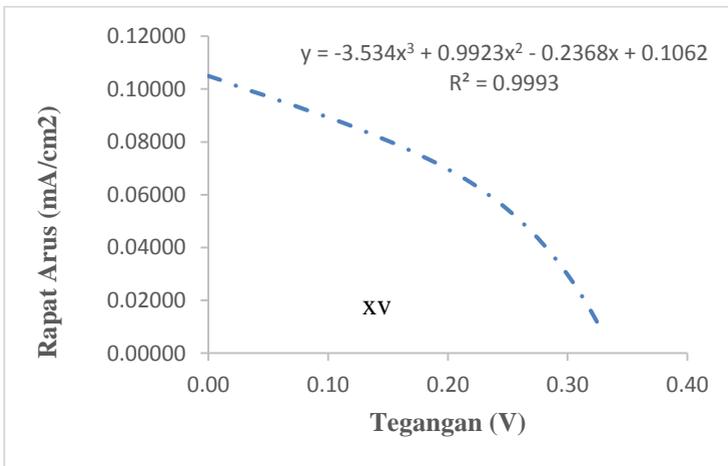
C. Proses perhitungan karakteristik rapat arus, tegangan, serta efisiensi dari sampel DSSC

Berdasarkan data karakteristik rapat arus dan tegangan sampel DSSC tanpa proses kompresi yang disajikan pada tabel 1 diatas, dapat diketahui bahwa rapat daya maksimum sebesar 0.01416 mW/cm^2 terjadi pada tegangan dan rapat arus masing-masing yaitu 0.22 V dan 0.06435 mA/cm^2 . Nilai tegangan dan rapat arus tersebut merupakan nilai tegangan dan rapat arus maksimum atau dapat dituliskan

$$V_m = 0.22 \text{ V}$$

$$J_m = 0.06435 \text{ mA/cm}^2$$

Dari data karakteristik rapat arus dan tegangan dari tabel diatas dapat dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara rapat arus dan tegangan dari sampel DSSC. Grafik ditampilkan pada gambar 1 berikut



Gambar 1 Grafik hubungan antara rapat arus dan tegangan dari sampel DSSC tanpa proses kompresi

Pada grafik yang ditampilkan pada gambar 1 diatas diketahui bahwa untuk persamaan garis pada plot grafik memiliki

persamaan $y = -3.53x^3 + 0.99x^2 - 0.24x + 0.10$. Dari persamaan garis plot tersebut dapat diketahui nilai dari tegangan short circuit (V_{oc}) dan rapat arus (J_{sc}), nilai V_{oc} merupakan nilai tegangan saat rapat arus bernilai nol, atau titik pada grafik saat nilai sumbu ordinat (y) nol. Sedangkan nilai J_{sc} merupakan nilai rapat arus saat tegangan bernilai nol, atau titik pada grafik saat nilai sumbu absis (x) nol. Nilai V_{oc} dan J_{sc} yang didapatkan yaitu:

$$V_{oc} = 0.33 \text{ V}$$

$$J_{sc} = 0.1 \text{ mA/cm}^2$$

Dari nilai V_m , J_m , V_{oc} , dan J_{sc} dapat diketahui nilai *fill factor* serta efisiensi dari DSSC. Nilai *fill factor* didapatkan dari persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Fill factor (FF)} &= \frac{V_m \times J_m}{V_{oc} \times J_{sc}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.22 \times 0.06435}{0.33 \times 0.1} \times 100 \% \\ &= 40 \% \end{aligned}$$

Sedangkan nilai efisiensi didapatkan dari persamaan berikut:

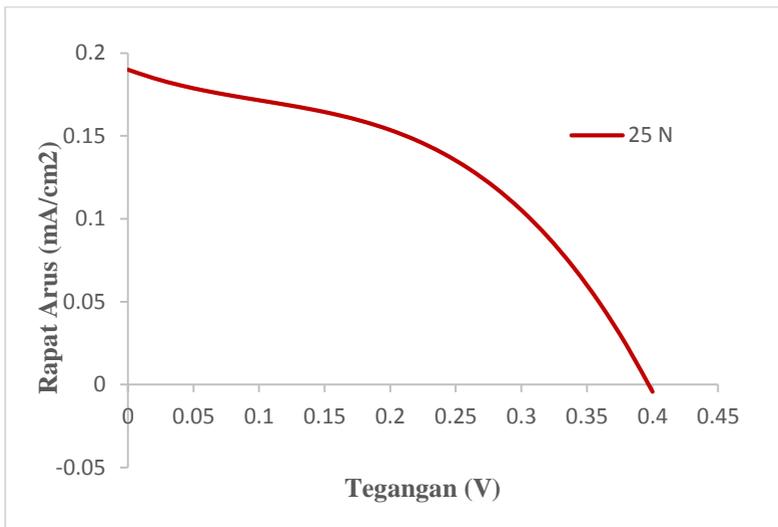
$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= V_{oc} \times J_{sc} \times \text{FF} \\ &= 0.33 \times 0.1 \times 40 \% \\ &= 0.0132 \% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama didapatkan karakteristik tegangan dan rapat arus untuk semua sampel DSSC yang ditampilkan pada tabel 4 berikut

