

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim.

Alhamdulillah segala puji hanya bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan alam semesta. Dialah Allah, Tuhan Yang Maha Esa, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Hanya kepada Dialah tempat kami memohon dan tempat kami berlindung. Shalawat serta salam selalu kami curahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wa Salam, karena beliau adalah sebaik-baik suri tauladan bagi setiap yang mengharapkan Ridha, Rahmat dan Hidayah dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- M. Aziz Muslim, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ir. Nurussa'adah, MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc. dan Eka Maulana, ST.,MT.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2 atas segala bimbingan, ide, nasihat, arahan, motivasi, serta saran yang telah diberikan.
- Seluruh dosen TEUB dan Staff yang selama ini telah memberikan ilmu yang sangat berharga kepada penulis.
- Bapak Karyawan Sembiring dan Ibu Risdah Rambe karena sudah bersabar dan mendukung penuh anaknya dalam mencari ilmu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Malang, Januari 2015

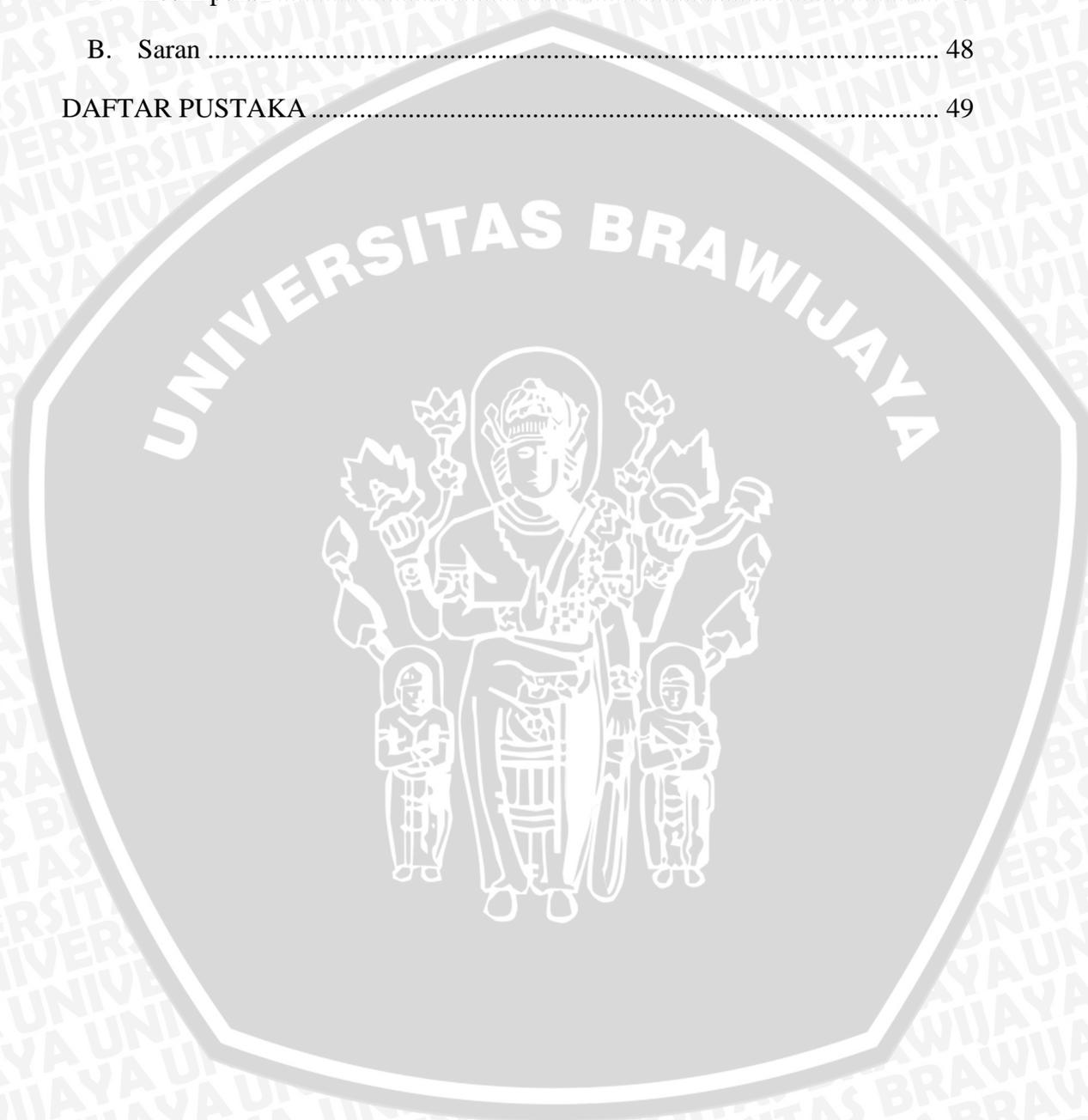
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 RUANG LINGKUP.....	3
1.4 TUJUAN.....	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	5
2.2 Perfomansi Sel Surya.....	7
2.3 Prinsip Kerja DSSC.....	8
2.4 Material DSSC.....	9
2.5 Fabrikasi DSSC.....	14
2.6 Metode Deposisi.....	15
2.7 <i>Spectrophotometer UV-Visible</i>	16
2.8 <i>Magnetic Stirrer dan Magnetic Stir Bar</i>	17
2.9 Pelarut.....	18
2.10 <i>Scale</i>	18
2.11 <i>Scanning Electron Microscope</i>	19

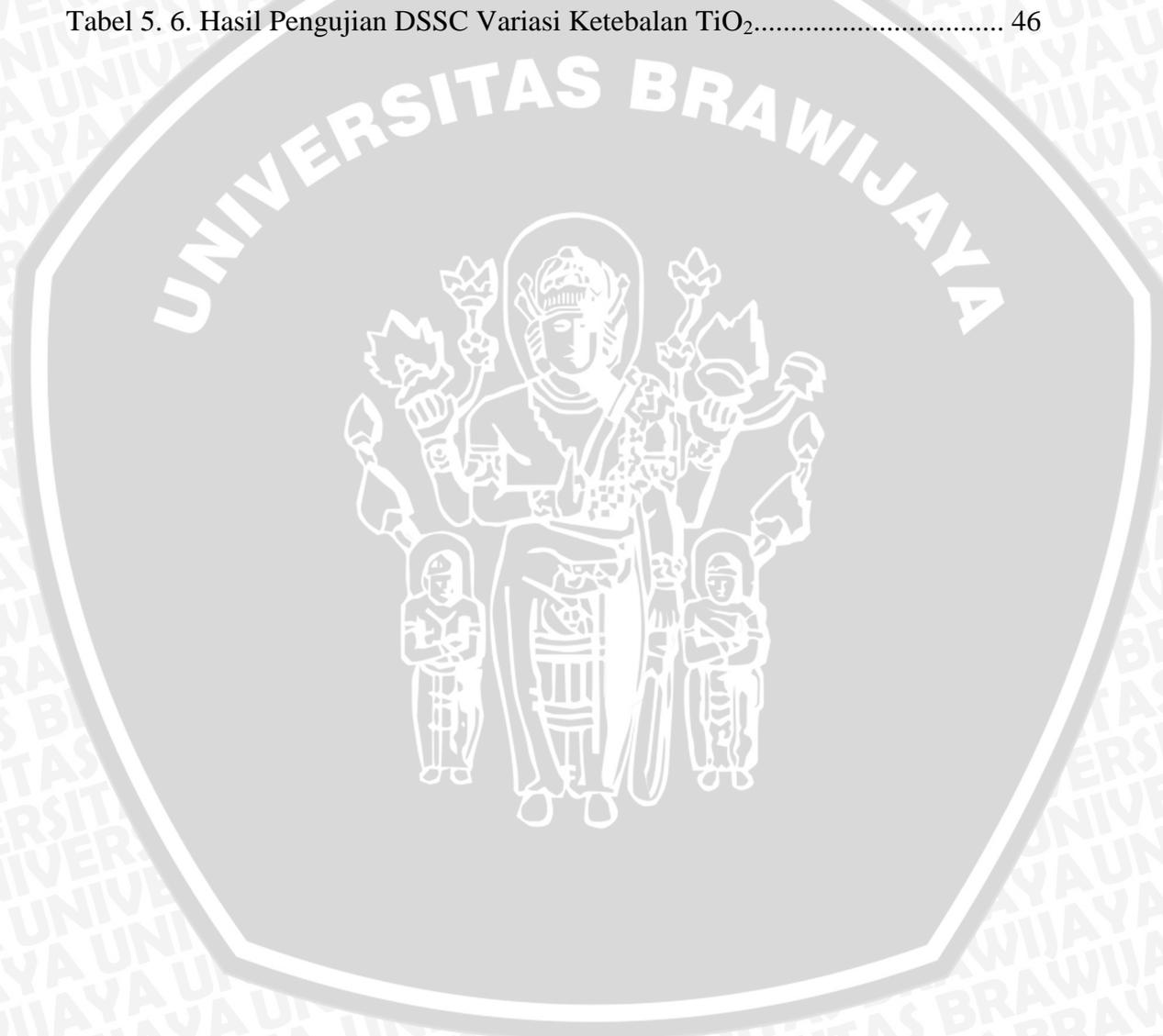
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Perancangan DSSC	20
3.2 Metode Deposisi.....	22
3.3 Perlakuan Sampel dan Variabel <i>Input</i>	22
3.4 Variabel <i>Output</i> dan Pengukuran	23
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN	25
4.1 Perancangan DSSC	25
4.2 Persiapan Alat dan Bahan	25
4.3 Persiapan Material.....	26
4.3.1 Persiapan Kaca TCO	26
4.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit	27
4.3.3 Pembuatan Larutan <i>Dye</i>	27
4.3.4 Pembuatan Pasta TiO ₂	29
4.4 Pelapisan Pasta TiO ₂ pada Kaca TCO.....	29
4.5 Proses <i>Firing</i> Pasta TiO ₂	30
4.6 Perendaman TiO ₂ Dalam Larutan Klorofil (<i>Dye</i>).....	31
4.7 Pembuatan <i>Counter-Electrode</i> Karbon	31
4.8 Pemberian Elektrolit.....	32
4.9 Perakitan DSSC.....	32
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	33
5.1 Pengujian Absorpsi Klorofil (<i>Dye</i>).....	33
5.2 Pengukuran Ketebalan TiO ₂	34
5.3 Pengujian Tegangan terhadap Intensitas Cahaya	36
5.4 Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya	37
5.5 Pengujian Sel Variasi Ketebalan TiO ₂	38
A. Hasil Pengujian Ketebalan 137 μm.....	39

B. Hasil Pengujian Ketebalan 284 μm	42
C. Hasil Pengujian Ketebalan 292 μm	44
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49



DAFTAR TABEL

Tabel 5. 1. Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya.....	36
Tabel 5. 2. Hasil Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya	37
Tabel 5. 3. Hasil Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} DSSC Ketebalan 137 μm	40
Tabel 5. 4. Hasil Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} DSSC Ketebalan 284 μm	42
Tabel 5. 5. Hasil Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} DSSC Ketebalan 284 μm	45
Tabel 5. 6. Hasil Pengujian DSSC Variasi Ketebalan TiO_2	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur Standar DSSC	5
Gambar 2. 2. Prinsip Kerja Dan Level Energi DSSC	6
Gambar 2. 3. Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya	7
Gambar 2. 4. Skema Kerja <i>DSSC</i>	9
Gambar 2.5. Kaca TCO Indium Tin Oxide	10
Gambar 2. 6. Titanium (IV) Oxide	12
Gambar 2. 7. Struktur Kimia (a) Klorofil a dan (b) Klorofil b	13
Gambar 2. 8. Skema dari Dua Struktur Umum sel DSSC (atas) dan modul (bawah) (a) Struktur <i>Sandwich</i> , (b) Struktur <i>Monolithic</i>	15
Gambar 2. 9. Variasi Metode Deposisi	15
Gambar 2. 10. <i>Spectrophotometer</i> UV-1601	17
Gambar 2. 11. <i>Magnetic Stirrer</i> (Kiri) dan <i>Magnetic Stir Bar</i> (Kanan)	18
Gambar 2. 12. <i>Digital Scale</i> OHAUS CL Series	19
Gambar 2. 13. <i>Scanning Electron Microscope</i>	19
Gambar 3. 1. Diagram Alir Metode Perancangan DSSC.....	21
Gambar 3. 2. Metode Doctor Blade	22
Gambar 3. 3. Rangkaian Pengukuran Voc (kiri) dan Rangkaian Pengukuran Isc (kanan).....	24
Gambar 4. 1 Struktur Berlapis DSSC	25
Gambar 4. 2. Kaca TCO yang Siap Digunakan dengan Dimensi 2 x 2 cm ²	27
Gambar 4. 3. (a) Daun Jarak yang Telah Dihaluskan (b) Proses Homogenisasi Klorofil Dengan Pelarut (c) Proses Penyaringan <i>Dye</i>	28
Gambar 4. 4. Area Pada Kaca TCO yang Telah Dibuat	29
Gambar 4. 5. Pasta TiO ₂ Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Dideposisi pada Kaca	30
Gambar 4. 6 Pasta TiO ₂ Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Melalui Proses <i>Firing</i>	30
Gambar 4. 7. Proses Perendaman Lapisan TiO ₂ dalam Larutan <i>Dye</i>	31

Gambar 4. 8. Proses Pembuatan <i>Counter-Electrode</i> (kiri) dan <i>counter-electrode</i> yang Telah Jadi (kanan)	31
Gambar 4. 9. Lapisan Fotoelektroda dan <i>Counter-Electrode</i> yang Telah Siap Dirangkai.....	32
Gambar 4. 10. Hasil Perakitan DSSC	32
Gambar 5. 1 Grafik Absorpsi Klorofil.....	33
Gambar 5. 2. Gambar Bentuk Tampak Atas TiO ₂ dengan Perbesaran 4000 Kali.....	34
Gambar 5. 3. Gambar Ketebalan 1 Lapis Masker TiO ₂ dengan Perbesaran 250 Kali.....	35
Gambar 5. 4. Gambar ketebalan 2 lapis masker TiO ₂ dengan perbesaran 250 kali.....	35
Gambar 5. 5. Gambar ketebalan 3 lapis masker TiO ₂ dengan perbesaran 250 kali.....	36
Gambar 5. 6. Grafik perbandingan Tegangan terhadap Intensitas Cahaya.....	37
Gambar 5. 7. Grafik perbandingan Arus terhadap Intensitas Cahaya.....	38
Gambar 5. 8. Rangkaian Pengukuran Voc (kiri) dan Rangkaian Pengukuran Isc (kanan).....	39
Gambar 5. 9. Grafik Karakteristik I-V Pada Ketebalan 137µm	41
Gambar 5. 10. Grafik Karakteristik I-V Pada Ketebalan 284 µm	43
Gambar 5. 11. Grafik Karakteristik I-V pada Ketebalan 292 µm.....	46

ABSTRAK

M. Aulia Rahman S., Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, Pengaruh Variasi Ketebalan Titanium Dioksida (TiO_2) Terhadap Daya Keluaran *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.Sc. dan Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.

Pada penelitian ini fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dilakukan dengan metode deposisi *doctor blading* untuk pelapisan TiO_2 ke substrat. Penelitian dititik beratkan pada pengaruh dari ketebalan TiO_2 yang bervariasi. Perbedaan ketebalan didapat dari jumlah lapisan masker yaitu: 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapisan masker. Substrat yang digunakan merupakan jenis Indium Tin Oxide (ITO) yang memiliki resistifitas permukaan sebesar 15-25 ohm/sq digunakan sebagai tempat mengalirnya muatan. TiO_2 sebagai jalur loncatan *electron* dan pengikat molekul *dye*, *dye* untuk meyerap foton yang akan membantu menghasilkan listrik. pasangan redoks iodide/triiodide sebagai elektrolit, dan karbon sebagai elektroda lawan pada DSSC. TiO_2 , *dye* organik, elektrolit, dan elektroda lawan disusun dan dikombinasi dengan struktur berlapis sebagai lapisan donor-aseptor. Pengujian sel pada ketebalan 292 mikrometer dengan menggunakan lampu LED 7 watt menghasilkan V_{oc} 321 Mv, I_{sc} 13.8 uA, dan daya maksimal mencapai $4429.8 \times 10^{-9} \text{W}$.

