

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala petunjuk dan nikmat-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Kecepatan dan Lama Putaran Deposisi Titanium Dioksida (TiO_2) Terhadap Daya Keluaran *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)* dengan Menggunakan Metode *Spin Coating*” ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- Ayah Imron Rosyidi, Ibu Sitti Safiatu R selaku orang tua penulis atas segala inspirasi, nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya didalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Kedua saudara kandung Rofiqof Fitri A dan Akhmad Syahirul A,
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc selaku Dosen Pembimbing dan Bapak Eka Maulana, ST., MT., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi,
- Ibu Ir. Nurussa'adah, MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama perkuliahan,
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku Dosen Penasehat Akademik atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama perkuliahan,
- Seluruh dosen pengajar dan staff recording Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,

- Teman – teman “penjaga” HME, Cilik, Muel, Swaraka, Rosyid, Londho, Opek, Yogi, Agung, Bimo, Yanto, Tian, Doni, Angga, Tokir, Topan, Harfin. Terima kasih atas segala bantuan dan semangat yang telah diberikan.
- Teman – teman Probinmaba 2013, Keynan, Bebek, Firman, Dedy, Jenglot, Tesu dan lainnya. Terima kasih atas kerja sama, niat, semangat, pengorbanan serta kebersamaan yang telah dilalui.
- Suharti Hajar, terima kasih atas semua yang diberikan.
- Saudara - saudari Inverter 2011 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama 4,5 tahun ini.
- Keluarga Besar Laboratorium Sistem Digital atas segala pengalaman, kebersamaan dan bantuan selama menjadi asisten.
- Laboratorium Elektronika yang menyediakan tempat bagi penulis untuk mengerjakan skripsi.
- Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Seluruh teman-teman serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satu-persatu, terimakasih banyak atas bantuan dan dukungannya

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
1 BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)	5
2.2 Performansi Sel Surya	5
2.3 Prinsip Kerja <i>DSSC</i>	7
2.4 Material <i>DSSC</i>	8
2.4.1 Substrat	8
2.4.2 Nanopartikel TiO_2 (<i>Titanium(IV) oxide</i>)	9
2.4.3 <i>Dye</i>	10
2.4.4 Elektrolit	11
2.4.5 <i>Counter Electrode</i>	11
2.5 Fabrikasi <i>DSSC</i>	12
2.6 Metode Deposisi	12
2.7 <i>Spectrophotometer UV-Visible</i>	14
2.8 <i>Magnetic Stirrer</i> dan <i>Magnetic Stir Bar</i>	15
2.9 Pelarut	15
2.10 <i>Scale</i>	16
2.11 <i>Furnace</i>	16
2.12 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	17
2.13 Lampu Merkuri	18
3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19

3.1	Alat dan Bahan.....	19
3.2	Perancangan dan Desain.....	20
3.3	Persiapan Material.....	20
3.3.1	Persiapan Substrat.....	20
3.3.2	Pembuatan Larutan Elektrolit.....	21
3.3.3	Pembuatan Larutan <i>Dye</i>	21
3.3.4	Pembuatan Pasta TiO ₂	22
3.4	Metode Deposisi.....	23
3.5	Perendaman TiO ₂ dalam Larutan <i>Dye</i>	24
3.6	Pembuatan <i>Counter Electrode</i>	24
3.7	Pemberian Larutan Elektrolit.....	25
3.8	Perakitan <i>DSSC</i>	25
3.9	Perlakuan Sampel <i>DSSC</i>	26
3.10	Variabel Output dan Pengukuran.....	26
4	BAB IV HASIL DAN ANALISIS	29
4.1	Hasil Pengujian Absorpsi Klorofil (<i>Dye</i>).....	29
4.2	Hasil Pengujian Permukaan dan Ketebalan TiO ₂	29
4.3	Hasil Pengujian Tegangan dan Arus terhadap Kuat Pencahayaan.....	33
4.3.1	Hasil Pengujian Tegangan terhadap Kuat Pencahayaan.....	33
4.3.2	Hasil Pengujian Arus terhadap Kuat Pencahayaan.....	36
4.4	Hasil Pengujian Karakteristik <i>DSSC</i>	39
4.4.1	Hasil Pengujian Karakteristik <i>DSSC</i> dengan Variasi Waktu Putaran <i>Spin Coating</i>	39
4.4.2	Hasil Pengujian Karakteristik <i>DSSC</i> dengan Variasi Kecepatan Putar <i>Spin Coating</i>	46
	BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
	DAFTAR PUSTAKA	57
	LAMPIRAN	59
	Lampiran 1.....	60
	Lampiran 2.....	62
	Lampiran 3.....	68
	Lampiran 4.....	77

Lampiran 5.....	86
Lampiran 6.....	89
Lampiran 7.....	93
Lampiran 8.....	98
Lampiran 9.....	103
Lampiran 10.....	106