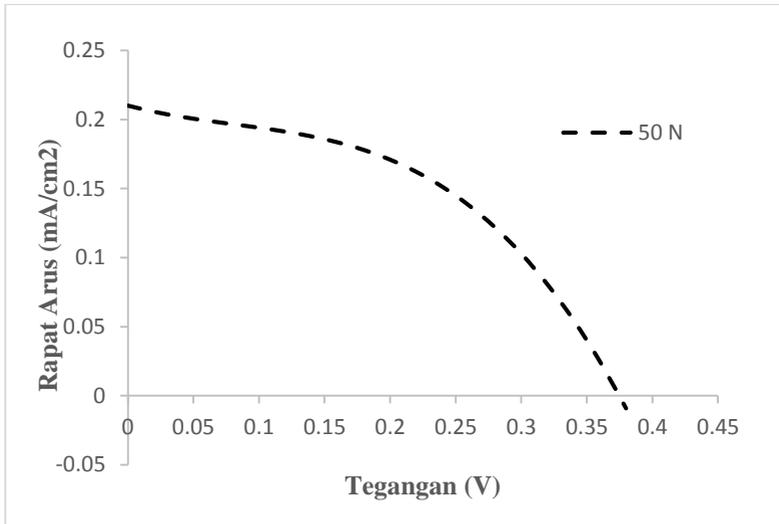
Tabel 4. Data karakteristik tegangan dan rapat arus untuk semua sampel DSSC

Beban (N)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	F.F (%)	η (%)
0	0.33	0.13	40.000	0.013
25	0.4	0.19	44.47	0.032
50	0.37	0.21	51.081	0.037

Sedangkan grafik yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan rapat arus untuk semua sampel DSSC dengan proses kompresi ditampilkan pada gambar 2 dan gambar 3 berikut



Gambar 2 Grafik hubungan antara tegangan dan rapat arus pada sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N



Gambar 3 Grafik hubungan antara tegangan dan rapat arus pada sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N

Dari nilai efisiensi dari semua sampel DSSC yang dihasilkan dapat dihitung nilai perbandingan peningkatan nilai efisiensi antara sampel DSSC tanpa proses kompresi dengan sampel DSSC dengan proses kompresi. Perbandingan peningkatan nilai efisiensi sampel DSSC didapat dari persamaan berikut:

$$\text{Peningkatan efisiensi} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \times 100 \%$$

Dengan

η = nilai efisiensi sampel DSSC dengan beban kompresi

η_0 = nilai efisiensi sampel DSSC tanpa beban kompresi

Contoh perhitungan peningkatan nilai efisiensi untuk sampel DSSC dengan beban kompresi 25 N

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan efisiensi} &= \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \times 100 \% \\ &= \frac{0.032 - 0.013}{0.013} \times 100 \% \\ &= 147,57 \% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama didapat nilai peningkatan efisiensi untuk sampel DSSC dengan beban kompresi 50 N. Data nilai peningkatan efisiensi untuk semua sampel disajikan dalam tabel 4 berikut.

6

Tabel 5. Data perbandingan peningkatan nilai efisiensi antara sampel DSSC dengan dan tanpa dilakukan proses kompresi

Beban (N)	η (%)	Peningkatan efisiensi (%)
0	0.013	0
25	0.032	147,57
50	0.037	186,36

BIODATA PENULIS



Fajar Timur dilahirkan di Surabaya, 4 Desember 1993. Anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Slamet Budiono dan Diana Wahyuningsih. Memulai pendidikan formal di SDN Babat VI Babat, Lamongan (1999-2005), kemudian melanjutkan pendidikan di MTsN Model 1 Babat, Lamongan (2005-2008), dan SMAM 1 Babat, Lamongan (2008-2011). Penulis melanjutkan pendidikan S1 di jurusan fisika FMIPA ITS pada tahun 2011. Penulis dapat dihubungi di fajar.rumit@gmail.com dan <https://www.facebook.com/timur.fajar>