Kata kunci: DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*), Ketebalan lapisan TiO_2 , *Doctor Blade*, Daya Keluaran.

ABSTRACT

M. Aulia Rahman S., Electrical Engineering Faculty Brawijaya University, January 2015, The Effect of Thickness Variation Titanium Dioxide (TiO₂) Against Output Power Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). Adviser lecturer: Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.Sc. and Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.

In this study, the fabrication of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is fabricated by doctor blading deposition method for TiO₂ coating to the substrate. This research is focused on the effect of varying the thickness of TiO₂ layer. The differences in thickness are obtained from the number of mask layers: 1 layer, 2-layer and 3-layer mask. Indium Tin Oxide (ITO) which surface resistivity of 15-25 ohms / sq is used as substrate. The role TiO₂ is stepping paths of electrons and binding dye molecules thus dye to absorb photons that will help generate electricity. Redox couple iodide / triiodide as the electrolyte, and carbon as the counter electrode in the DSSC. TiO₂, organic dye, electrolyte, and a counter electrode are arranged and combined with the layered structure of the donor-acceptor layer. The thickness of TiO₂ layer were measured by *Scanning Electron Microscope* (SEM). The test cell at a thickness of 292 micrometers using a 7 watt LED lamp with 50.000 lux produces 321 mV Voc, Isc 13.8 uA, and the maximum power reached $4429.8 \times 10^{-9}W$.

Keyword: DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell), TiO₂ layer Thickness, Doctor Blade, Power Output.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi di dunia, khususnya di Indonesia kian waktu kian meningkat. Menurut kajian Indonesia Energy Outlook, kebutuhan energi primer kembali meningkat sebesar 5% pada tahun 2010 dan memberikan dampak peningkatan emisi CO₂ menjadi lebih tinggi. Subsidi energi fosil meloncat lebih dari USD 400 juta seiring dengan peningkatan harga minyak dunia dan kecenderungan perilaku konsumsi yang tidak efisien (Kementerian ESDM, 2010: 20). Energi fosil yang selama ini merupakan salah satu sumber energi utama, ketersediaannya sangat terbatas dan terus menipis. Menurut Blueprint Pengelolaan Energi nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004, diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun.

Pemanfaatan energi yang dihasilkan matahari merupakan alternatif penggunaan energi yang tepat karena ketersediaannya yang akan terus tersedia sepanjang waktu. Kondisi Topografi dan geografis di Indonesia sangat mendukung dalam upaya pemanfaatan energi matahari sebagai penghasil energi listrik. Kondisi geografis Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia dapat menerima panas matahari yang lebih banyak daripada negara lain, yaitu 4800 watt/m²/hari (Manan, 2009 : 1). Selain itu penggunaannya juga tidak berdampak pada peningkatan emisi CO₂, berbeda halnya dengan penggunaan minyak bumi dan batu bara. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya tidak mempunyai hasil samping berupa gas-gas berbahaya dan sampah-sampah nuklir (Cahen, 2004 : 2). Sel surya merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengubah energi yang dihasilkan matahari menjadi energi listrik.

Kendala yang ada saat ini dalam pemanfaatan tenaga matahari yaitu biaya investasi yang dibutuhkan relatif mahal. Hal itu dikarenakan sel surya

konvensional yang banyak digunakan saat ini berbasis teknologi silikon, yang merupakan hasil dari pengembangan teknologi semikonduktor elektronik. Selain itu, penggunaan sel surya silikon memiliki dampak yang relatif berbahaya dalam proses fabrikasinya karena menggunakan bahan kimia. Pengganti dari penggunaan bahan kimia ini yaitu penggunaan bahan organik yang relatif lebih aman. Seiring dengan perkembangan nanoteknologi, sel surya berbahan organik berhasil ditemukan yaitu *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) oleh Professor Michael Grätzel pada tahun 1991.

DSSC memiliki potensi sebagai sel surya yang memiliki tingkat keamanan yang relatif lebih aman dalam proses fabrikasinya dan relatif lebih murah juga. Hal ini karena DSSC tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah. Pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah, absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang memiliki nanopori. *Dye* pada DSSC berperan sebagai penangkap cahaya (foton) yang kemudian terjadi proses eksitasi elektron pada molekul *dye* tersebut sehingga menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, kemampuan *dye* untuk menyerap foton menjadi karakteristik yang sangat penting pada DSSC karena tingkat absorpsi klorofil sangat berpengaruh pada panjang gelombang yang dapat diserap yang kemudian berpengaruh pada keluaran yang dihasilkan. Tingkat absorpsi klorofil sangat dipengaruhi oleh konsentrasi klorofil itu sendiri. *Dye* yang dibutuhkan bisa didapatkan dengan memanfaatkan pigmen tumbuhan, yaitu pigmen klorofil, carotenoids, betalains, dan flavonoids. Daun yang digunakan pada penelitian ini untuk mendapatkan zat klorofil yaitu daun jarak.

Peningkatan efisiensi DSSC terus dikembangkan dan hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan sekitar 11 % (Grätzel, 2003; 145). Parameter penting yang memengaruhi performansi DSSC seperti ketebalan ukuran partikel TiO_2 . Namun masih sedikit studi yang mempelajari pengaruh ketebalan lapisan TiO_2 (Yum, 2005; 173).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan TiO_2 terhadap daya keluaran DSSC.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan TiO₂ terhadap daya keluaran DSSC, maka rumusan masalah yang dapat dibuat adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pembuatan DSSC dengan bahan material zat klorofil daun jarak?
2. Berapa ketebalan yang menghasilkan daya keluaran paling besar?
3. Bagaimana pengaruh ketebalan terhadap daya keluaran DSSC?

1.3 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup pada penelitian ini antara lain :

- Deposisi dilakukan dengan menggunakan metode *doctor blading*.
- Klorofil yang digunakan adalah klorofil dari daun jarak.
- Pembuatan pasta TiO₂ dilakukan dengan cara yang sama.
- Ketebalan pasta TiO₂ yaitu 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis lapisan masker.
- Penetasan pasta TiO₂ pada substrat dilakukan dengan jumlah yang sama.
- Pengukuran pasta TiO₂ dilakukan setelah *firing*.
- Jenis karbon dibuat dengan ketebalan yang sama dengan cara menunjukkan waktu penempelan karbon.
- Lama waktu perendaman dalam klorofil dibuat dalam waktu yang sama (30 menit).
- Zat elektrolit dibuat sama baik konsentrasi maupun jumlah volum yang diteteskan pada TiO₂ yang sudah direndam klorofil.
- Untuk pengukuran *input* berupa cahaya lampu merkuri dan LED.

1.4 TUJUAN

Tujuan penelitian ini adalah melakukan karakterisasi pengaruh ketebalan TiO₂ terhadap performansi solar sel berbasis *dye sensitized* berbahan material klorofil daun jarak.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam skripsi penelitian ini adalah BAB I berisi pendahuluan. Pendahuluan membahas tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian dan sistematika penulisan. BAB II berisi dasar Teori. Dasar teori membahas tentang teori-teori yang mendukung dan dapat digunakan untuk membantu penyelesaian penelitian. BAB III berisi metode penelitian. Metode penelitian membahas tentang perancangan alat, variabel, perlakuan uji alat, *set up* pengukuran dan analisis data. BAB IV berisi perancangan dan pembuatan alat. Perancangan dan pembuatan alat membahas tentang proses perancangan dan pembuatan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, dan realisasi alat. BAB V berisi pengujian dan analisis alat. Pengujian dan analisis alat membahas tentang cara dan hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan. BAB VI berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran berisi tentang kesimpulan berdasarkan hasil yang sudah diperoleh dari tujuan, perancangan, dan pengujian. Selain itu terdapat juga saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan dari penelitian ini.



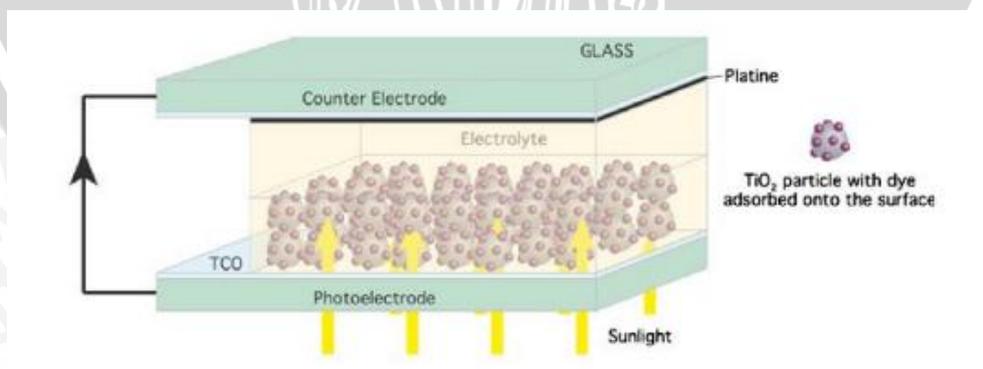
BAB II

DASAR TEORI

2.1 *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*

Sejak dilaporkannya sel surya berbasis *dye* tersensitasi (*Dye sensitized solar cell, DSSC*) pada tahun 1991 oleh O'Regan and Gratzel, DSSC telah menjadi penelitian sel surya yang sangat menarik para peneliti dan ilmuwan di dunia bahkan di Indonesia karena teknologi fabrikasi yang sederhana, biaya produksi yang murah dan ramah lingkungan, efisiensi konversi energi sebesar 10→11% telah dicapai.

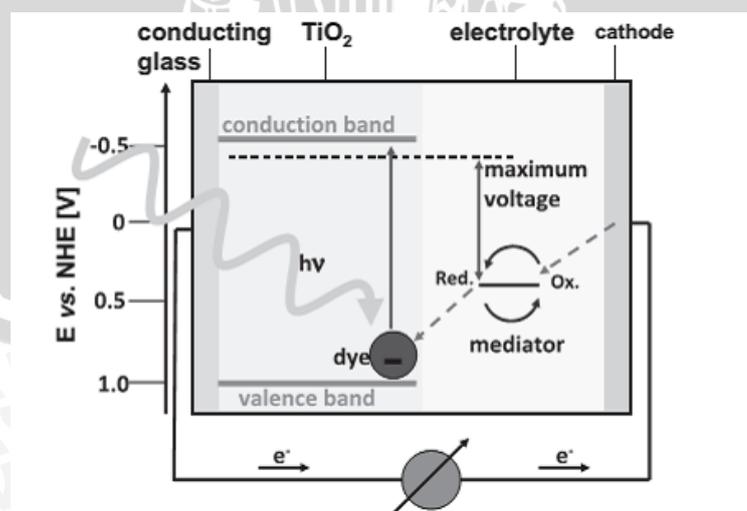
Secara umum DSSC dibentuk melalui mekanisme *photoelectrochemical*, di mana penyerapan cahaya matahari melalui pewarna tersensitasi (*dye-sensitized*) seperti halnya klorofil pada proses fotosintesis daun. Proses pembangkitan dan transfer elektron terjadi melalui bahan semikonduktor yang memiliki pita energi yang lebar, umumnya TiO_2 sebagai fotoelektroda. Larutan elektrolit pasangan redoks I^-/I_3^- sebagai media transpor muatan dan elektroda lawan (*counter electrode*) yang diberi lapisan katalis (biasanya platina). Struktur standar DSSC menggunakan dua kaca TCO sebagai substrat tempat pembentukan *photoelectrode* dan *counter electrode* dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Struktur Standar DSSC

Sumber: Nazeeruddin et al., 2011 : 1173

Prinsip kerja dari DSSC sendiri disajikan dalam Gambar 2, material semikonduktor ini ditempatkan pada plat transparan berkonduktifitas membentuk lapisan tipis. Kemudian lapisan monolayer *dye* ditempatkan pada permukaan lapisan nanokristalin semikonduktor. Fotoeksitasi yang dialami oleh *dye* menghasilkan elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi *dye* yang kemudian masuk ke pita konduksi dari logam oksida, injeksi elaktron ini melalui hubungan antara titanium dengan gugus karboksil pada zat warna. Proses ini menghasilkan *dye* yang bermuatan positif dan partikel TiO_2 yang bermuatan negatif. Elektron tersebut selanjutnya keluar melalui sirkuit eksternal menuju *counter electrode*), aliran elektron ini dimanfaatkan sebagai energi listrik. Kekosongan elektron pada pita valensi *dye* digantikan oleh elektron yang berasal dari elektrolit, elektrolit yang digunakan pada DSSC biasanya adalah pelarut organik yang mengandung sistem redoks, contohnya adalah pasangan iodida-triiodida. Regenerasi sensitiser oleh iodida terjadi dengan proses pendonoran elektron pada pita valensi dari *dye* yang teroksidasi. Iodida diregenerasi kembali dengan reduksi triiodida pada *counter electrode*, dengan memanfaatkan elektron yang berasal dari eksternal sirkuit, proses ini berlangsung terus-menerus sebagai suatu siklus sehingga dihasilkan arus yang kontinyu.

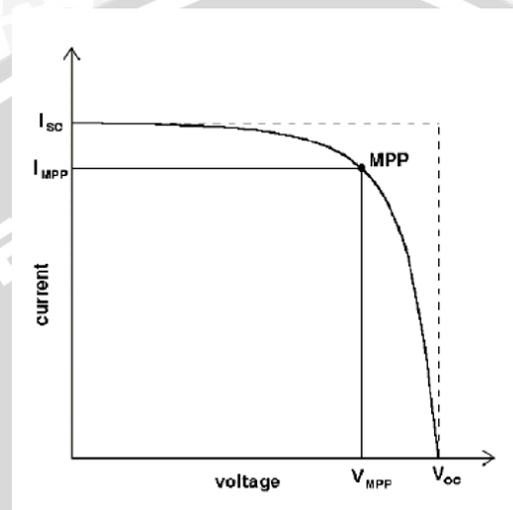


Gambar 2. 2. Prinsip Kerja Dan Level Energi DSSC

Sumber: Nazeeruddin et al., 2011: 1173

2.2 Perfomansi 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. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus tegangan (I-V) dalam Gambar .



Gambar 2. 3. Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya

Sumber : Wilman et al.. 2007 : 8

Ketika sel dalam kondisi *short-circuit*, arus maksimum atau 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}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut *maximum power point* atau titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan 2.1

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.1)$$

Dimana:

V_{MPP} = Tegangan titik daya maksimum

I_{MPP} = Arus titik daya maksimum

Dengan menggunakan persamaan 2.1 selanjutnya nilai daya maksimum dari DSSC didapat dari persamaan,

$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2.2)$$

(Wilman et al., 2007 : 9)

2.3 Prinsip Kerja DSSC

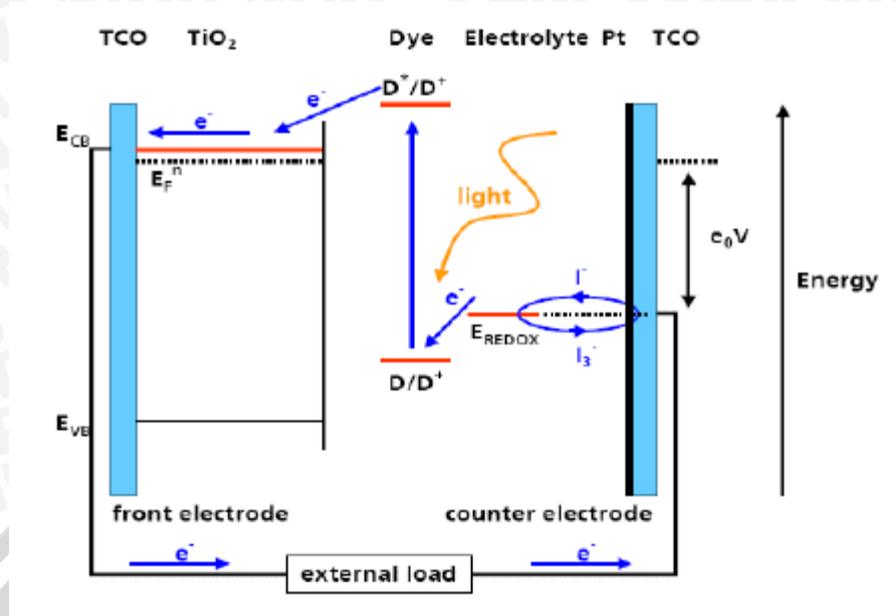
Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^{*}).



Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D⁺). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi (Sastrawan, 2006 : 12).



Skema prinsip kerja dari DSSC ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Skema Kerja DSSC

Sumber : Sastrawan, 2006: 12

Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter-electrode* melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada *counter-electrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodide (I^-).



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transpor elektron. Dengan siklus ini, terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (Wilman et al., 2007 : 14)

2.4 Material DSSC

Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) tersusun dari berbagai macam material penyusun, yaitu:

A. Substrat

Substrat adalah badan dari sel surya dan sebagai media mengalirnya muatan. Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu TCO

(*Transparent Conductive Oxide*). TCO merupakan sebuah kaca transparan yang memiliki lapisan konduktif yang berfungsi sebagai mengalirkan muatan pada DSSC.

Material yang umumnya digunakan yaitu *flourine-doped tin oxide* ($\text{SnO}_2:\text{F}$ atau FTO) dan *indium tin oxide* ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ atau ITO) hal ini karena dalam proses pelapisan material TiO_2 kepada substrat, diperlukan proses *firing* pada temperatur 400-500 °C dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami defect pada range temperatur tersebut (Wilman et al., 2007 : 14).



Gambar 2.5. Kaca TCO Indium Tin Oxide

Dalam penelitian ini digunakan *ITO* (*Indium Tin Oxide*) dari Sigma-Aldrich yang memiliki resistivitas permukaan sebesar 15-25 Ω/sq .

B. Nanopartikel TiO_2 (*Titanium(IV) oxide*)

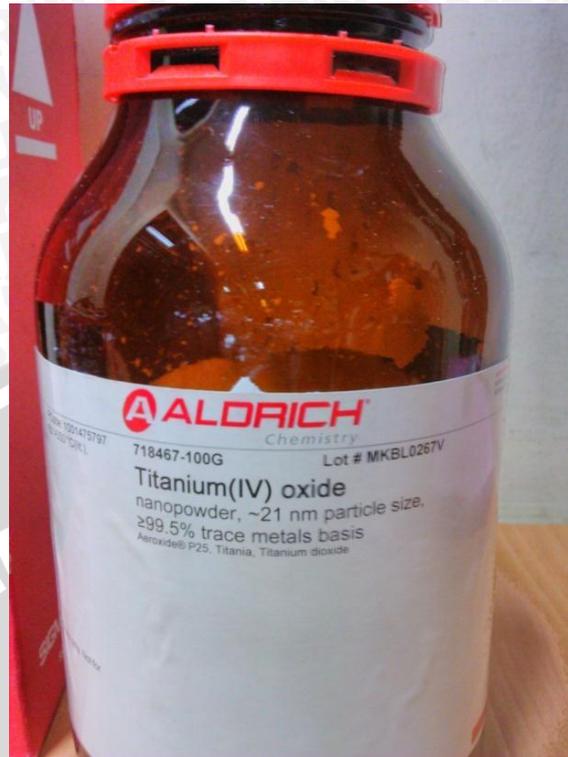
Dalam *DSSC* dibutuhkan semikonduktor yang memiliki lebar pita energi yang besar ($>3\text{eV}$) untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Maka dalam penelitian ini

digunakan jenis semikonduktor TiO_2 (*Titanium (IV) Oxide*), jenis ini yang paling sering digunakan karena efisiensi DSSC menggunakan TiO_2 masih belum tertandingi. Jenis semikonduktor lain yang dapat digunakan yaitu ZnO (Uthirakumar, 2011 : 437-439).

Di alam umumnya TiO_2 mempunyai tiga fasa yaitu rutile, anatase, dan brookite seperti ditunjukkan struktur kristalnya. Fasa rutile dari TiO_2 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 TiO_2 rutile 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 rutile diatas 35 nm (Zhang, Banfield, 2000 : 3481).

Untuk aplikasinya pada DSSC, TiO_2 yang digunakan umumnya berfasa anatase karena kemampuan fotoaktifnya tinggi. Selain itu, TiO_2 dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang terabsorb yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorb. Ketebalan lapisan TiO_2 berpengaruh terhadap banyaknya *dye* yang dapat teradsorpsi. Semakin bertambahnya partikel TiO_2 semakin banyak *dye* yang terikat pada partikel TiO_2 (Nuryadi et al, 2012 : 4).

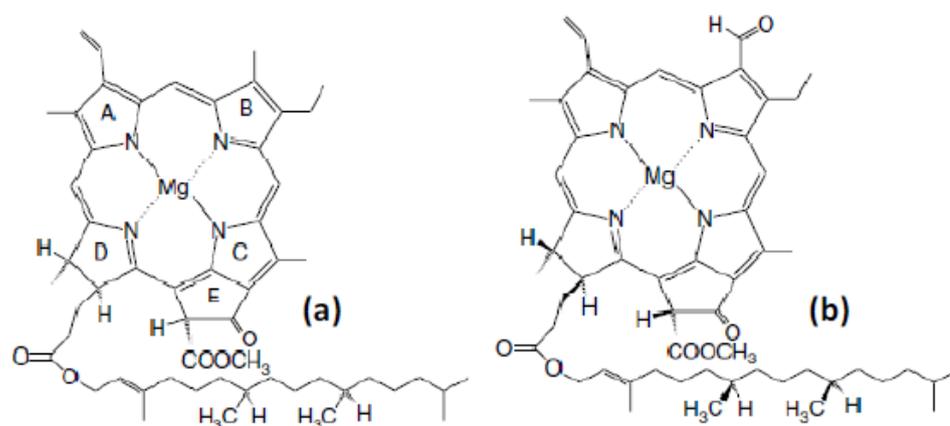
Pada penelitian ini digunakan TiO_2 dari Sigma-Aldrich dengan ukuran partikel sebesar ~21nm.



Gambar 2. 6. Titanium (IV) Oxide

C. Dye

Dye dalam *DSSC* berfungsi sebagai penyerap foton dalam cahaya matahari dan kemudian mengubah menjadi energi. *Dye* yang umum digunakan adalah jenis *Ruthenium (Ru) Complex*, karena *dye* jenis itu jika diaplikasikan terhadap *DSSC* akan menghasilkan nilai efisiensi yang tinggi sebesar 10% (Wilman et al., 2007). Namun *dye* jenis *Ruthenium (Ru) Complex* komersil berharga sangat mahal. *Dye* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan klorofil yang terdapat pada daun jarak pagar karena jenis daun tersebut memiliki kandungan klorofil yang cukup besar. *Dye* didapat dengan cara mengekstrak klorofil dari daun dengan cara ditumbuk kemudian direndam dalam larutan pelarut yaitu lautan ethanol.



Gambar 2. 7. Struktur Kimia (a) Klorofil a dan (b) Klorofil b

Sumber :Sholeh et al. 2013: 14

D. Elektrolit

Elektrolit dalam *DSSC* berperan sebagai transpor muatan dari counter-elektroda ke *dye*. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit terdiri dari iodine (I⁻) dan triiodide (I₃⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit *DSSC* yaitu:

1. Potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
2. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
3. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
4. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
5. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
6. Mempunyai reversibilitas tinggi.
7. Inert terhadap komponen lain pada *DSSC*.

E. Counter-Electrode

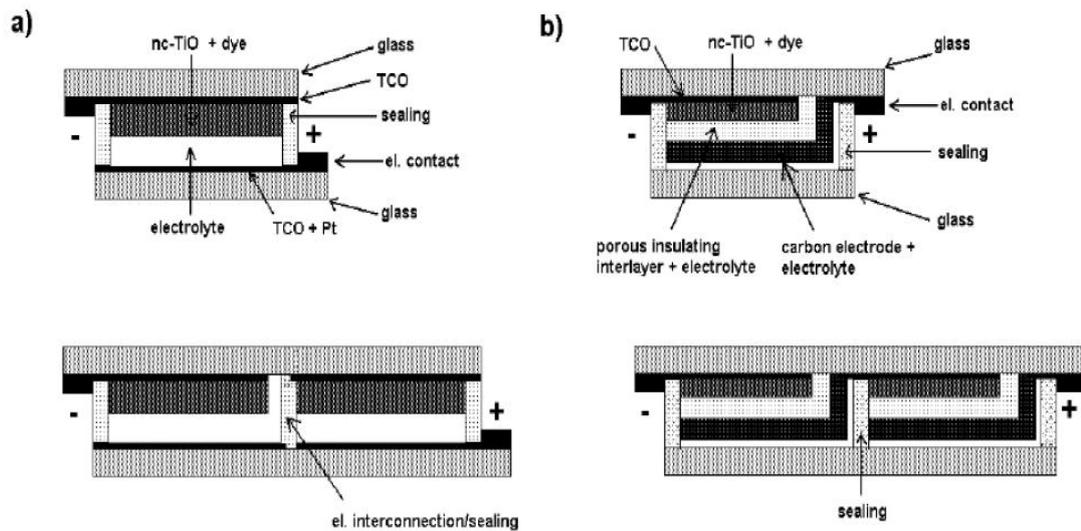
Counter-Elektroda pada DSSC berfungsi sebagai katalis. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metoda yaitu elektrokimia, sputtering, spin coating, atau pyrolysis (Wilman et al., 2007 : 17).

Walapun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan counter-elektroda karbon sebagai lapisan katalis (Gratzel, 1996 : 44, 99-117). Karena luas permukaanya yang tinggi, counter-elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai elektroda platina.

2.5 Fabrikasi DSSC

Cara paling umum dalam fabrikasi DSSC di laboratorium yaitu menggabungkan dua kaca dengan lapisan yang berbeda dengan struktur *sandwich*, sebagai substrat dan superstrat, yang salah satunya yaitu lapisan TiO_2 dimana cahaya masuk dan yang lainnya yaitu counter elektroda yang dilapisi katalis contohnya platina. Untuk meminimalisasi biaya produksi pada skala massal, satu sel bisa dideposisikan secara langsung antara kaca dengan luas permukaan yang tinggi.

Selain itu Kay dan Gratzel (1996) mengembangkan tiga lapisan struktur sel *monolithic*, untuk mengadaptasi proses produksi sel surya lapisan tipis sehingga lebih mudah mencapai tahap komersialisasi. Pada struktur *monolithic*, semua lapisan dari sel dapat dideposisikan masing-masing diatas yang lainnya pada satu kaca yang dilapisi TCO, sedangkan satu kaca lain yang berlawanan hanya berfungsi sebagai pelindung dan enkapsulasi.

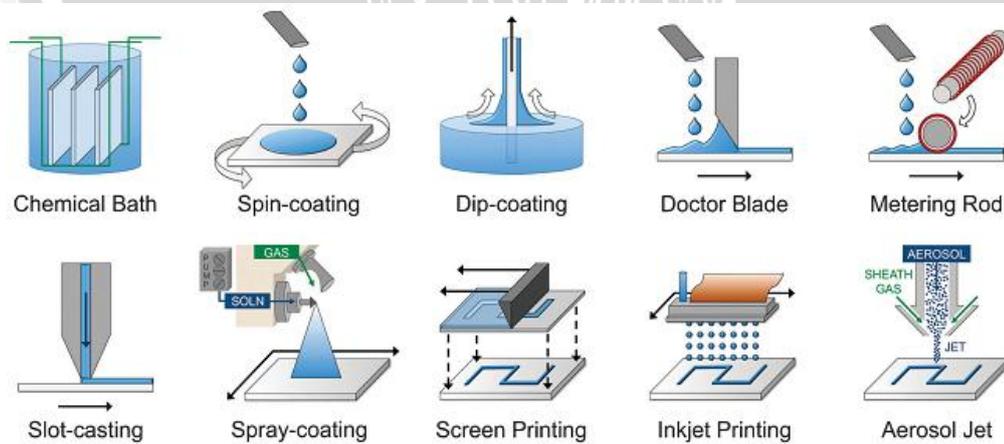


Gambar 2. 8. Skema dari Dua Struktur Umum sel DSSC (atas) dan modul (bawah) (a) Struktur Sandwich, (b) Struktur Monolithic

Sumber :Halme, 2002 : 63

2.6 Metode Deposisi

Metode deposisi terdiri dari dua jenis: *direct growth* material dan pelapisan cairan pada substrat. Metode *direct growth* material terbagi menjadi elektrokimia dan *electro less* deposisi perendaman kimia (CBD). Metode yang sering digunakan adalah metode Pelapisan cairan karena metode ini sensitif terhadap karakteristik yang diinginkan (Pasquarelli *et al.* 2011: 5416). Berikut variasi metode yang digunakan dalam teknik deposisi film tipis dalam Gambar 8.



Gambar 2. 9. Variasi Metode Deposisi

Sumber : Pasquarelli et al., 2011: 5417

Variasi metode deposisi yang telah digunakan dan dikembangkan antara lain yaitu:

1. *Chemical Bath*, yaitu metode deposisi *direct growth* material dimana metode ini bergantung pada reaksi saat perendaman dalam bahan kimia. Contoh: pembuatan *nanowire* ZnO
2. *Spin-Coating*, yaitu metode deposisi pelapisan cairan dimana pemerataan cairan dilakukan dengan cara memutar substrat dengan kecepatan 1000 RPM. Bentuk cairan yang dihasilkan berbentuk lingkaran.
3. *Dip-Coating*, yaitu metode deposisi pelapisan cairan dimana substrat dicelupkan ke dalam cairan lalu diangkat. Metode ini melapisi semua sisi substrat.
4. *Doctor Blade*, yaitu metode deposisi pelapisan cairan dimana melapisi substrat seperti melapisi selai di roti atau istilah lain pisau dokter. Metode ini dilakukan untuk melapisi satu sisi substrat dan bentuk pola yang diinginkan.
5. *Metering Rod* atau Mayer Rod adalah metode deposisi yang menggunakan tongkat besi memutar untuk meratakan cairan di substrat.
6. *Slot-casting*, yaitu metode yang hampir sama dengan *Doctor blade*. Perbedaannya hanya saat penempatan cairan di substrat sama pemerataan dilakukan secara bersamaan.
7. *Spray-coating*, yaitu metode pelapisan cairan *non-contact* dimana cairan disemprotkan ke substrat dengan bantuan semprotan.
8. *Screen Printing* atau yang lebih dikenal sablon adalah metode pelapisan cairan yang tradisional dengan cara menyablon cairan ke substrat.
9. *Inkjet Printing*, yaitu metode pelapisan cairan *Direct-write* dimana substrat dicetak langsung dengan printer sesuai dengan pola yang diinginkan.
10. Aerosol Jet sama seperti *Inkjet Printing*, Aerosol Jet menggunakan printer aerosol yang bisa mencetak hingga ukuran micrometer.