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur umum <i>DSSC</i>	5
Gambar 2.2	Karakteristik kurva <i>I-V</i> pada sel surya.....	6
Gambar 2.3	Prinsip kerja dan level energi <i>DSSC</i>	8
Gambar 2.4	Kaca <i>TCO Indium Tin Oxide</i>	9
Gambar 2.5	<i>Titanium (IV) Oxide</i>	10
Gambar 2.6	Struktur Berlapis <i>DSSC</i>	12
Gambar 2.7	Variasi Metode Deposisi. Sumber : Pasquarelli, (2011: 5417).	13
Gambar 2.8	Spectrophotometer UV-VIS tipe UV-1800.....	15
Gambar 2.9	Magnetic Stirrer (Kiri) dan Magnetic Stir Bar (Kanan). Sumber: Laboratorium Elektronika Teknik Elektro FTUB.	15
Gambar 2.10	Ethanol Pro Analytic (PA) 98%.	16
Gambar 2.11	Digital Scale OHAUS CL Series.....	16
Gambar 2.12	Furnace Vulcan A-550.....	17
Gambar 2.13	Scanning Electron Microscope and Display SEM.	18
Gambar 2.14	Karakteristik lampu merkuri dengan panjang gelombang 18	
Gambar 3.1	a) langkah-langkah perancangan <i>DSSC</i> , b) langkah-langkah 19	
Gambar 3.2	Struktur Berlapis <i>DSSC</i>	20
Gambar 3.3	(a) tumbukan daun papaya, (b) proses homogenisasi klorofil dengan ethanol, dan (c) proses penyaringan larutan ekstraksi.	22
Gambar 3.4	Skema Tahapan <i>Spin Coating</i>	23
Gambar 3.5	Pendeposisian TiO_2 Pada Substrat.....	23
Gambar 3.6	(a) proses <i>firing</i> dan (b) hasil Pasta TiO_2 setelah melalui proses <i>firing</i>	24
Gambar 3.7	Perendaman kaca <i>TCO</i> yang dilapisi TiO_2 pada larutan <i>dye</i>	24
Gambar 3.8	<i>Counter electrode</i> yang dibuat dengan melapisi karbon pada sisi konduktif kaca <i>TCO</i>	25
Gambar 3.9	Kaca yang telah ditetesi larutan elektrolit (kiri) dan kaca yang sudah terlapisi karbon (kanan).....	25
Gambar 3.10	Hasil perakitan <i>DSSC</i>	26
Gambar 3.11	Rangkaian Pengukuran V_{oc} (kiri) dan Rangkaian Pengukuran I_{sc} (kanan) 27	
Gambar 4.1	Grafik Tingkat Absorpsi Klorofil pada daun papaya.....	29
Gambar 4.2	Hasil pengujian permukaan TiO_2 pada variasi waktu putaran 30	
Gambar 4.3	Hasil pengujian permukaan TiO_2 pada variasi waktu putaran 31	

Gambar 4.4	Hasil pengujian ketebalan TiO ₂ pada variasi kecepatan putaran.....	32
Gambar 4.5	Hasil pengujian ketebalan TiO ₂ pada variasi kecepatan putaran.....	32
Gambar 4.6	Grafik pengujian tegangan variasi waktu putaran <i>spin coating</i>	34
Gambar 4.7	Grafik pengujian tegangan variasi kecepatan putar <i>spin coating</i>	35
Gambar 4.8	Grafik pengujian arus variasi waktu putaran <i>spin coating</i>	36
Gambar 4.9	Grafik pengujian arus variasi kecepatan putar <i>spin coating</i>	38
Gambar 4.10	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil pengujian <i>V_{OC}</i> dan <i>I_{SC}</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 5 menit.....	40
Gambar 4.11	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i>	41
Gambar 4.12	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil pengujian <i>V_{OC}</i> dan <i>I_{SC}</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 10 menit.....	42
Gambar 4.13	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 10 menit.....	43
Gambar 4.14	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil pengujian <i>V_{OC}</i> dan <i>I_{SC}</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 15 menit.....	44
Gambar 4.15	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 15 menit.....	45
Gambar 4.16	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil pengujian <i>V_{OC}</i> dan <i>I_{SC}</i> pada variasi kecepatan putar <i>spin coating</i> 500 rpm.	46
Gambar 4.17	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada kecepatan putar <i>spin coating</i> 500 rpm.....	47
Gambar 4.18	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil pengujian <i>V_{OC}</i> dan <i>I_{SC}</i> pada variasi kecepatan putar <i>spin coating</i> 1000 rpm.	48
Gambar 4.19	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada kecepatan putar <i>spin coating</i> 1000 rpm.....	49
Gambar 4.20	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil pengujian <i>V_{OC}</i> dan <i>I_{SC}</i> pada variasi kecepatan putar <i>spin coating</i> 1500 rpm.	50
Gambar 4.21	Grafik karakteristik hubungan <i>I-V</i> berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada kecepatan putaran <i>spin coating</i> 1500 rpm	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Alat dan Bahan.....	20
Tabel 4.1	Pengujian tegangan variasi waktu putaran <i>spin coating</i>	33
Tabel 4.2	Pengujian tegangan variasi kecepatan putar <i>spin coating</i>	35
Tabel 4.3	Pengujian arus variasi waktu putaran <i>spin coating</i>	36
Tabel 4.4	Pengujian arus variasi kecepatan putar <i>spin coating</i>	37
Tabel 4.5	perbandingan tegangan dan arus pada variasi kecepatan putaran <i>spin coating</i> 1000 rpm.....	39
Tabel 4.6	Perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 5 menit.	40
Tabel 4.7	Perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 10 menit.....	42
Tabel 4.8	Perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada variasi waktu putaran <i>spin coating</i> 15 menit.....	45
Tabel 4.9	Perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada kecepatan putar <i>spin coating</i> 500 rpm. 47	
Tabel 4.10	Perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada kecepatan putaran <i>spin coating</i> 1000 rpm	49
Tabel 4.11	Perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada kecepatan putaran <i>spin coating</i> 1500 rpm	51
Tabel 4.12	Hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada variasi lama waktu putaran <i>spin coating</i>	52
Tabel 4.13	Hasil perhitungan karakterisasi <i>DSSC</i> pada variasi kecepatan putaran <i>spin coating</i>	52

RINGKASAN

Abdul Harits Muzakki Alhawary, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2016, Perancangan *DSSC* Menggunakan Metode Deposisi *Spin Coating* Pada TiO_2 Dengan Dye Berbahan Ekstrak Klorofil Daun Pepaya, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc., dan Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.

DSSC merupakan sumber energi alternatif yang murah dan mudah dalam proses fabrikasinya seiring dengan kebutuhan energi fosil yang semakin meningkat. Salah satu faktor yang dapat meningkatkan karakteristik *DSSC* adalah metode deposisi TiO_2 pada substrat yang umumnya adalah metode *doctor blading* dan *spin coating*. Namun pada penggunaannya, metode *spin coating* lebih banyak memiliki keuntungan dibandingkan *doctor blading*.