2.7 *Spectrophotometer UV-Visible*

Spectrophotometer UV-VIS merupakan alat yang berfungsi untuk menguji tingkat absorpsi klorofil. *Spectrophotometer* bekerja dengan cara menembakkan

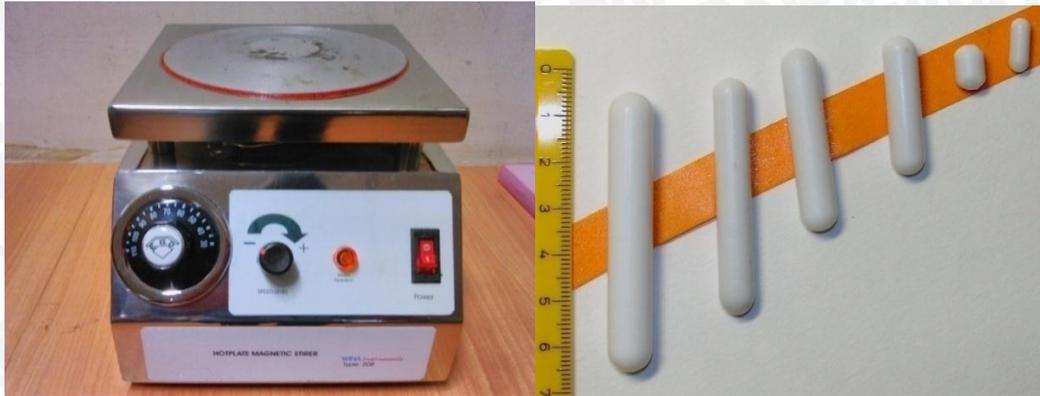
cahaya dengan spektrum panjang gelombang yang bervariasi melewati sampel uji. Kemudian terdapat penerima cahaya di sisi berlawanan dengan sumber cahaya untuk menangkap dan menghitung jumlah cahaya yang diteruskan setelah melewati sampel uji. Dengan diketahui jumlah cahaya yang diteruskan, maka dapat diketahui berapa jumlah cahaya yang diserap oleh sampel uji, yang dalam penelitian ini berupa ekstrak klorofil. Dalam penelitian ini digunakan *Spectrophotometer UV-VIS* tipe UV-1601 dari Shimadzu dan menguji klorofil pada panjang gelombang 300-800 nm. *Spectrophotometer UV-VIS* tipe UV-1601 dari Shimadzu ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2. 10. *Spectrophotometer UV-1601*
Sumber : Lab. Pengujian MIPA-Kimia UB

2.8 *Magnetic Stirrer dan Magnetic Stir Bar*

Magnetic stirrer merupakan alat homogenisasi cairan kimia. Alat ini menggunakan putaran medan magnet untuk memutar *magnetic stir bar* yang direndam sehingga dapat mengaduk cairan. Dalam penelitian ini digunakan *magnetic stirrer* tipe 208 dari WINA Instruments dan *Magnetic Stir Bar* dengan panjang 2,5 cm. *Magnetic stirrer dan magnetic stir bar* ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2. 11. Magnetic Stirrer (Kiri) dan Magnetic Stir Bar (Kanan)

2.9 Pelarut

Pelarut dalam penelitian ini digunakan untuk melepas zat klorofil dari daun secara kimiawi sehingga menjadi homogen dengan larutan. Dalam penelitian ini diperlukan senyawa pelarut yang bersifat polar, karena klorofil merupakan senyawa organik yang bersifat polar sehingga ethanol yang bersifat polar dapat menarik dan melarutkan klorofil. Oleh karena itu, pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ethanol dengan konsentrasi 98%.

2.10 Scale

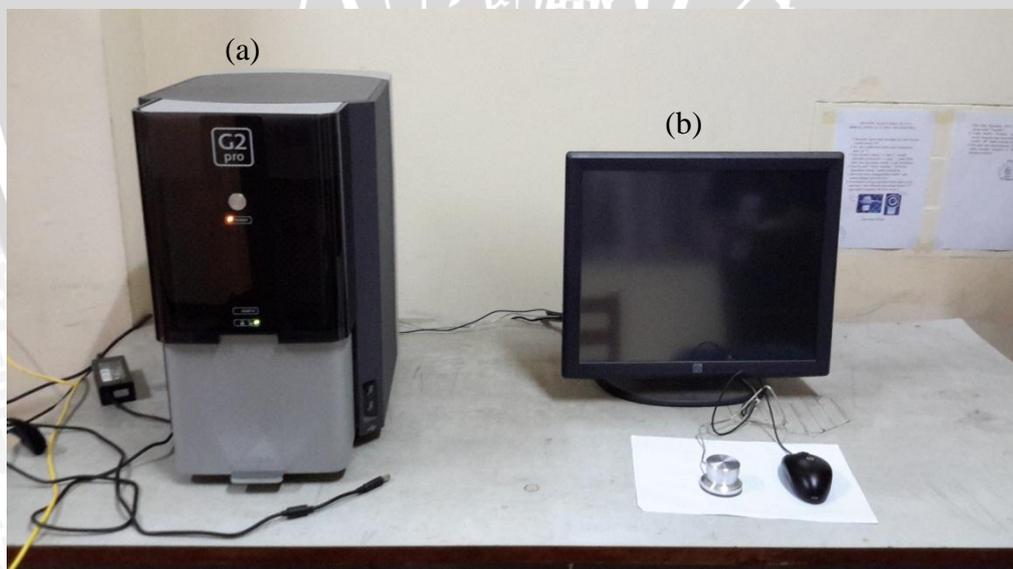
Scale atau timbangan digital dalam penelitian ini digunakan untuk menimbang massa material dan bahan pada orde gram. Pada penelitian ini digunakan scale tipe CLSeries dari OHAUS. Scale tipe CLSeries dari OHAUS ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2. 12. Digital Scale OHAUS CL Series

2.11 Scanning Electron Microscope

SEM digunakan untuk studi detail arsitektur permukaan sel (atau struktur jasad renik lainnya), dan obyek diamati secara tiga dimensi. SEM mempunyai resolusi hingga 1 nm atau pembesaran 400.000 kali. Pada penelitian ini digunakan SEM Phenom G2 Pro ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2. 13. (a) Scanning Electron Microscope (b) Display SEM

Sumber: Lab. Sentral Teknik Mesin UB

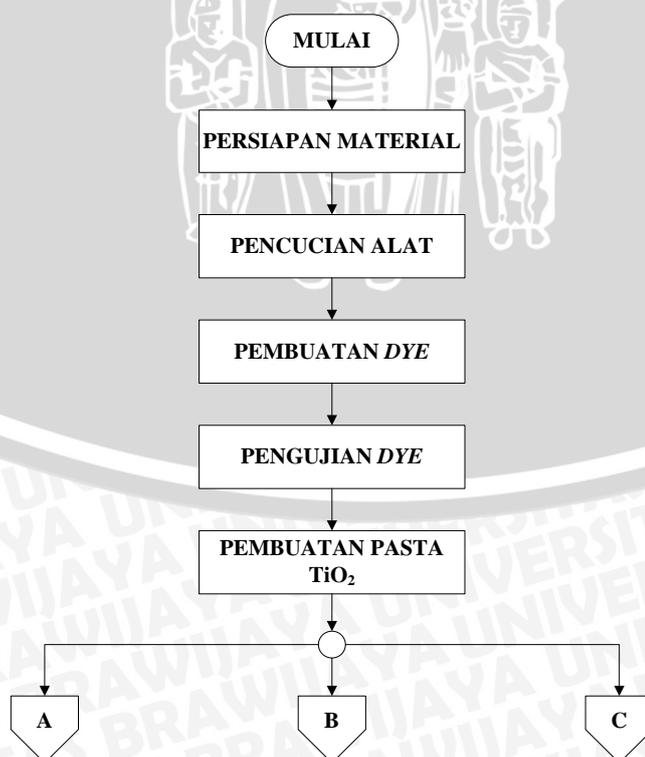
BAB III

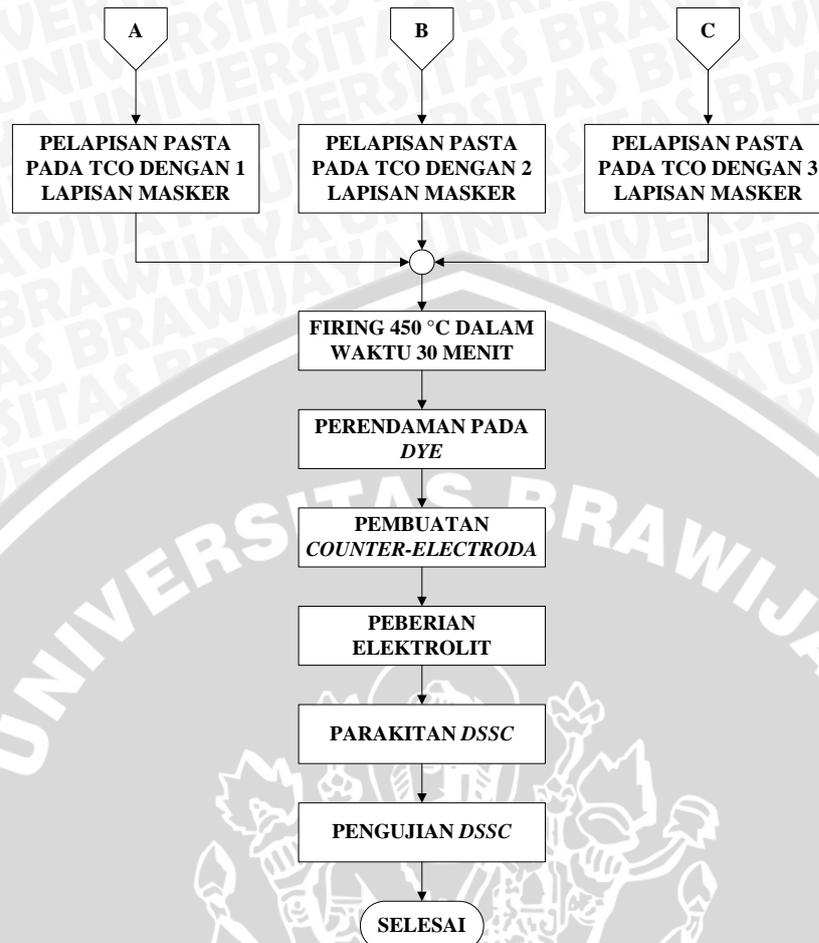
METODE PENELITIAN

Penyusunan proposal ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiian penelitian agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan penelitian yang dirancang adalah bagaimana perancangan *dye-sensitized solar cell (DSSC)*, cara perolehan data atau pengukuran, model analisis dan pengambilan kesimpulan.

3.1 Perancangan DSSC

Dalam penelitian ini akan dibuat 3 buah solar sel organik atau *dye-sensitized solar cell (DSSC)* dengan menggunakan ketebalan TiO_2 yang berbeda. Variasi ketebelan berdasarkan jumlah lapis lapisan masker. Terdiri dari 3 jumlah lapisan yaitu: 1 lapis, 2 lapis, 3 lapis lapisan masker. Tiga buah DSSC tersebut mendapat pelakuan sama dalam hal metode dan langkah-langkah pembuatannya. Berikut adalah diagram alir perancangan DSSC ditunjukkan dalam Gambar 3.1.





Gambar 3. 1. Diagram Alir Metode Perancangan DSSC

Pada proses pembuatan DSSC, langkah pertama adalah mempersiapkan material yang akan digunakan. Alat-alat yang akan digunakan dicuci dulu dengan menggunakan aquades untuk menghilangkan materi pengotor. Untuk pembuatan *dye* digunakan prinsip ekstraksi klorofil dari daun jarak. Daun jarak terlebih dulu ditimbang 30 gram untuk perbandingan jumlah daun dibanding pelarut adalah 30 gram : 50 ml.

Pada pembuatan pasta TiO_2 , *Polyvinyl Alcohol* (PVA) 1.5 gram ditambahkan pada 13.5 ml aquades, selanjutnya campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur 40°C selama kurang lebih 30 menit hingga larutan mengental dan homogen. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta TiO_2 . Bubuk TiO_2 ditimbang 0.5 gram, kemudian suspensi yang telah dibuat ditambahkan pada bubuk TiO_2 perlahan lahan hingga didapatkan pasta dengan viskositas yang diinginkan.

Setelah didapatkan pasta TiO_2 yang diinginkan, selanjutnya pasta dilapiskan diatas kaca TCO pada lapisan konduktifnya dengan menggunakan metode *doctor blading*. Variasi ketebalan kaca terbagi 3 yaitu: 1 lapis, dua lapis dan 3 lapis lapisan masker. Kaca TCO yang sudah dilapisi pasta kemudian di-*firing* pada suhu 450°C selama 30 menit agar pasta melekat sempurna pada kaca. Kemudian kaca TCO direndam dalam *dye* selama 30 menit.

Pembuatan counter-elektroda dilakukan dengan cara memanaskan sisi konduktif kaca TCO pada nyala api lilin selama kurang lebih 1 menit sampai karbon dengan rata menutupi sisi konduktif kaca TCO. Karbon yang menempel pada kaca TCO ditentukan dimensinya sesuai dengan dimensi kaca TCO yang dilapisi pasta TiO_2 yaitu $2 \times 2 \text{ cm}^2$.

3.2 Metode Deposisi

Metode deposisi yang digunakan adalah metode *doctor blade*. Metode doctor blade adalah metode yang roll-to-roll kompatibel, teknik pelapisan dengan area yang besar serta menggunakan sedikit material (Ding et al, 2010:1217). Metode ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Metode Doctor Blade

Sumber: Pasquarelli et al, 2011: 5417

3.3 Perlakuan Sampel dan Variabel Input

Pada perakitan DSSC, kaca TCO yang telah direndam dengan *dye* kemudian ditetesi dengan larutan elektrolit. Larutan elektrolit digunakan sebagai transpor elektron dari karbon ke *dye*. Kemudian dengan segera tempelkan kaca

TCO *counter-electrode* dengan struktur berlapis, jepit dengan klip agar penempelan lebih rapat. Maka proses pembuatan *DSSC* selesai.

Data didapat dengan cara melakukan fabrikasi *DSSC*. Metode fabrikasi dan perlakuan sampel yang dilakukan yaitu :

- Pelapisan pasta TiO_2 dilakukan dengan menggunakan metode *doctor blading*.
- Proses pengeringan dan perekatan pasta TiO_2 dilakukan dengan cara dipanaskan dalam *furnace* dengan waktu yang sama (30 menit).
- Pembuatan pasta TiO_2 dilakukan dengan cara yang sama untuk mendapatkan tingkat kekentalan pasta TiO_2 .
- Karbon *counter-electrode* dibuat dengan ketebalan yang sama. Pemanasan dilakukan menggunakan lilin lebih kurang 1 menit.
- Lama waktu perendaman dalam *dye* dibuat dalam waktu yang sama (30 menit).
- Zat elektrolit dibuat sama baik konsentrasi maupun jumlah volum yang diteteskan pada TiO_2 yang sudah direndam *dye* (0,25 ml).
- Variasi lux dari lampu merkuri yaitu: 500, 2000, 5000, 10000, 20000, 30000 LUX

Variabel *input* yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah :

- Variasi lapisan masker
- Variasi lux lampu merkuri

3.4 Variabel *Output* dan Pengukuran

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan TiO_2 terhadap daya keluaran dan efisiensi *DSSC*. Variabel *output* yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

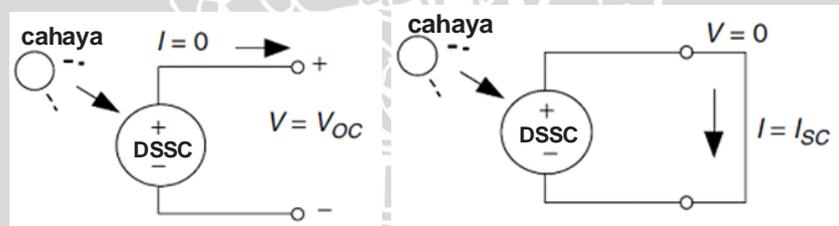
1. Tegangan keluaran *DSSC* (V_{oc})
2. Arus keluaran *DSSC* (I_{sc})
3. *Fill Factor* (FF)
4. Daya keluaran (P_{max})

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian sistem. Pengujian dilakukan dengan cara antara lain:

1. Pengukuran ketebalan TiO_2 .
2. Pengukuran tegangan luaran *DSSC* (V_{oc}).
3. Pengukuran arus luaran *DSSC* (I_{sc}).
4. Analisis perfomansi *DSSC* dengan menggunakan data V_{oc} dan I_{sc} .