Dalam penelitian ini, dirancang *DSSC* dengan menggunakan metode deposisi *spin coating* pada lapisan TiO_2 . Rancangan *DSSC* terdiri atas kaca *TCO* dilapisi pasta TiO_2 dan telah direndam dalam ekstraksi klorofil yang berfungsi sebagai anoda, larutan elektrolit, dan kaca *TCO* yang dilapisi karbon sebagai katoda, disusun dengan struktur berlapis. Pendeposisian TiO_2 pada kaca *TCO* dibagi menjadi variasi kecepatan putaran yaitu 500, 1000, dan 1500 rpm dengan lama putaran 10 menit serta variasi lama putaran yaitu 5, 10, 15 menit dengan kecepatan putaran 1000 rpm. Pengujian absorbansi, pengujian ketebalan, pengujian permukaan dan pengujian *DSSC* meliputi pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan serta pengujian karakterisasi keluaran *DSSC*.

Hasil perancangan ini, semakin besar kecepatan *spin coating* maka semakin tipis lapisan TiO_2 dan semakin lama waktu *spin coating* maka semakin homogen lapisan TiO_2 . Pengujian absorbansi atau penyerapan cahaya untuk *dye*, pada panjang gelombang 300 nm sampai 500 nm memiliki absorbansi sebesar 4(a.u). Pada pengujian ketebalan, lapisan paling tipis ditunjukkan pada variasi kecepatan 1500 rpm. Pada pengujian permukaan, lapisan yang paling homogen ditunjukkan pada variasi lama putaran 15 menit. Pengujian *DSSC* terhadap kuat pencahayaan dapat dihasilkan tegangan dan arus yang baik pada *DSSC* dengan variasi kecepatan putaran 1500 rpm. Pada pengujian karakterisasi *DSSC*, daya terbaik dihasilkan oleh variasi kecepatan putaran 1500 rpm juga.

Kata Kunci: TiO_2 , Fabrikasi *DSSC*, *Spin coating*, Karakterisasi *DSSC*.

SUMMARY

Abdul Harits Muzakki Alhawary, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2016, Perancangan DSSC Menggunakan Metode Deposisi *Spin Coating* Pada TiO_2 Dengan Dye Berbahan Ekstrak Klorofil Daun Pepaya, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc., dan Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.

DSSC is a source of alternative energy that is cheap and easy fabrication process in line with the needs of the growing fossil energy. One of the factors that can improve the characteristics of DSSC is a deposition method TiO_2 on a substrate which is generally a doctor blading method and spin coating. But in use, the spin coating method has more advantages than the doctor blading.

In this experiment, the fabrication of DSSC done using spin coating deposition method for coating the pasta TiO_2 . The design of DSSC covers TCO coated glass consisted of pasta TiO_2 and has been immersed in the extraction of chlorophyll that serves as an anode, an electrolyte solution, TCO coated glass and carbon as the cathode, prepared with a layered structure.. TiO_2 deposition on glass TCO divided into varying the rotational speed of 500, 1000, and 1500 rpm dengan long round of 10 minutes and a variety of long round is 5, 10, 15 minutes at 1000 rpm rotational speed. Examination performed is value of dye absorbance, thickness of TiO_2 layers, surface of TiO_2 layers and measure voltage and current output of DSSC from light luminance and output characterization of DSSC.

The result of this design, the greater the speed of spin coating, the more thin layer of TiO_2 and the longer time of spin coating, the more homogeneous layer of TiO_2 . Results absorbance or light absorption for the dye, at a wavelength of 300 nm to 500 nm has the absorbance of 4 (a.u). In the exam of thickness, the thinnest layer is shown at 1500 rpm speed variations. In testing the surface, the most homogeneous layer are shown in the variation of the old lap 15 minutes. Examination of DSSC against high luminance light have highest voltage and current output DSSC with variations in rotation speed of 1500 rpm. In DSSC characterization testing, highest output power generated by variations in rotation speed of 1500 rpm as well.

Keywords: TiO_2 , DSSC Fabrication, Spin coating, DSSC Characteristics.

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat. Energi yang selama ini merupakan salah satu sumber energi utama yaitu energi fosil, ketersediaannya sangat terbatas dan mulai menipis. Menurut *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun. 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 meningkat hingga mencapai lebih dari USD 400 juta seiring dengan peningkatan harga minyak dunia dan kecenderungan perilaku konsumsi yang tidak efisien (Kementerian ESDM, 2010).

Energi matahari merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan oleh manusia saat ini. Sebagian besar energi matahari diradiasikan sebagai panas. Indonesia sangat berpotensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima hampir diseluruh Indonesia sepanjang tahun. Masalah yang paling penting untuk merealisasikan sel surya sebagai sumber energi alternatif adalah efisiensi piranti sel surya dan biaya pembuatan (Trianiza dkk., 2009).

Seiring dengan perkembangan nanoteknologi, sel surya berbahan organik berhasil ditemukan yaitu *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)* oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991. Peningkatan efisiensi *DSSC* terus dikembangkan hingga berhasil mencapai nilai efisiensi sekitar 11% (Gratzel, 2007). *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)* atau sel surya tersensitasi zat warna merupakan salah satu jenis sel surya berbasis semikonduktor yang menggunakan fenomena fotoelektrokimia sebagai prinsip dasar untuk menghasilkan energi listrik. Berbeda dengan sel surya yang dikembangkan pada generasi sebelumnya, *DSSC* merupakan salah satu jenis sel surya organik dan cukup murah dalam proses fabrikasi jika dibandingkan dengan jenis sel surya lainnya (Hidayat dkk., 2014).

Dye pada *DSSC* terbuat dari ekstraksi daun tumbuhan yang mengandung pigmen klorofil yang berperan sebagai penangkap cahaya (foton). 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 absorbansi klorofil sangat berpengaruh pada panjang gelombang yang dapat diserap dan berpengaruh pada keluaran daya yang dihasilkan. Tingkat absorbansi klorofil sangat dipengaruhi oleh konsentrasi klorofil itu sendiri (Kumara, 2012).

Penggunaan metode deposisi pada *DSSC* mempengaruhi performansi dari *DSSC* itu sendiri. Metode deposisi yang sering digunakan pada pendeposisian lapisan TiO_2 adalah metode *doctor blading* dan *spin coating*. Metode tersebut adalah metode yang paling mudah dan murah untuk digunakan. Namun untuk mendapatkan performansi yang lebih baik, metode deposisi *spin coating* lebih diunggulkan dari pada metode deposisi *doctor blading* (Ekasari, 2013).