Pengujian absorpsi klorofil dilakukan di laboratorium Instrumentasi dan Pengujian Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya menggunakan *Spectrophotometer UV-Vis*. Pengukuran ketebalan TiO_2 dilakukan di laboratorium Sentral Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Phanom G2 Pro.

Pengujian dan pengukuran sel (V_{oc} dan I_{sc}) dilakukan dengan menggunakan lampu LED 7 watt dengan luminasi sebesar 5000 lux. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan hubung terbuka (V_{oc}) dan arus hubung singkat (I_{sc}) menggunakan rangkaian uji. Rangkaian uji untuk pengukuran sel ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3. 3. Rangkaian Pengukuran V_{oc} (kiri) dan Rangkaian Pengukuran I_{sc} (kanan)

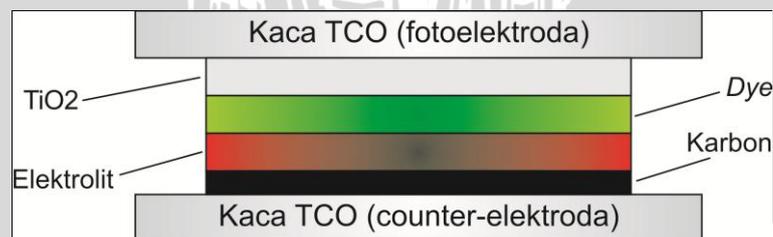
Kemudian dari data tersebut dapat dilakukan analisis pengaruh ketebalan TiO_2 untuk menghasilkan luaran *DSSC* paling baik.

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

Perancangan dan pembuatan yang dimaksudkan adalah cara dan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam merancang dan proses pembuatan alat. Perancangan DSSC dilakukan dengan menggunakan struktur berlapis antar komponen-komponen penyusun DSSC. Komponen-komponen penyusun yang dimaksud antara lain substrat, pasta TiO_2 , dye, elektrolit dan karbon. Sedangkan langkah-langkah penyusunannya yaitu pelapisan pasta TiO_2 pada substrat, pengeringan pasta, perendaman ke dalam larutan *dye*, pemberian elektrolit, dan yang terakhir adalah penyatuan substrat tersebut dengan substrat lainnya yang telah terlapisi karbon.

4.1 Perancangan DSSC

Perancangan DSSC pada penelitian ini menggunakan struktur berlapis, yaitu dengan cara menggabungkan dua kaca TCO dengan lapisan yang berbeda. Kaca pertama (fotoelektroda), yaitu terdiri dari lapisan pasta TiO_2 yang telah direndam dengan larutan klorofil dan diberi larutan elektrolit, sedangkan kaca kedua terdiri dari lapisan karbon sebagai elektroda lawan (*counter-electrode*). Struktur berlapis DSSC secara ilustrasi ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Struktur Berlapis DSSC

Sumber : Sholeh et al. 2013: 14

4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam perancangan atau pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell* ini diperlukan bahan-bahan sebagai berikut :

1. 30 gram daun jarak
2. 50 ml ethanol dengan konsentrasi 98%
3. Aquades
4. PVA (*Polyvinyl Alcohol*)
5. Potassium iodide (KI)
6. Iodine (I₂)
7. Acetonitrile

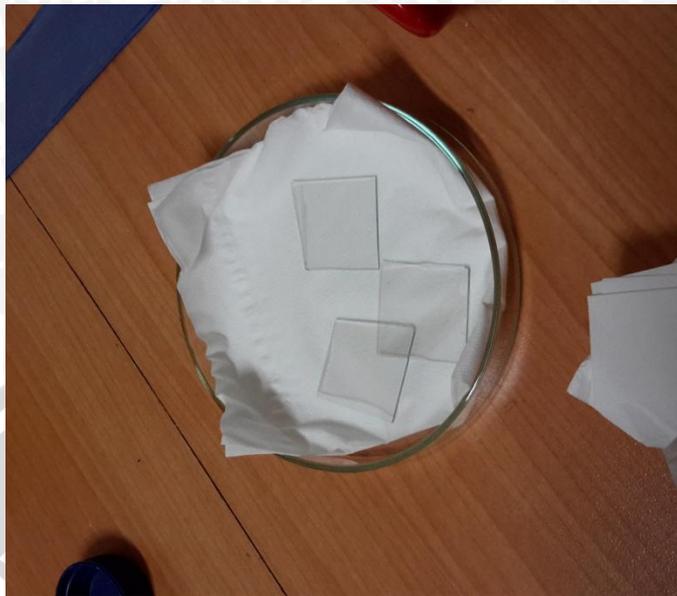
Sedangkan beberapa alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Gelas beaker
2. Tabung ukur
3. Pipet
4. Kaca konduktif (TCO) jenis ITO (Indium tin oxide) dengan resistivitas permukaan sebesar 15-25 Ω /sq dari SIGMA-Aldrich
5. Pengaduk magnetik (magnetic stirrer) dari WINA *Instruments*
6. Mortar
7. Cawan petri
8. *Oven Furnace* Vulcan A-550
9. *Scotch Tape*
10. Multimeter digital tipe Sanwa CD800A
11. Multimeter analog ABB MA3E
12. Lampu Merkuri 250 watt
13. Lampu LED Phillips 7 watt

4.3 Persiapan Material

4.3.1 Persiapan Kaca TCO

Kaca TCO dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm² menggunakan *glass cutter*. Kaca kemudian ditempatkan di dalam wadah bersih dan direndam dalam ethanol selama 10 menit agar steril dan menghilangkan materi pengotor agar tidak ada penambahan nilai hambatan pada kaca TCO. Setelah pembersihan selesai substrat dikeluarkan dari wadah dan dibiarkan terlebih dahulu hingga ethanol yang menempel pada kaca menguap. Kaca TCO yang telah siap digunakan ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4. 2. Kaca TCO yang Siap Digunakan dengan Dimensi 2 x 2 cm²

4.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan dalam pembuatan DSSC adalah larutan iodide/triiodide dengan prosedur sebagai berikut :

1. Campurkan 0,83 gram (0,5 M) KI (Potassium iodide) ke dalam 1 ml aquades kemudian ditambahkan 9 ml acetonitrile.
2. Tambahkan 0,127 gram (0,05 M) I₂ (Iodide) ke dalam larutan tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.
3. Simpan larutan dalam botol gelap dan dibungkus dengan menggunakan aluminium foil.

4.3.3 Pembuatan Larutan Dye

Pembuatan larutan *dye* menggunakan prinsip ekstraksi klorofil dari klorofil daun jarak. Berikut langkah-langkah ekstraksi klorofil:

1. Disiapkan 60 gram daun jarak, 150 ml ethanol 98%, aquades dan alat-alat yang akan digunakan.

2. Daun jarak ditimbang dengan berat 30 gram.
3. Daun jarak dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan.
4. Setelah bersih, daun jarak ditumbuk pada cawan porselin hingga halus.
5. Daun jarak yang telah halus dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml ethanol 98%.
6. Daun jarak yang telah tercampur dengan ethanol diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kecepatan setengah putaran penuh sehingga menghasilkan ekstrak klorofil.
7. Ekstrak klorofil dimasukkan ke dalam wadah gelap dan didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi.
8. Setelah itu ekstrak tersebut disaring dengan kertas saring sehingga zat klorofil terpisah sepenuhnya dengan fisik daun, kemudian ditampung pada botol gelap yang telah dibungkus dengan aluminium foil.

Daun jarak yang telah dihaluskan dan siap dicampur dengan pelarut, proses homogenisasi klorofil dengan pelarut, dan proses penyaringan larutan *dye* ditunjukkan dalam Gambar 4.3a, Gambar 4.3b dan Gambar 4.3c.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 3. (a) Daun Jarak yang Telah Dihaluskan (b) Proses Homogenisasi Klorofil Dengan Pelarut (c) Proses Penyaringan Dye

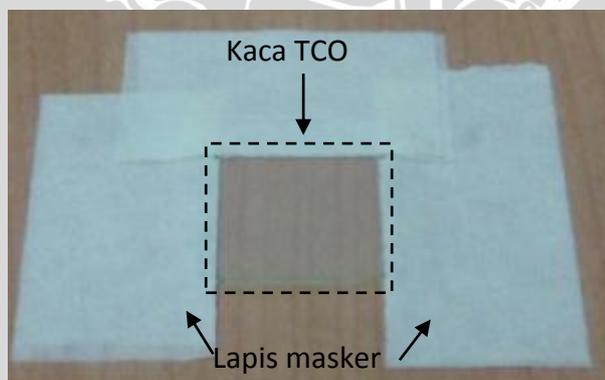
4.3.4 Pembuatan Pasta TiO₂

Agar dapat dideposisikan pada kaca TCO dengan baik, TiO₂ harus dibuat dalam bentuk pasta. Prosedur pembuatannya adalah sebagai berikut :

1. Membuat larutan binder, yaitu *Polyvinyl Alcohol* (PVA) 1.5 gram ditambahkan pada 13.5 ml aquades, selanjutnya campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur 40°C selama kurang lebih 30 menit hingga larutan mengental dan homogen. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta TiO₂.
2. Bubuk TiO₂ ditimbang 0.5 gram, kemudian suspensi (PVA) yang telah dibuat ditambahkan pada bubuk TiO₂ sebanyak 7,5 ml. Diaduk sampai menjadi bentuk pasta.

4.4 Pelapisan Pasta TiO₂ pada Kaca TCO

Dibentuk area tempat TiO₂ dideposisikan dengan bantuan masker pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 2 x 2 cm² dengan ilustrasi seperti dalam Gambar 4.4.

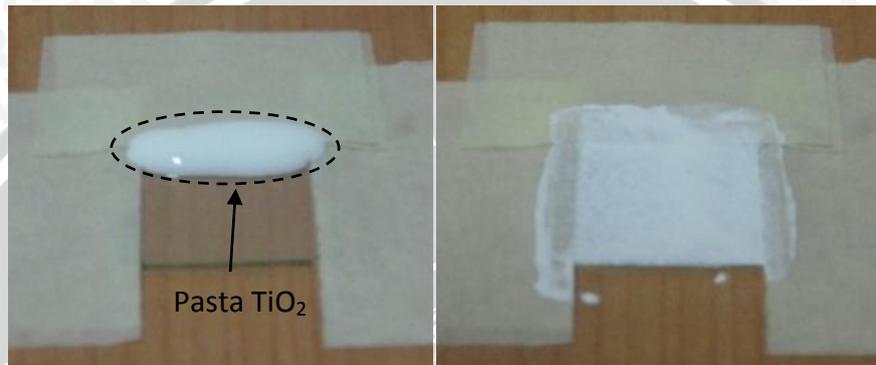


Gambar 4. 4. Area Pada Kaca TCO yang Telah Dibuat

Masker yang digunakan adalah *Scotch Tape*. *Scotch tape* berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO₂, jika ingin pasta semakin tebal pada permukaan kaca maka *scotch tape* dapat ditumpuk berlapis-lapis sesuai dengan variasi yang

diinginkan. Variasi dari lapisan masker adalah 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis lapisan *scotch tape*.

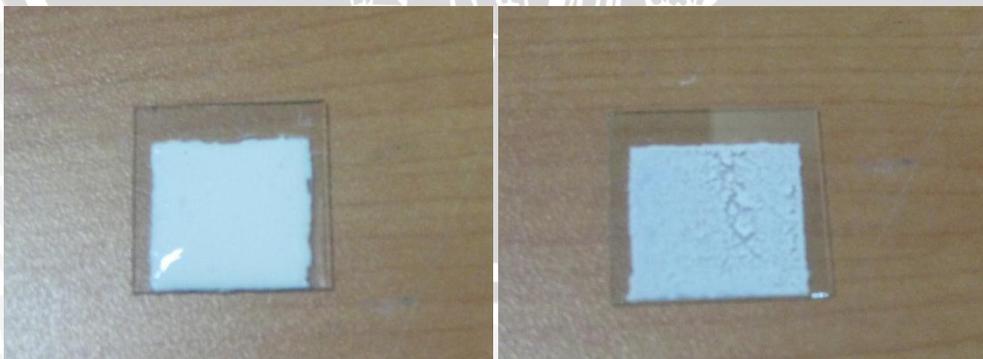
Pasta TiO_2 dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan metode *doctor blading* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Pasta yang telah diratakan menggunakan metode *doctor blading* ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4. 5. Pasta TiO_2 Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Dideposisi pada Kaca

4.5 Proses *Firing* Pasta TiO_2

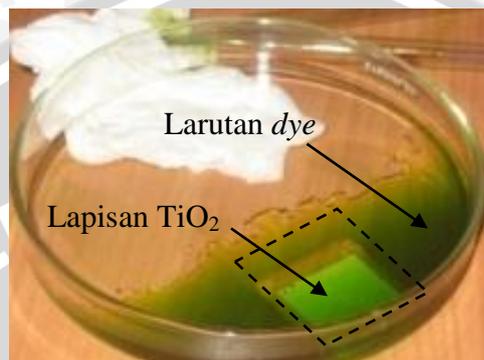
Pasta TiO_2 yang telah rata pada permukaan kaca kemudian di-*firing* dalam tungku listrik selama 30 menit pada temperatur 450°C agar terjadi kontak yang baik antara pasta dengan kaca TCO. Pasta TiO_2 yang telah melalui proses *firing* ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Pasta TiO_2 Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Melalui Proses *Firing*

4.6 Perendaman TiO₂ Dalam Larutan Klorofil (*Dye*)

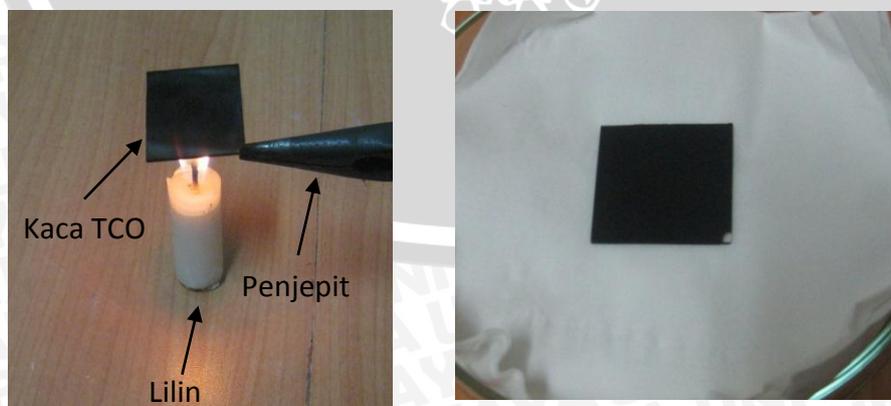
Lapisan TiO₂ kemudian direndam dalam larutan *dye* selama kurang lebih 30 menit, kemudian lapisan TiO₂ akan menjadi berwarna hijau daun. Pada proses ini terjadi absorpsi klorofil ke permukaan TiO₂. Proses perendaman lapisan TiO₂ ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4. 7. Proses Perendaman Lapisan TiO₂ dalam Larutan *Dye*

4.7 Pembuatan *Counter-Electrode* Karbon

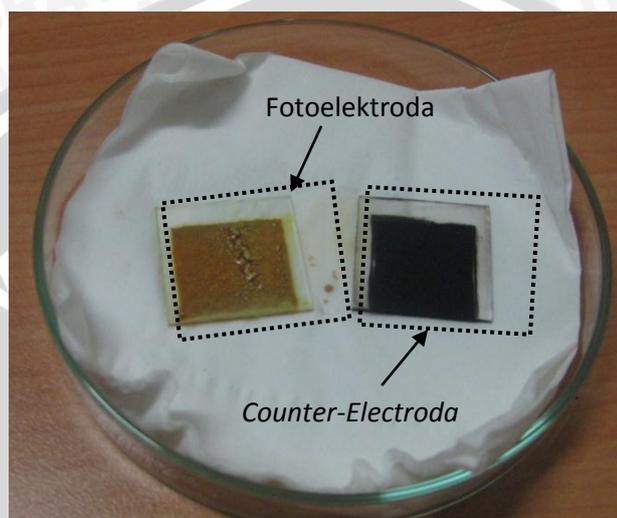
Pembuatan *counter-electrode* dilakukan dengan cara memanaskan sisi konduktif kaca TCO pada nyala api lilin selama kurang lebih 1 menit sampai karbon dengan rata menutupi sisi konduktif kaca TCO. Karbon yang menempel pada kaca TCO ditentukan dimensinya sesuai dengan dimensi kaca TCO yang dilapisi pasta TiO₂ yaitu 2 x 2cm². Proses pembuatan *counter-electrode* dan hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Proses Pembuatan *Counter-Electroda* (kiri) dan *counter-electrode* yang Telah Jadi (kanan)

4.8 Pemberian Elektrolit

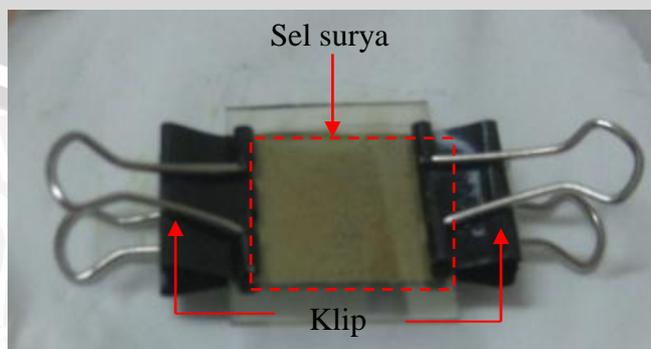
Pemberian elektrolit dengan cara ditetaskan menggunakan pipet sebanyak 5 tetes atau sebanyak 0,25 ml. Larutan elektrolit digunakan sebagai transpor elektron dari karbon ke *dye*. Lapisan fotoelektroda dan *counter-electrode* yang telah siap dirangkai ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4. 9. Lapisan Fotoelektroda dan *Counter-Electrode* yang Telah Siap Dirangkai

4.9 Perakitan DSSC

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat dan telah siap, kemudian dilakukan proses perakitan untuk membentuk sel surya. Perakitan dilakukan dengan cara menempelkan kaca TCO fotoelektroda dengan kaca TCO *counter-electrode* dengan struktur berlapis dan kemudian dijepit dengan klip agar penempelan lebih rapat dan tidak bergeser.



Gambar 4. 10. Hasil Perakitan DSSC

BAB V

PEGUJIAN DAN ANALISIS

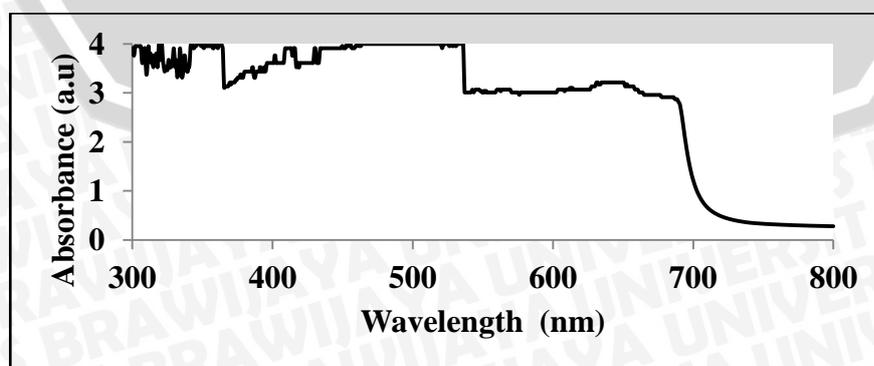
Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai dengan perancangan.

Pengujian dan pengukuran yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian absorbansi klorofil (*dye*)
2. Pengukuran ketebalan TiO₂
3. Pegujian tegangan terhadap variasi intensitas cahaya
4. Pengujian arus terhadap intensitas cahaya
5. Pengujian DSSC

5.1 Pengujian Absorbansi Klorofil (*Dye*)

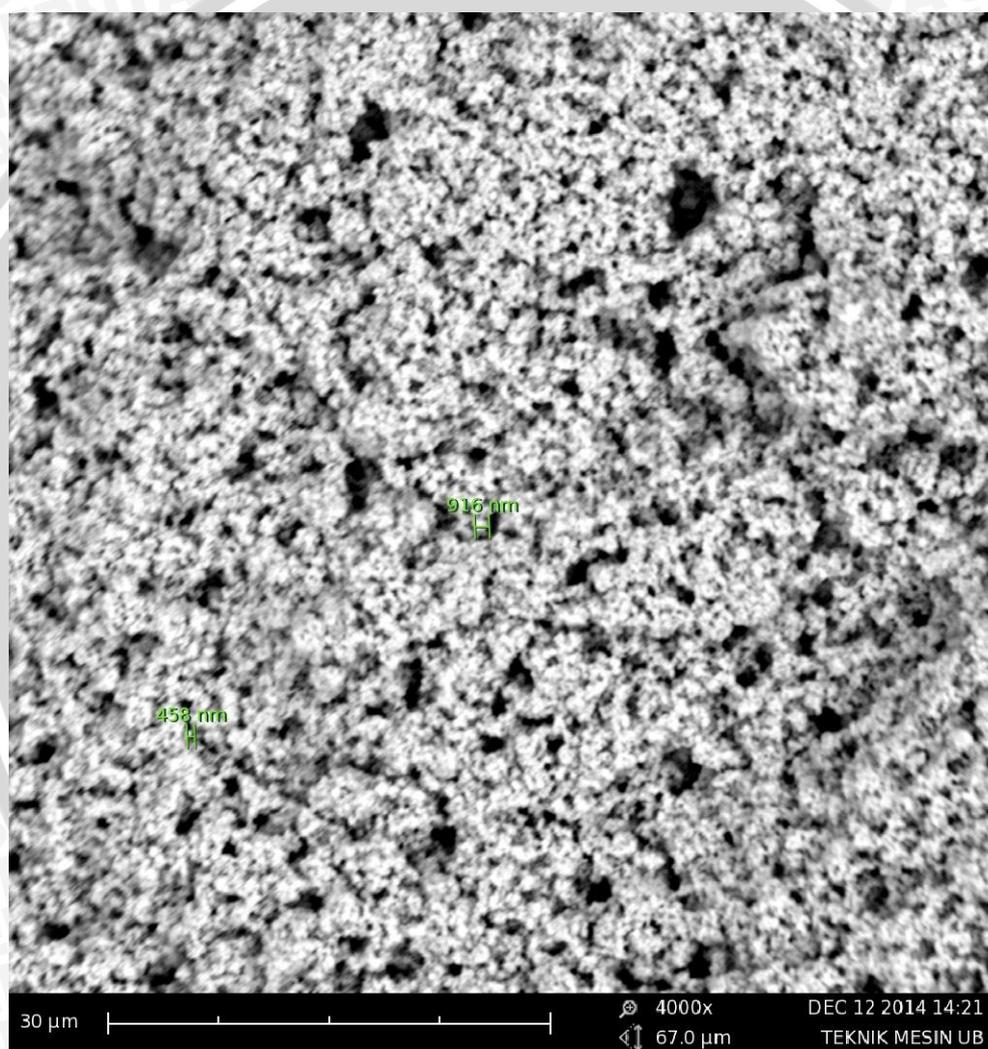
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemampuan *dye* yang telah di variasi dalam menyerap cahaya pada spektrum panjang gelombang 300 nm sampai 800 nm. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Spectrophotometer* UV-Visible dengan tipe UV-1601 dari Shimadzu dan dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengujian Jurusan Kimia Fakultas MIPA UB. Pengujian absorbansi klorofil dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengujian Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Pengujian absorbansi klorofil ini dilakukan pada panjang gelombang 300 nm sampai 800 nm. Hasil pengujian absorbansi klorofil perbandingan jumlah daun dengan volum pelarut yaitu 30 gr : 50 ml ditunjukkan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Grafik Absorbansi Klorofil

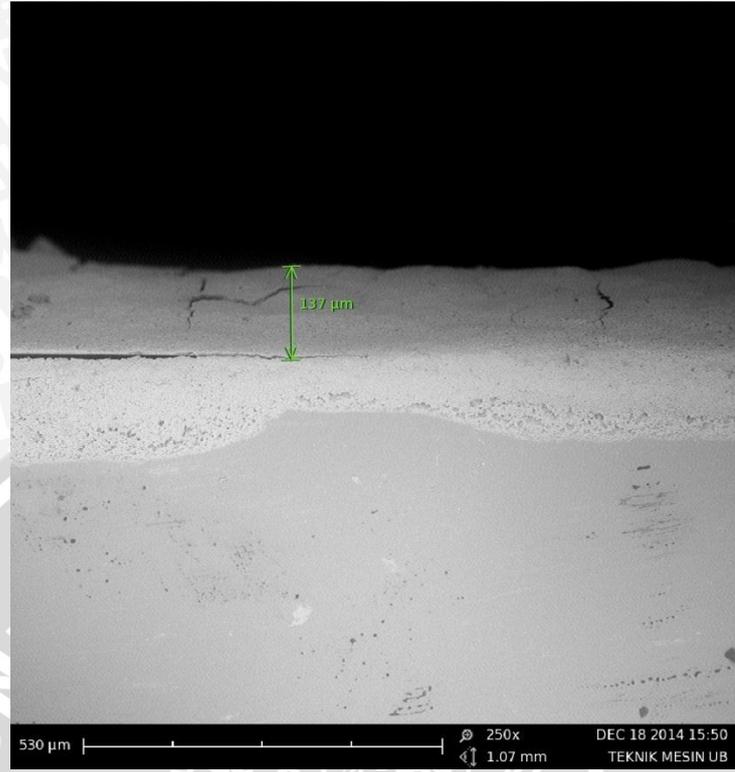
5.2 Pengukuran Ketebalan TiO₂

Pengukuran ketebalan TiO₂ dilakukan di Laboratorium Sentral Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Phanom G2 Pro. Pengukuran ketebalan diambil pada satu titik acak. Hasil pengukuran tampak atas, ketebalan 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapisan masker berturut-turut ditunjukkan dalam Gambar 5.2, 5.3, 5.4, dan 5.5.

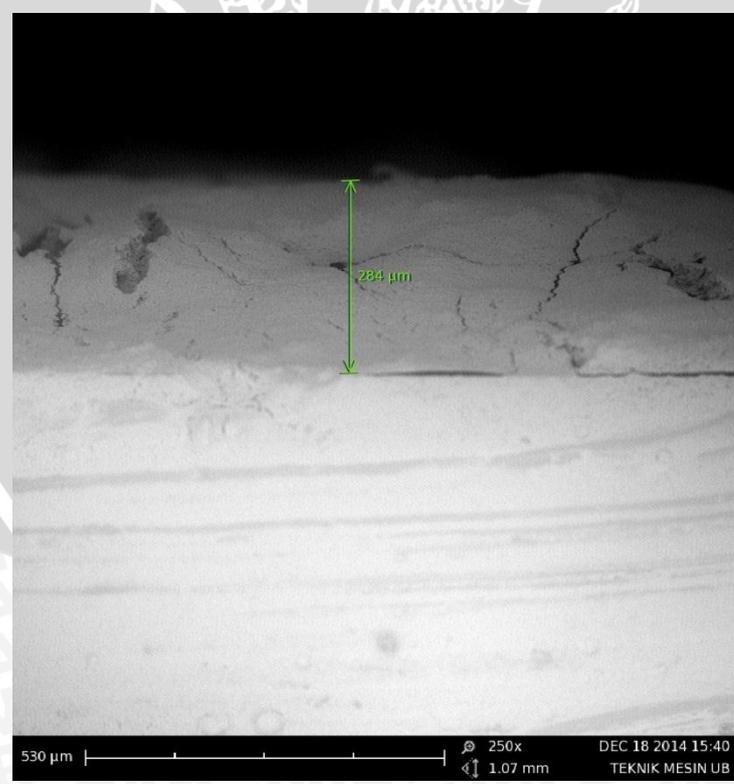


Gambar 5. 2. Gambar Bentuk Tampak Atas TiO₂ dengan Perbesaran 4000 Kali

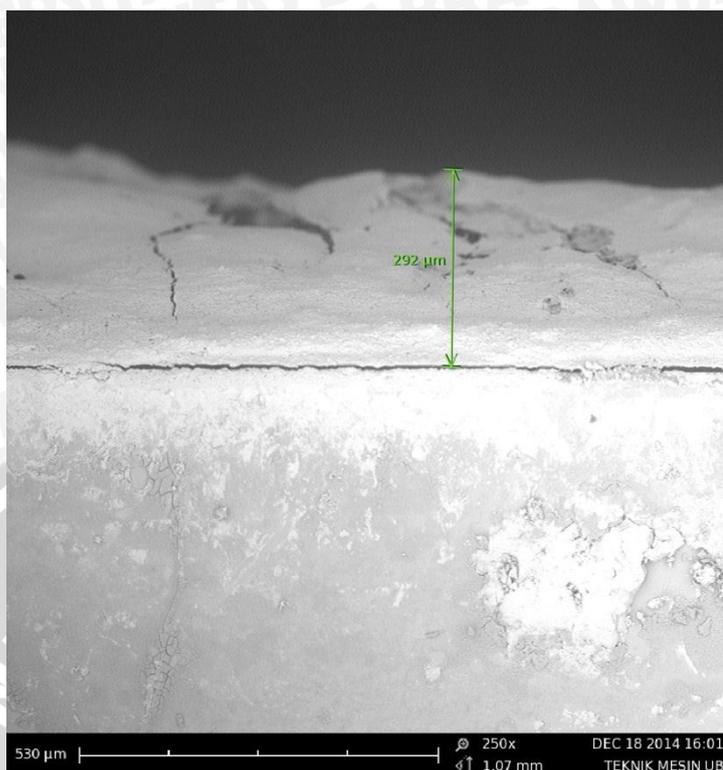
Pada gambar ini diambil 2 sampel pengukuran acak pada partikel TiO₂ dengan perbesaran 4000 kali. hasil pengukuran yaitu 458 nm dan 916 nm.