Keuntungan menggunakan metode deposisi *spin coating* adalah membuat lapisan homogen yang tipis, membuang objek besar pada proses pendeposisian, kestabilan yang lebih baik pada proses pendeposisian dibandingkan dengan metode *doctor blading* dan dapat menghemat material yang digunakan pada proses pendeposisian. Selain itu penggunaan metode deposisi *spin coating* digunakan untuk mendapatkan nilai arus yang sebanding dengan kecepatan putar deposisi dan kehomogenan lapisan TiO_2 yang sebanding dengan lama putaran deposisi. (Purwanto dkk., 2013)

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian untuk merancang sebuah *DSSC* menggunakan metode deposisi *spin coating* pada TiO_2 dengan *dye* berbahan ekstrak klorofil daun papaya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana hasil proses fabrikasi *DSSC* dengan menggunakan metode deposisi *spin coating*?
- 2) Bagaimana pengaruh kecepatan putar deposisi *spin coating* terhadap karakteristik keluaran *DSSC*?
- 3) Bagaimana pengaruh lama waktu putar deposisi *spin coating* terhadap karakteristik keluaran *DSSC*?

1.3 Ruang Lingkup

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal – hal yang berkaitan dengan alat dan bahan akan diberikan batasan sebagai berikut:

- 1) Klorofil yang digunakan adalah klorofil dari daun papaya.
- 2) Deposisi TiO_2 dilakukan dengan menggunakan metode *spin coating*.

- 3) Menggunakan dua variasi metode *spin coating*, yaitu:
 - a. Dengan lama putaran tetap yaitu 10 menit, variasi kecepatan putar deposisi TiO_2 500, 1000, dan 1500 rpm.
 - b. Dengan kecepatan putar tetap yaitu 1000 rpm, variasi lama putaran deposisi TiO_2 selama 5, 10, 15 menit.
- 4) Sumber cahaya yang digunakan dalam pengujian menggunakan lampu merkuri dan LED.
- 5) Suhu lampu merkuri dan LED dikondisikan hingga suhu lampu tidak melebihi 40°C .

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan hasil proses fabrikasi *DSSC* dengan menggunakan metode deposisi *spin coating*.
- 2) Menentukan pengaruh kecepatan putaran deposisi *spin coating* terhadap karakterisasi keluaran *DSSC*.
- 3) Menentukan pengaruh lama waktu putaran deposisi *spin coating* terhadap karakterisasi keluaran *DSSC*.

1.5 Manfaat

Manfaat penulisan ini adalah mengetahui proses fabrikasi *DSSC* dengan metode deposisi TiO_2 *spin coating* dengan variasi kecepatan putar dan lama waktu putaran deposisi, serta mengetahui pengaruh kecepatan putaran dan lama waktu putaran deposisi TiO_2 terhadap karakterisasi keluaran *DSSC*.



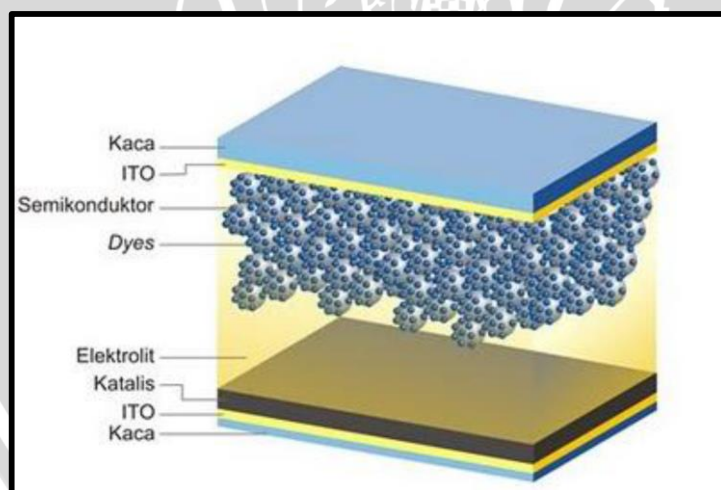
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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. Penelitian ini menarik dilakukan oleh para ilmuwan atau peneliti karena teknologi fabrikasi yang sederhana, biaya produksi yang murah dan ramah lingkungan, dan memiliki efisiensi konversi energi sebesar 10→11% (Sembiring, 2015).

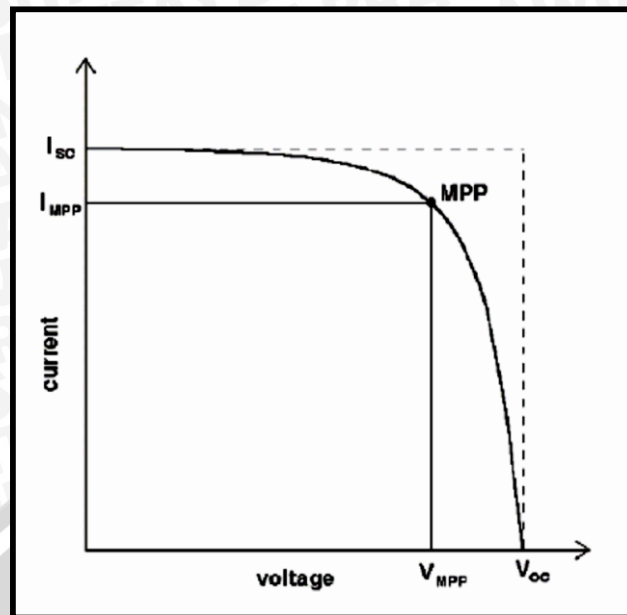
Secara umum DSSC dibentuk melalui mekanisme *photoelectrochemical*, di mana penyerapan cahaya matahari melalui pewarna tersensitisasi (*dye-sensitized*) seperti halnya klorofil pada proses fotosintesis daun. Proses pembangkitan dan transfer elektron terjadi melalui bahan semikonduktor yang memiliki pita energi yang lebar, umumnya TiO₂ sebagai fotoelektroda. Larutan elektrolit pasangan redoks I⁻/I₃⁻ sebagai media transport 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 ditunjukkan dalam Gambar 2.1



Gambar 2.1 Struktur umum DSSC.
Sumber: Hidayat dkk. (2014).

2.2 Performansi 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 hubungan arus dan tegangan (*I-V*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Karakteristik kurva I - V pada sel surya.

Ketika sel dalam kondisi *short-circuit* maka akan dihasilkan 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}) (Septina dkk., 2007 : 8). Titik pada kurva hubungan I - V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Setelah V_{OC} dan I_{SC} diketahui, kemudian dicari luasan maksimum dengan menggunakan persamaan 2-1 dan 2-2.

$$y = mx + C \quad (2-1)$$

dimana,

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (2-2)$$

dimana y merupakan nilai arus dan x merupakan nilai tegangan. Untuk C , merupakan nilai I_{SC} yang telah terukur. Nilai V_{MPP} dan I_{MPP} didapat dengan menggunakan hasil luasan terbesar menggunakan persamaan 2-1 dan 2-2.

Kemudian digunakan V_{MPP} dan I_{MPP} untuk mendapatkan *Fill Factor* (FF) dan daya maksimum (P_{MAX}), (Sembiring, 2015). *Fill Factor* (FF) atau faktor pengisian adalah pengertian dari seberapa penuh kurva hubungan I - V mendekati performansi sel surya ideal yang dalam hal tersebut MPP berada pada garis putus-putus. Untuk menentukan nilai *fill factor* dapat menggunakan persamaan 2-3,

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2-3)$$

Dengan menggunakan *Fill Factor* dapat ditentukan nilai maksimum daya dari sel surya menggunakan persamaan 2-4,

$$P_{MAX} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (2-4)$$

dengan demikian dapat menentukan nilai efisiensi sel surya (η) yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel surya (P_{MAX}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{cahaya}) sepaerti pada persamaan 2-5,

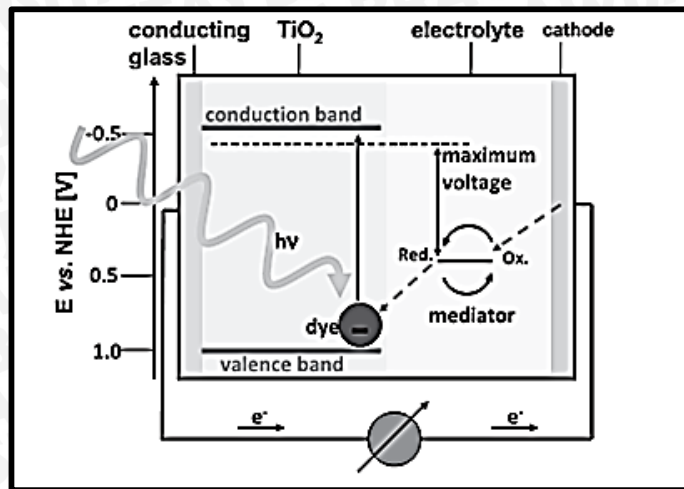
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% \quad (2-5)$$

nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu solar sel (Septina, 2007 : 9).

2.3 Prinsip Kerja DSSC

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. (Purwanto dkk., 2011). Gambar 2.3 menunjukkan prinsip kerja *dye-sensitized solar cell (DSSC)*



Gambar 2.3 Prinsip kerja dan level energi *DSSC*.

2.4 Material *DSSC*

Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) tersusun dari berbagai macam material penyusun. Material penyusun tersebut antara lain ialah substrat atau kaca *TCO*, nanopartikel TiO_2 (*Titanium(IV) oxide*), *dye*, larutan elektrolit, dan *counter electrode*.

2.4.1 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 mengalirnya muatan pada *DSSC*. Substrat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.4.

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 (Septina dkk., 2007 : 14).



Gambar 2.4 Kaca TCO *Indium Tin Oxide*.

Sumber: Laboratorium Elektronika Teknik Elektro FTUB

2.4.2 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 *chlor* 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 dan 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 terabsorpsi yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorpsi. 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 . TiO_2 dapat menyerap cahaya UV yang akan membantu memperpanjang panjang gelombang yang dapat diserap *DSSC*. (Nuryadi, 2012 : 4).

Salah satu TiO_2 yang mudah didapatkan merupakan produk dari *Sigma-Aldrich* dengan ukuran partikel sebesar ~ 21 nm yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 *Titanium (IV) Oxide*.

Sumber: Laboratorium Elektronika Teknik Elektro FTUB.

2.4.3 *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 *DSSC* yang memiliki nilai efisiensi yang tinggi sebesar 10% (Septina dkk., 2007).

Alternatif lain dengan menggunakan *dye* dari tumbuhan. Proses fotosintesis pada tumbuhan telah membuktikan adanya senyawa pada tumbuhan yang dapat digunakan sebagai *dye*, antara lain : antosianin, klorofil, dan xantofil. Didapatkan efisiensi konversi energi yang lebih baik pada turunan *dye* klorofil tersebut karena memiliki gugus *carboxylate* (Kumara, 2012).

Klorofil pada tumbuhan ada dua macam, yaitu klorofil a dan klorofil b. perbedaan kecil antara struktur kedua klorofil pada sel keduanya terikat pada protein. klorofil a

biasanya untuk sinar hijau biru. Sementara klorofil b untuk sinar kuning dan hijau. Struktur klorofil berbeda dari struktur karotenoid, masing-masing terdapat penataan selang-seling ikatan kovalen tunggal dan ganda. Pada klorofil, sistem ikatan yang berseling mengitari cincin porfirin, sedangkan pada karotenoid terdapat sepasang rantai hidrokarbon yang menghubungkan struktur cincin terminal. Sifat inilah yang memungkinkan molekul-molekul menyerap cahaya tampak demikian kuatnya, yakni bertindak sebagai pigmen. Sifat ini pulalah yang memungkinkan molekul-molekul menyerap energi cahaya yang dapat digunakan untuk melakukan fotosintesis (Santoso, 2004).

Pada tanaman tingkat tinggi ada 2 macam klorofil yaitu klorofil-a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) yang berwarna hijau tua dan klorofil-b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) yang berwarna hijau muda. Klorofil-a dan b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600-700 nm). Cahaya berwarna biru diserap oleh karotenoid. (Guttman, 1983).

2.4.4 Elektrolit

Elektrolit dalam *DSSC* berperan sebagai transport muatan dari *counter elektroda* ke *dye*. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit terdiri dari iodine (I-) dan *triiodide* (I_3^-) sebagai pasangan redoks, (Purwanto dkk., 2013). 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*.