Gambar 5. 3. Gambar Ketebalan 1 Lapis Masker TiO₂ dengan Perbesaran 250 Kali



Gambar 5. 4. Gambar ketebalan 2 lapis masker TiO₂ dengan perbesaran 250 kali



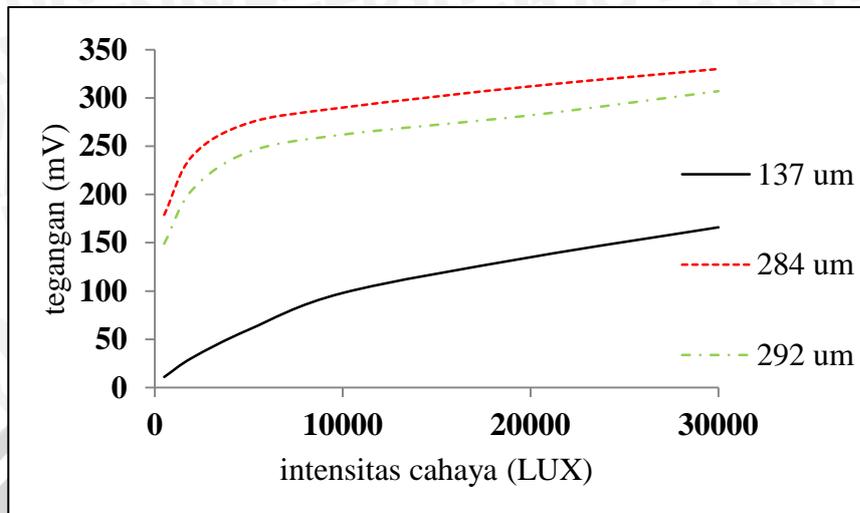
Gambar 5. 5. Gambar ketebalan 3 lapis masker TiO₂ dengan perbesaran 250 kali

5.3 Pengujian Tegangan terhadap Intensitas Cahaya

Pengujian tegangan terhadap intensitas cahaya yang menggunakan lampu merkuri Philips 250 W diuji menggunakan Luxmeter Krisbow KW06-288 dan Multimeter Sanwa CD800A. Variasi intensitas cahaya yaitu: 500, 2.000, 5.000, 10.000, 20.000, 30.000 LUX. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian tegangan terhadap intensitas cahaya dalam Tabel 5.1 dan Gambar 5.6

Tabel 5. 1. Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya

Lux(LUX)	V ₁₃₇ (mV)	V ₂₈₄ (mV)	V ₂₉₂ (mV)
500	11	179	149
2000	31	240	205
5000	60	274	244
10000	98	290	262
20000	135	312	282
30000	166	330	307



Gambar 5. 6. Grafik perbandingan Tegangan terhadap Intensitas Cahaya

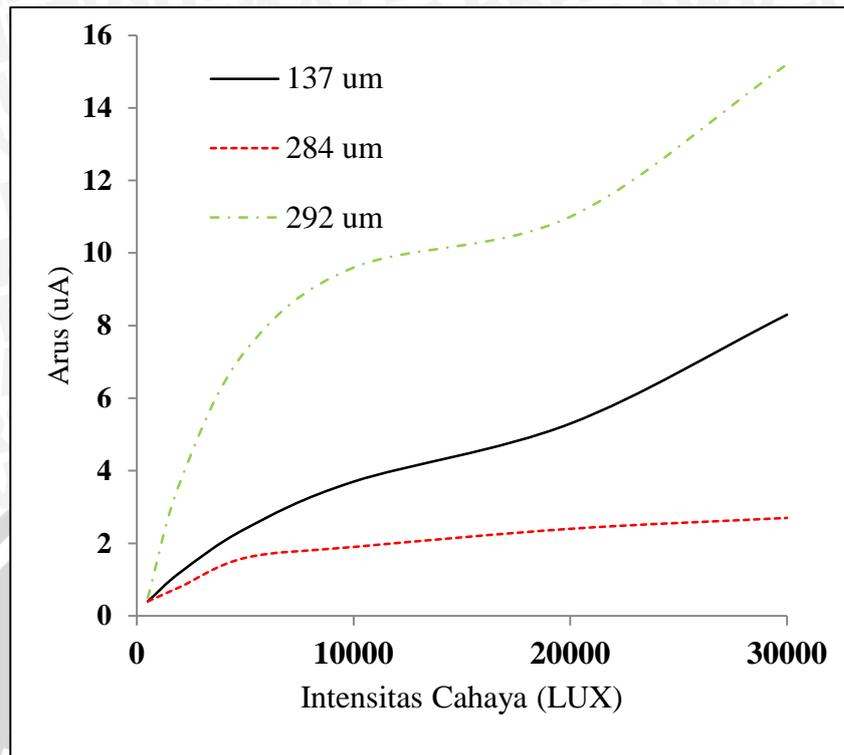
Data hasil perbandingan tegangan terhadap intensitas cahaya pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa ketebalan 284 μm menghasilkan tegangan tertinggi yaitu 330 mV pada intensitas cahaya 30.000 LUX.

5.4 Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya

Pengujian arus terhadap intensitas cahaya yang menggunakan lampu merkuri Philips 250 W diuji menggunakan luxmeter Krisbow KW06-288 dan Multimeter Goldtool UT30B. Variasi intensitas cahaya yaitu: 500, 2.000, 5.000, 10.000, 20.000, 30.000 LUX. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian arus terhadap intensitas cahaya ditunjukkan dalam Tabel 5.2 dan Gambar 5.7.

Tabel 5. 2. Hasil Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya

lux	$I_{137}(\mu\text{A})$	$I_{284}(\mu\text{A})$	$I_{292}(\mu\text{A})$
500	0.4	0.4	0.5
2000	1.2	0.8	3.7
5000	2.4	1.6	7.3
10000	3.7	1.9	9.6
20000	5.3	2.4	11
30000	8.3	2.7	15.2



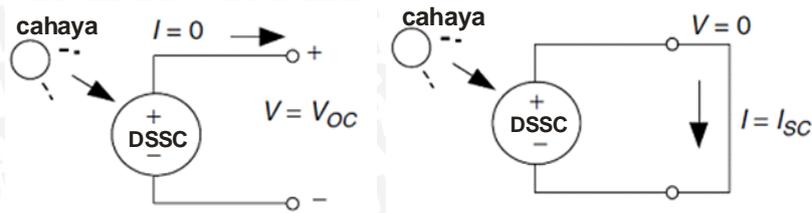
Gambar 5. 7. Grafik perbandingan Arus terhadap Intensitas Cahaya

5.5 Pengujian Sel Variasi Ketebalan TiO_2

Pengujian sel surya (DSSC) bertujuan untuk mengetahui kinerja, tegangan, arus dan daya yang dapat dihasilkan oleh sel surya yang dirancang. Dan mengetahui pengaruh tingkat konsentrasi larutan *dye* terhadap keluaran sel. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut

1. *Dye-Sensitized Solar Cell*
2. Rangkaian pengujian sel
3. Multimeter Sanwa CD800A
4. Multimeter Goldtool UT30B

Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan sel dengan rangkaian uji kemudian diukur tegangan hubung terbuka (V_{oc}) dengan multimeter Sanwa CD800A dan arus hubung singkat (I_{sc}) dengan Goldtool UT30B ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



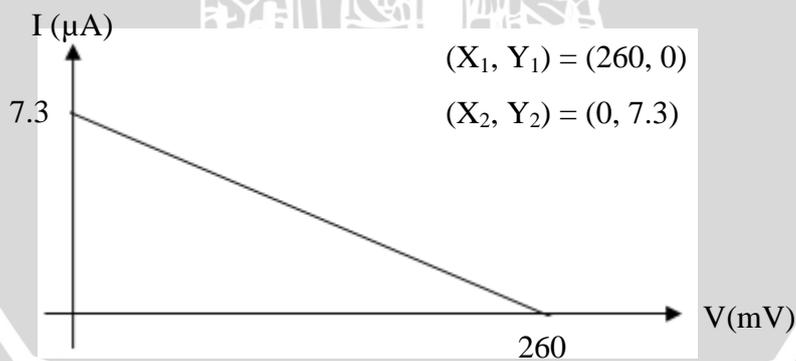
Gambar 5. 8. Rangkaian Pengukuran Voc (kiri) dan Rangkaian Pengukuran Isc (kanan)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu LED 7 watt dengan luminasi sebesar 50.000 lux sebagai sumber cahaya. Setelah Voc dan Isc diketahui, kemudian dicari luasan maksimum dengan menggunakan persamaan $y = m \cdot x + C$, dimana $m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$. Kemudian digunakan V_{MPP} dan I_{MPP} untuk mendapatkan FF (*fill factor*) dan daya maksimum (Pmax).

A. Hasil Pengujian Ketebalan 137 μm

Pada DSSC dengan ketebalan 137 μm, didapatkan hasil pengukuran Voc sebesar 260 mV dan Isc sebesar 7.3 μA. Hasil pengukuran Voc dan Isc pada DSSC dengan ketebalan 137 μm tersebut kemudian dicari nilai ‘m’ dan ‘y’.

$V_{oc} = 260 \text{ mV}$; $I_{sc} = 7.3 \text{ μA}$



$(X_1, Y_1) = (260, 0)$

$(X_2, Y_2) = (0, 7.3)$

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{7.3 - 0}{0 - 260} = -0,028$$

$$y = -0,028x + 7.3$$

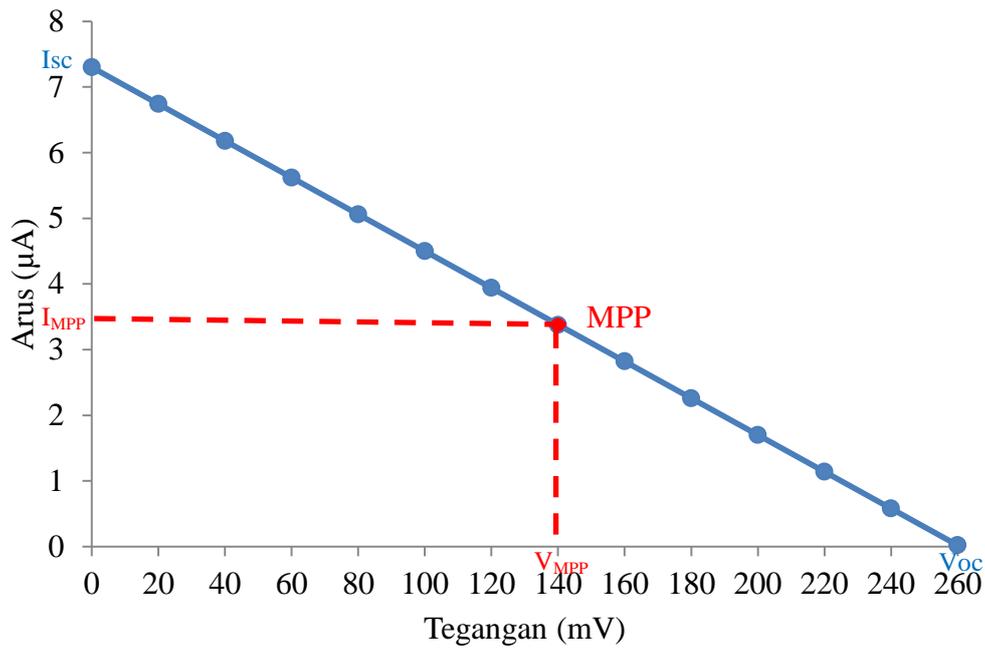
Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan V_{MPP} dan



I_{MPP} pada ketebalan 137 μm ditunjukkan dalam Tabel 5.3. Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.9.

Tabel 5. 3. Hasil Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} DSSC Ketebalan 137 μm

Tegangan (mV)	Arus (μA)	Daya Maksimal (nW)
0	7.3	0
20	6.74	134.8
40	6.18	247.2
60	5.62	337.2
80	5.06	404.8
100	4.5	450
120	3.94	472.8
140	3.38	473.2
160	2.82	451.2
180	2.26	406.8
200	1.7	340
220	1.14	250.8
240	0.58	139.2
260	0.02	5.2



Gambar 5. 9. Grafik Karakteristik I-V Pada Ketebalan 137µm

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 5.3 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada sel dengan ketebalan 137 µm yaitu V_{MPP} sebesar 140 mV dan I_{MPP} sebesar 3.38 µA. Kemudian dicari FF (*fill factor*) menggunakan persamaan 2.1 dan daya maksimum (P_{max}) menggunakan persamaan 2.2 dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{140 \times 3.38}{260 \times 7.3} = \frac{473.2}{1898} = 0,249$$

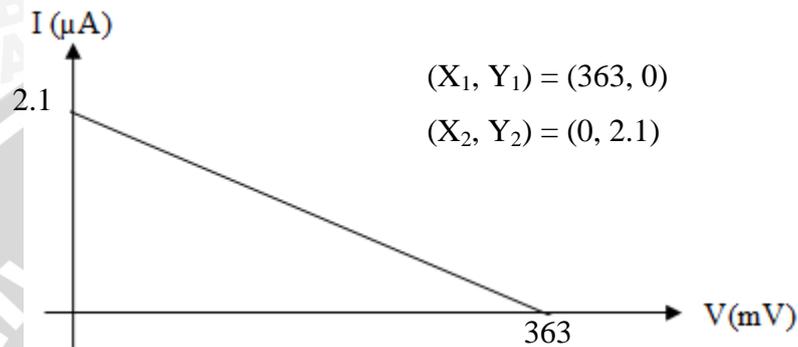
$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 1898 \times 0,249 \\ &= 473.2 \times 10^{-9} \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada DSSC dengan menggunakan TiO_2 dengan ketebalan 137 µm, didapatkan FF sebesar 0.249 dan daya maksimum (P_{max}) sebesar 473.2×10^{-9} watt.

B. Hasil Pengujian Ketebalan 284 μm

Pada DSSC dengan ketebalan 284 μm , didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 363 mV dan I_{sc} sebesar 2.1 μA . Hasil pengukuran V_{oc} dan I_{sc} pada DSSC dengan ketebalan 284 μm tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.

$$V_{oc} = 363 \text{ mV} \quad ; \quad I_{sc} = 2.1 \text{ } \mu\text{A}$$



$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{2.1 - 0}{0 - 363} = -0,0057$$

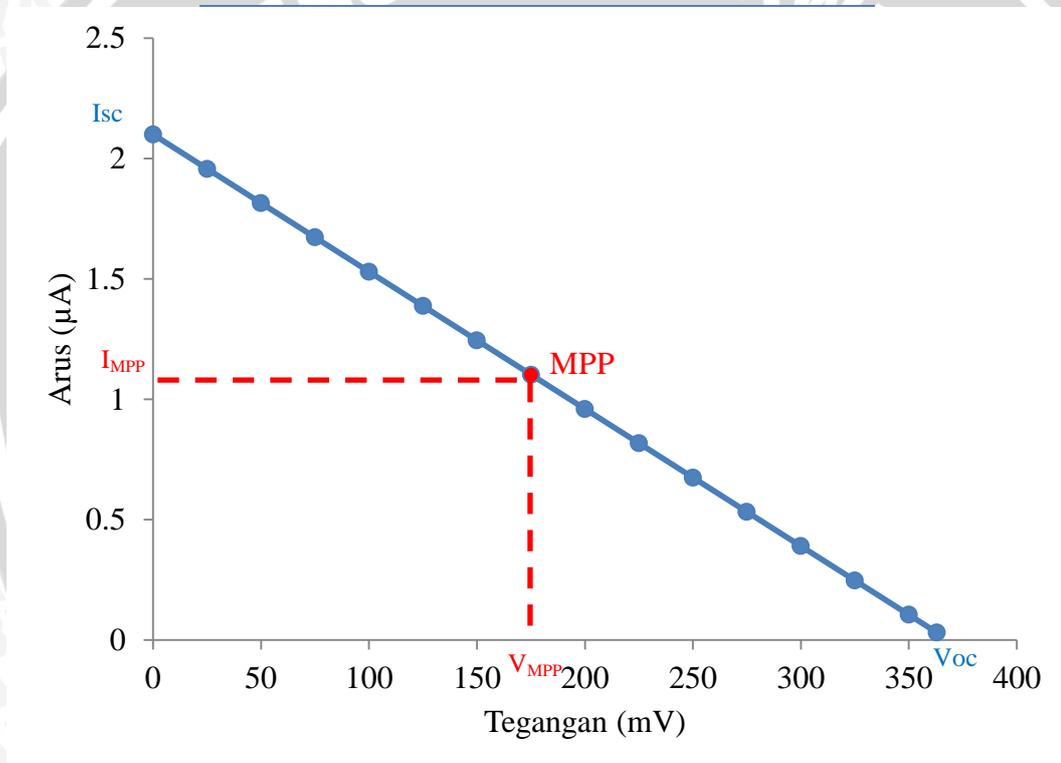
$$y = -0,0057x + 2.1$$

Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada ketebalan 284 μm ditunjukkan dalam Tabel 5.4. Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.10.