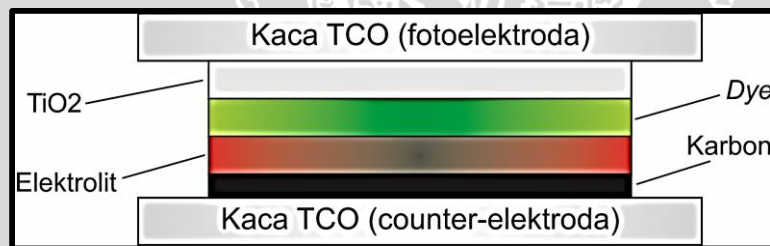
2.4.5 Counter Electrode

Counter elektroda pada *DSSC* berfungsi sebagai katalis pada proses fabrikasi *DSSC*. 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* (Septina dkk., 2007 : 17). Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain *DSSC* dengan menggunakan *counter electrode* karbon sebagai lapisan katalis (Gratzel, 2007). Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter electrode* karbon mempunyai keaktifan reduksi *triiodide* yang menyerupai elektroda platina.

2.5 Fabrikasi *DSSC*

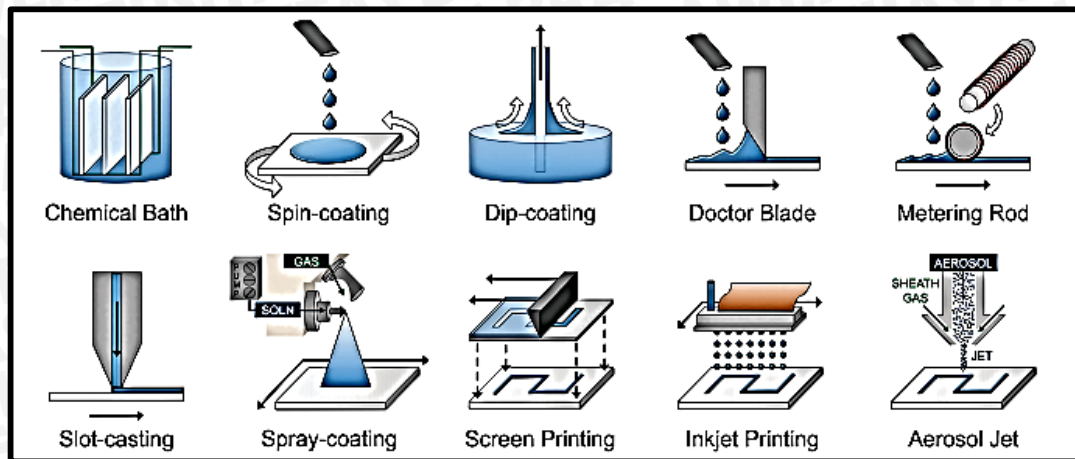
Cara yang paling umum dalam fabrikasi *DSSC* di laboratorium yaitu dengan menggabungkan dua kaca pada lapisan yang berbeda dengan struktur *sandwich*, sebagai substrat dan superstrat, yang salah satunya yaitu lapisan TiO_2 (dimana cahaya masuk) dan yang lainnya yaitu *counter electrode* yang dilapisi katalis contohnya platina. Untuk meminimalisasi biaya produksi pada skala massal, satu sel bisa dideposisikan secara langsung antara kaca dengan luas permukaan yang tinggi. Struktur berlapis *DSSC* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur Berlapis *DSSC*.
Sumber : Pramono dkk. (2013 : 14).

2.6 Metode Deposisi

Metode deposisi terdiri dari dua jenis yaitu *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, 2011: 5416). Berikut variasi metode yang digunakan dalam teknik deposisi film tipis dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Variasi Metode Deposisi.
Sumber : Pasquarelli, (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.
2. *Spin-Coating*, yaitu metode deposisi pelapisan cairan dimana pemerataan cairan dilakukan dengan cara memutar substrat. 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* yaitu 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 yaitu 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* yaitu metode yang sama seperti *Inkjet Printing*, *Aerosol Jet* menggunakan printer aerosol yang bisa mencetak hingga ukuran micrometer.

11. *Sputtering* yaitu metode deposisi yang menggunakan *sputtering chamber*, dimana di dalamnya terdapat gas argon yang dapat menumbuk obyek dan atom dari hasil tumbukan tersebut akan menuju atau menyatu pada substrat
12. *Molecular Beam Epitaxy* yaitu metode deposisi yang menggunakan *Molecular Beam Epitaxy (MBE) Chamber*, dimana *chamber* tersebut menggunakan panas sebagai penggerak molekul dan memiliki *high vacuum* untuk mengurangi kontaminasi.
13. *Glass Rod* yaitu metode deposisi yang menggunakan sendok atau pengaduk kaca yang langkahnya hamper sama seperti metode *doctor blading*.

Metode deposisi spin coating merupakan suatu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan ke atas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar dapat diperoleh endapan lapisan tipis di atas substrat. Kecepatan yang digunakan antara 1500 rpm hingga 6000 rpm dan waktu yang digunakan rata-rata 10 menit. Kecepatan putar *spin coating* mempengaruhi terhadap seberapa banyak *dye* yang dapat diserap TiO_2 . Semakin banyak *dye* yang diserap akan semakin besar arus yang dihasilkan oleh *DSSC*. Sedangkan lama putaran *spin coating* berpengaruh terhadap kehomogenan lapisan yang dibuat (Puwanto dkk. 2013).

2.7 Spectrophotometer UV-Visible

Spectrophotometer adalah sebuah instrumen yang mengukur jumlah cahaya dari panjang gelombang tertentu yang melewati sebuah media. Menurut hukum Beer, jumlah cahaya yang diserap oleh media sebanding dengan konsentrasi penyerapan material atau zat terlarut. Sehingga konsentrasi zat terlarut dalam suatu larutan berwarna dapat ditentukan di laboratorium dengan mengukur absorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang (sering disingkat sebagai λ) diukur dalam nm (Frankhauser, 2011).

Larutan baku dimasukkan dalam kuvet menggunakan mikropipet, kemudian kuvet tersebut diletakkan dalam *drive cell* untuk ditembak cahaya dan dihitung absorbansinya. Sama halnya dengan perlakuan terhadap larutan blangko. Hasil pembacaan dari larutan blangko dikurangi dengan hasil pembacaan larutan baku merupakan hasil pembacaan akhir yang terukur. Dalam penelitian ini digunakan *Spectrophotometer UV-VIS* tipe UV-1800 dari Shimadzu dan menguji klorofil pada panjang gelombang 300-800 nm. *Spectrophotometer UV-VIS* tipe UV-1800 dari Shimadzu ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Spectrophotometer UV-VIS tipe UV-1800.
Sumber : Lab. Farmasi – Kedokteran 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 2.9.



Gambar 2.9 Magnetic Stirrer (Kiri) dan Magnetic Stir Bar (Kanan).
Sumber: Laboratorium Elektronika Teknik Elektro FTUB.

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% yang ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Ethanol Pro Analytic (PA) 98%*.
Sumber: Laboratorium Elektronika Teknik Elektro FTUB.

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 2.11.



Gambar 2.11 *Digital Scale OHAUS CL Series*.
Sumber: Laboratorium Elektronika Teknik Elektro FTUB.

2.11 *Furnace*

Furnace digunakan untuk proses penempelan pasta TiO_2 pada kaca TCO yang membutuhkan pemanasan dengan temperature 450°C . *Furnace* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Furnace Vulcan A-550*.
Sumber: Laboratorium Elektronika Teknik Elektro FTUB.

2.12 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

SEM adalah alat untuk melihat dunia lain yang tak terlihat/kasat mata dari mikroskop ($1 \mu m = 10^{-6} m$) dan *nanospace* ($1 nm = 10^{-9} m$). Dengan menggunakan sinar elektron terfokus, *SEM* mengungkapkan tingkat detail dan secara kompleks dapat diakses dengan mikroskop cahaya. *SEM* dapat memperbesar objek dari sekitar 10 kali hingga 300.000 kali. Sebuah bar skala sering disediakan pada gambar *SEM*. Dari ukuran struktur yang sebenarnya dalam gambar dapat dihitung.

Pada dasarnya, cara *SEM* “melihat” pada permukaan dapat dibandingkan dengan orang yang sendirian pada ruangan gelap menggunakan obor untuk memindai objek pada sebuah dinding. Memindai dengan obor secara sistematis dari sisi ke sisi dan secara bertahap menuruni dinding, orang tersebut dapat membangun citra objek dalam memorinya. *SEM* menggunakan berkas elektron sebagai obor, detektor elektron sebagai mata, dan layar tampilan dan camera sebagai memori.

SEM menyediakan penggunaan yang kompeten dengan keuntungan melebihi mikroskop cahaya (LM) di tiga bidang utama:

1. Resolusi pada berbesaran yang tinggi.
2. *Depth of field*/topografi.
3. Mikroanalisis.

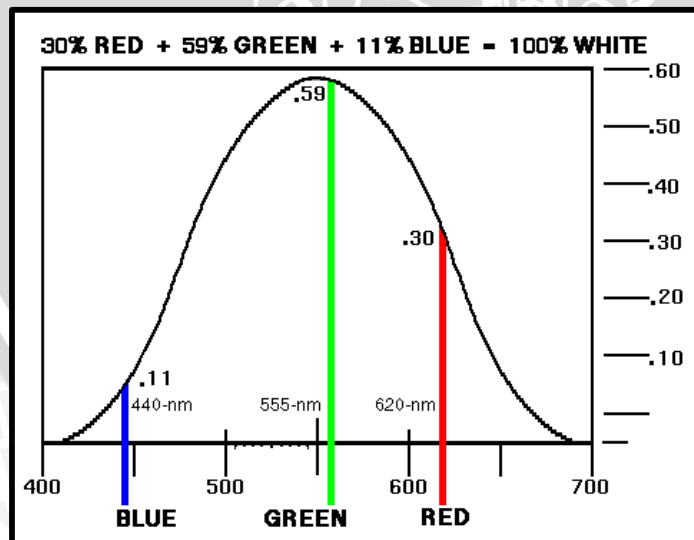
Pada penelitian ini digunakan *SEM Phenom G2 Pro* pada laboratorium Sentral Teknik Mesin UB yang ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Scanning Electron Microscope and Display SEM.
Sumber: Laboratorium Sentral Teknik Mesin UB.