Tabel 5. 4. Hasil Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} DSSC Ketebalan 284 μm

Tegangan (mV)	Arus (μA)	Daya Maksimal (nW)
0	2.1	0
25	1.9575	48.9375
50	1.815	90.75
75	1.6725	125.4375
100	1.53	153
125	1.3875	173.4375

150	1.245	186.75
175	1.1025	192.9375
200	0.96	192
225	0.8175	183.9375
250	0.675	168.75
275	0.5325	146.4375
300	0.39	117
325	0.2475	80.4375
350	0.105	36.75
363	0.0309	11.2167



Gambar 5. 10. Grafik Karakteristik I-V Pada Ketebalan 284 μm

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 5.4 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada sel dengan ketebalan 284 μm yaitu V_{MPP} sebesar 175 mV dan I_{MPP} sebesar 1.1025 μA. Kemudian dicari FF (*fill factor*) menggunakan persamaan 2.1 dan daya maksimum (P_{max}) menggunakan persamaan 2.2 dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{175 \times 1.1025}{363 \times 2.1} = \frac{192.937}{762.3} = 0.253$$

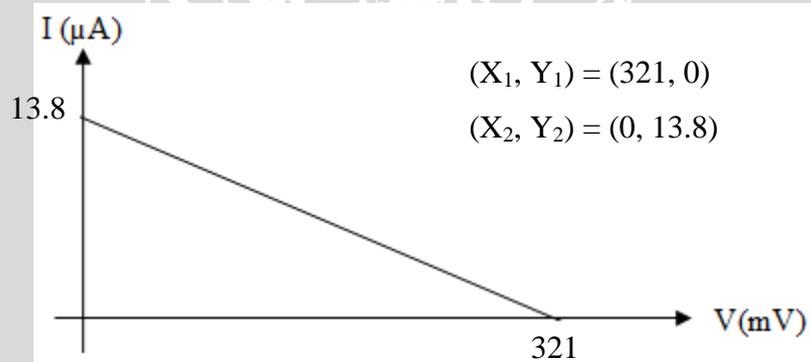
$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 762.3 \times 0.243 \\ &= 192.937 \times 10^{-9} \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada DSSC dengan menggunakan TiO_2 dengan ketebalan 284 μm , didapatkan FF sebesar 0.253 dan daya maksimum (P_{max}) sebesar 192.937×10^{-9} watt.

C. Hasil Pengujian Ketebalan 292 μm

Pada DSSC dengan ketebalan 292 μm , didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 321 mV dan I_{sc} sebesar 13.8 μA . Hasil pengukuran V_{oc} dan I_{sc} pada sel dengan ketebalan 292 μm tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.

$$V_{oc} = 321 \text{ mV} \quad ; \quad I_{sc} = 13.8 \mu\text{A}$$



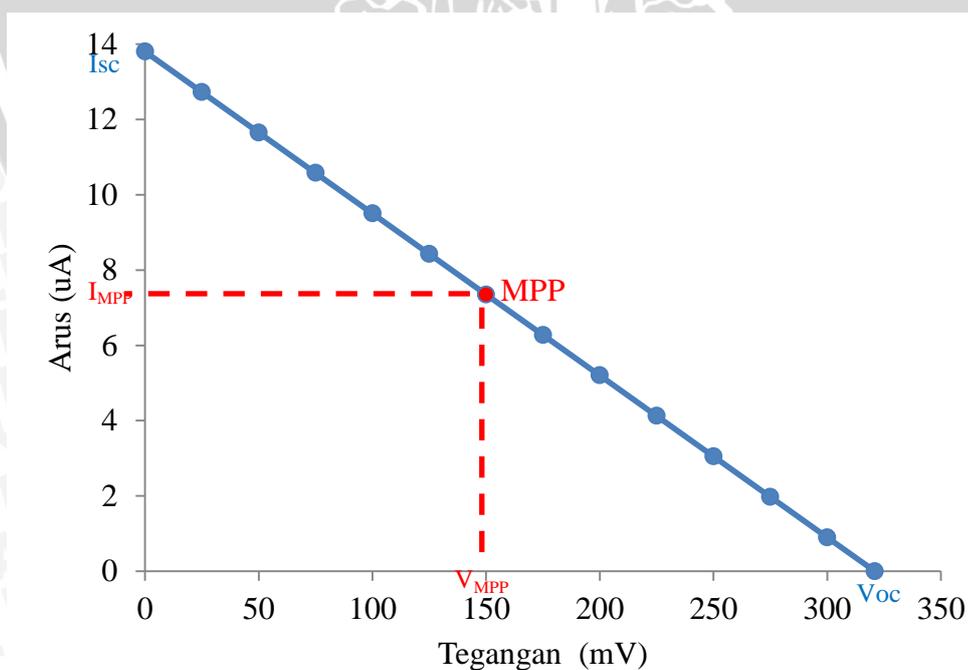
$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{13.8 - 0}{0 - 321} = -0,043$$

$$y = -0,043x + 13.8$$

Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada ketebalan 292 μm ditunjukkan dalam Tabel 5.5. Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.11.

Tabel 5. 5. Hasil Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} DSSC Ketebalan 284 μm

Tegangan (mV)	Arus (μA)	Daya Maksimal (nW)
0	13.8	0
25	12.725	318.125
50	11.65	582.5
75	10.575	793.125
100	9.5	950
125	8.425	1053.125
150	7.35	1102.5
175	6.275	1098.125
200	5.2	1040
225	4.125	928.125
250	3.05	762.5
275	1.975	543.125
300	0.9	270
321	0.0003	0.0963



Gambar 5. 11. Grafik Karakteristik I-V pada Ketebalan 292 μm

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 5.5 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada sel dengan ketebalan 292 μm yaitu V_{MPP} sebesar 150 mV dan I_{MPP} sebesar 7.35 μA . Kemudian dicari FF (*fill factor*) menggunakan persamaan 2.1 dan daya maksimum (P_{max}) menggunakan persamaan 2.2 dengan cara sebagai berikut:

$$\text{FF} = \frac{V_{\text{mpp}} \times I_{\text{mpp}}}{V_{\text{oc}} \times I_{\text{sc}}} = \frac{150 \times 7.35}{321 \times 13.8} = \frac{1102.5}{4429.8} = 0,248$$

$$\begin{aligned} P_{\text{max}} &= V_{\text{oc}} \times I_{\text{sc}} \times \text{FF} \\ &= 4429.8 \times 0,248 \\ &= 1102.5 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pada DSSC dengan menggunakan TiO_2 dengan ketebalan 284 μm , didapatkan FF sebesar 0.248 dan daya maksimum (P_{max}) sebesar 1102.5×10^{-9} watt.

Dari hasil pengujian DSSC dengan ketebalan TiO_2 , didapatkan hasil keseluruhan seperti ditunjukkan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5. 6. Hasil Pengujian DSSC Variasi Ketebalan TiO_2

Ketebalan (μm)	Voc (mV)	Isc (μA)	Pmax (W)
137	260	7.3	456.25×10^{-9}
284	363	2.1	192.937×10^{-9}
292	321	13.8	1102.5×10^{-9}

Hasil pengujian variasi ketebalan TiO_2 pada Tabel 5.6, menunjukkan bahwa DSSC dengan ketebalan paling besar (292 μm) menghasilkan Voc, Isc paling besar, dan daya maksimum paling besar yaitu sebesar 321 mV, 13.8 μA , dan 1102.5×10^{-9} Watt.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

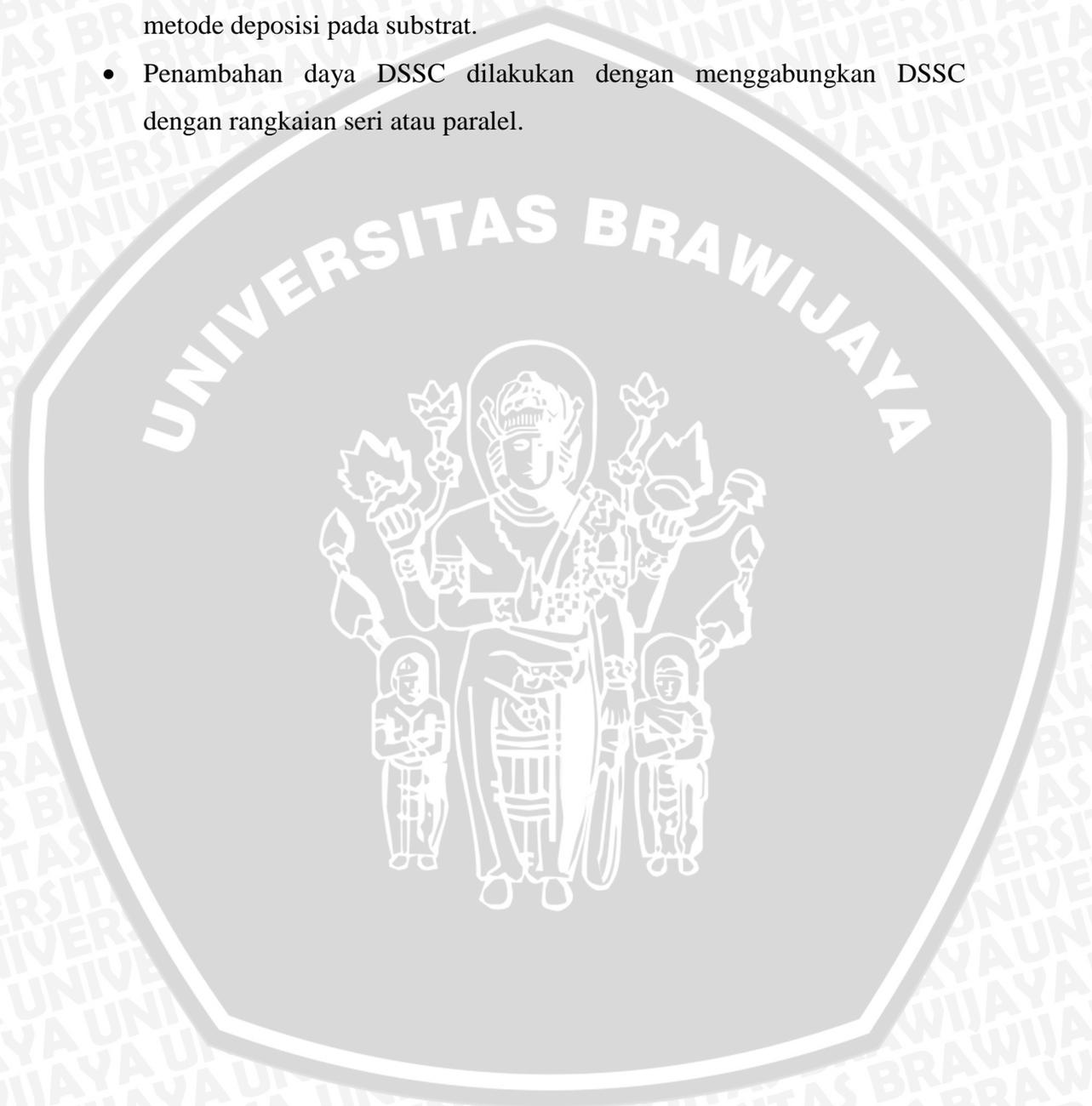
Berdasarkan hasil pengujian Ketebalan TiO₂ dan pengujian DSSC yang telah dilaksanakan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. DSSC telah berhasil dirancang dan diuji dengan 3 variasi ketebalan lapisan masker. 1 lapisan masker menghasilkan 137 μm , 2 lapisan masker menghasilkan 284 μm dan 3 lapisan masker menghasilkan 292 μm .
2. Ketebalan 137 μm menghasilkan Voc 260 mV, Isc 7.3 μA dan daya maksimal 456.25×10^{-9} watt. Ketebalan 284 μm menghasilkan Voc 363 mV, Isc 2.1 μA dan daya maksimal 184.975×10^{-9} watt. Ketebalan 292 μm menghasilkan Voc 321 mV, Isc 13.8 μA dan daya maksimal 1008×10^{-9} watt.
3. Pada gambar hasil pengukuran ketebalan, keretakan dimungkinkan karena proses *firing* dengan suhu 450° C selama 30 menit. Tidak menyatunya kaca dengan pasta dimungkinkan karena pada proses deposisi dilakukan yang kurang merata penekannannya dan pada kaca yang belum steril dari partikel.
4. Pada pengujian yang telah dilakukan tegangan terbesar yaitu pada ketebalan 284 μm menghasilkan tegangan 363 mV, arus dan daya keluaran terbesar yaitu pada ketebalan 292 μm menghasilkan arus 13.8 μA daya 1008×10^{-9} watt.
5. Berdasarkan hasil pengujian pengaruh ketebalan TiO₂ ditunjukkan bahwa terdapat indikasi yang mempengaruhi daya luaran DSSC yaitu: semakin tebal TiO₂ maka semakin banyak *dye* yang terikat sehingga foton yang terserap semakin banyak maka menghasilkan daya semakin tinggi. Kedua, semakin tebal TiO₂ maka difusi elektron menuju elektroda semakin jauh sehingga terjadi rekombinasi dan mengurangi daya luaran DSSC.

B. Saran

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- DSSC yang telah dirancang dan diuji dapat dilakukan dengan variasi metode deposisi pada substrat.
- Penambahan daya DSSC dilakukan dengan menggabungkan DSSC dengan rangkaian seri atau paralel.



DAFTAR PUSTAKA

- A. P. Uthirakumar. 2011. *Fabrication of ZnO Based Dye Sensitized Solar Cells*. Nanoscience Centre for Optoelectronics and Energy Devices, Sona College of Technology.
- Cahen, David. 2004. Review Articles: Physical Chemical Principles of Photovoltaic Conversion with Nanoparticulate, Mesoporous DSSC. *J. P. Chem. B*, Vol.108.
- Ding, I-Kang, dkk. 2010. *Deposition of Hole-transport Materials in Solid-state Dye-sensitized Solar Cells by Doctor-blading*. Elsevier. Organic Electronics vol. 11.
- Kay, A. Grätzel, M.. 1996. *Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder*. Solar Energy Materials & Solar Cells.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012. *Kajian Indonesia Energy Outlook*. Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Manan, S. 2009. *Energi Matahari Sumber Energi Alternatif yang Effisien, handal dan ramah lingkungan di Indonesia*, Program Diploma III Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang: tidak diterbitkan.
- Maulana, E., Pramono, S., Fanditya, D., Julius, M. 2014. *Effect of Chlorophyll Concentration Variations from Extract of Papaya Leaves on Dye-Sensitized Solar Cell*. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, Electrical Engineering. 2(10): 388.
- Mital, Gupta. 2011. *A Review of TiO₂ Nanoparticles*. Chinese Science Bulletin. Vol. 56. No. 16.
- Nuryadi. Ratno, dkk. 2012. *Fabrikasi Sel Surya Tersensitasi Zat Warna Bebasis Semikonduktor TiO₂ dengan Metode Elektrofosis*. Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta.
- Pasquarelli, Robert, dkk. 2011. *Solution Processing of Transparent Conductors: From Flask to Film*. Chemical Society Reviews.

- Pramono, S., Maulana, E., Prayogo, A., Djatmika, R. 2014. Characterization of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Based on Chlorophyll Dye. *International Journal of Applied Engineering Research*. vol. 23 (3).
- Pramono, S., Maulana, E., Utomo T. 2013. Organic Solar Cell based on Extraction of Papaya (*Carica papaya*) and Jatropha (*Ricinus communis*) leaves in DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). *Proceeding of International Conf. on Edu. Tech and Science*: 248-251.
- S.Wilman, D. Fajarisandi, M. Aditia. 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik- Inorganik*. Penghargaan PT. Rekayasa Industri Penelitian Bidang Energi. Jakarta: tidak diterbitkan.
- Smestad, G. Grätzel, M.. 1998. *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter*. *Journal of Chemical Education* Vol. 75 No. 6
- Yum. Jun-Ho, dkk. 2005. *Electrophoretically deposited TiO₂ photo-electrodes for use in flexible dye-sensitized solar cells*. *Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry* 173.