2.13 Lampu Merkuri

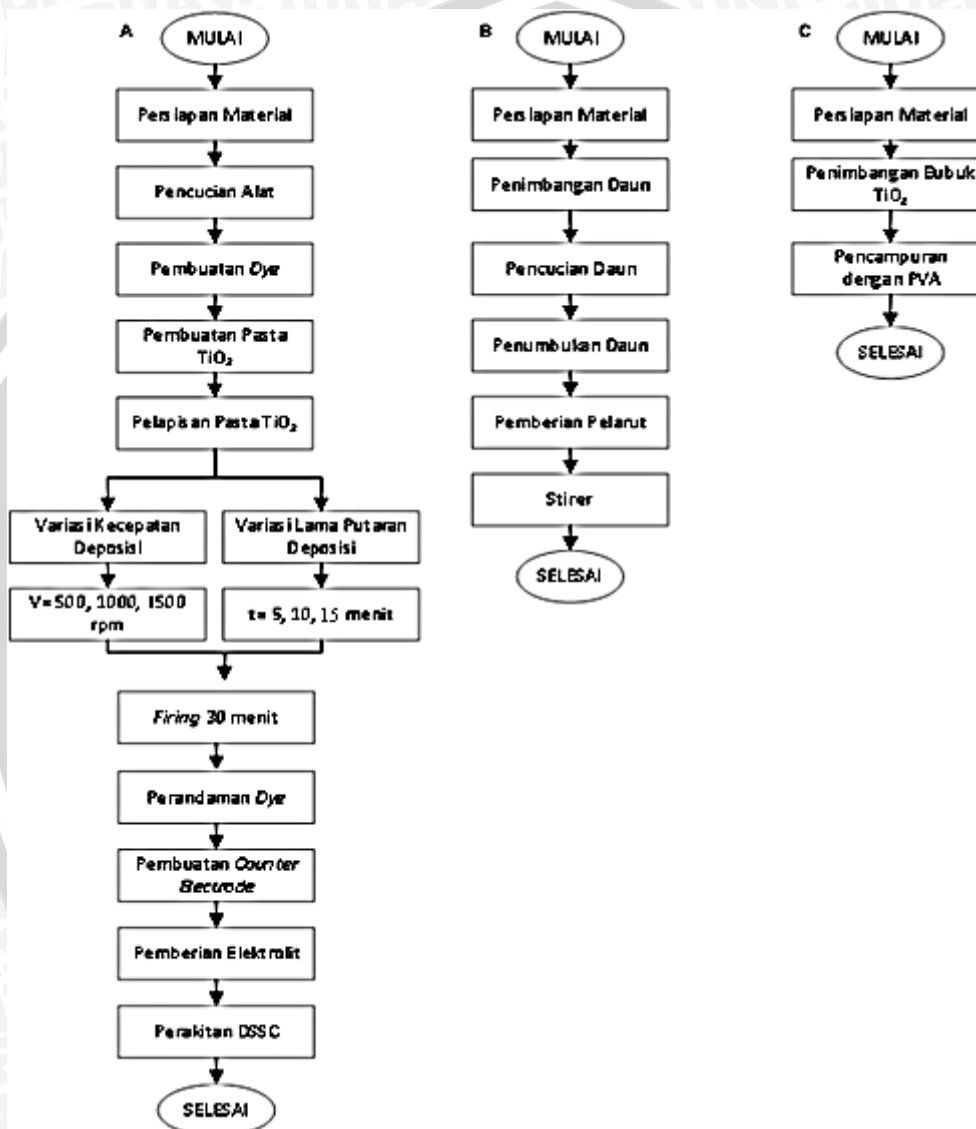
Lampu merkuri merupakan lampu dengan cahaya yang terang yang terbuat dari lampu tabung yang diisi dengan air raksa (merkuri). Lampu merkuri memiliki suhu yang tinggi disekitar lampu pada saat dinyalakan. Dibutuhkan waktu senggang sekitar 5 menit untuk menyalakan kembali lampu merkuri yang sudah dimatikan. Lampu merkuri memiliki karakteristik yang sama seperti halnya cahaya matahari atau UV pada panjang gelombang 400 nm hingga 600 nm. (Dorf, 1997:818) Karakteristik lampu merkuri ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Karakteristik lampu merkuri dengan panjang gelombang 400nm hingga 600 nm.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dibuat 6 buah solar sel organik atau *dye-sensitized solar cell* (DSSC) dengan menggunakan kecepatan dan lama putar deposisi yang berbeda. Diagram alur perancangan DSSC yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 a) langkah-langkah perancangan DSSC, b) langkah-langkah Pembuatan dye, c) langkah-langkah pembuatan pasta TiO₂

3.1 Alat dan Bahan

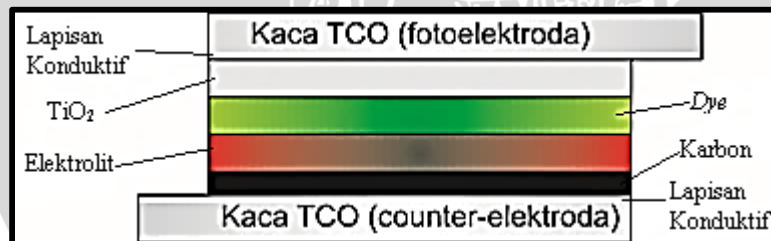
Dalam perancangan *Dye Sensitized Solar Cell* atau DSSC ini, diperlukan alat dan bahan yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan.

Alat	Bahan
1. Pinset	1. Akuades
2. <i>Beaker</i>	2. Aluminium foil
3. Pipet	3. Isolasi kertas
4. Spatula	4. Ethanol pa. 98%
5. <i>Furnace</i>	5. <i>Polyvinyl Alcohol (PVA)</i>
6. Neraca Ohaus	6. Potassium Iodide (KI)
7. <i>Magnetic stirrer</i>	7. Iodine Kristal (I ₂)
8. <i>Spin coater</i>	8. Acetonitrile
9. <i>Scanning Electron Microscope</i>	9. Daun papaya
10. Spektrofotometer UV-Visible	10. Kaca konduktif (TCO) jenis ITO (<i>Indium tin oxide</i>)
11. Digital Multimeter	
12. Lampu merkuri	
13. Sarung tangan	

3.2 Perancangan dan Desain

Dalam perancangan *Dye Sensitized Solar Cell* atau *DSSC* pada penelitian ini menggunakan struktur berlapis atau struktur *sandwich* yang terdiri dari dua kaca *TCO* dengan lapisan yang berbeda. Struktur berlapis atau struktur *sandwich* *DSSC* ditunjukkan dalam Gambar 3.2. Kaca *TCO* pertama atau pada bagian atas, berfungsi sebagai fotoelektroda yang terdiri dari lapisan pasta TiO₂ yang telah melalui proses *firing*, direndam dalam larutan *dye* dan ditetesi larutan elektrolit. Sedangkan untuk kaca *TCO* kedua atau pada bagian bawah, terdiri dari karbon yang berfungsi sebagai *counter electrode*.

Gambar 3.2 Struktur Berlapis *DSSC*.

3.3 Persiapan Material

3.3.1 Persiapan Substrat

Dalam penelitian ini digunakan kaca *TCO* dengan jenis *ITO (Indium Tin Oxide)* dari *Sigma-Aldrich* yang memiliki resistivitas permukaan sebesar 15-25 Ω /sq. Kaca *TCO* yang digunakan dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm² dan kemudian kaca *TCO* tersebut direndam dalam ethanol selama 10 menit. Perendaman tersebut berfungsi untuk mensterilkan kaca *TCO* dan menghilangkan materi yang dapat menambah nilai hambatan pada kaca *TCO*. Setelah perendaman selesai, kemudian kaca *TCO* dikeringkan agar ethanol pada kaca *TCO* menguap.

3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan *DSSC* adalah pasangan redoks iodide/triiodide dengan langkah-langkah pembuatan sebagai berikut :

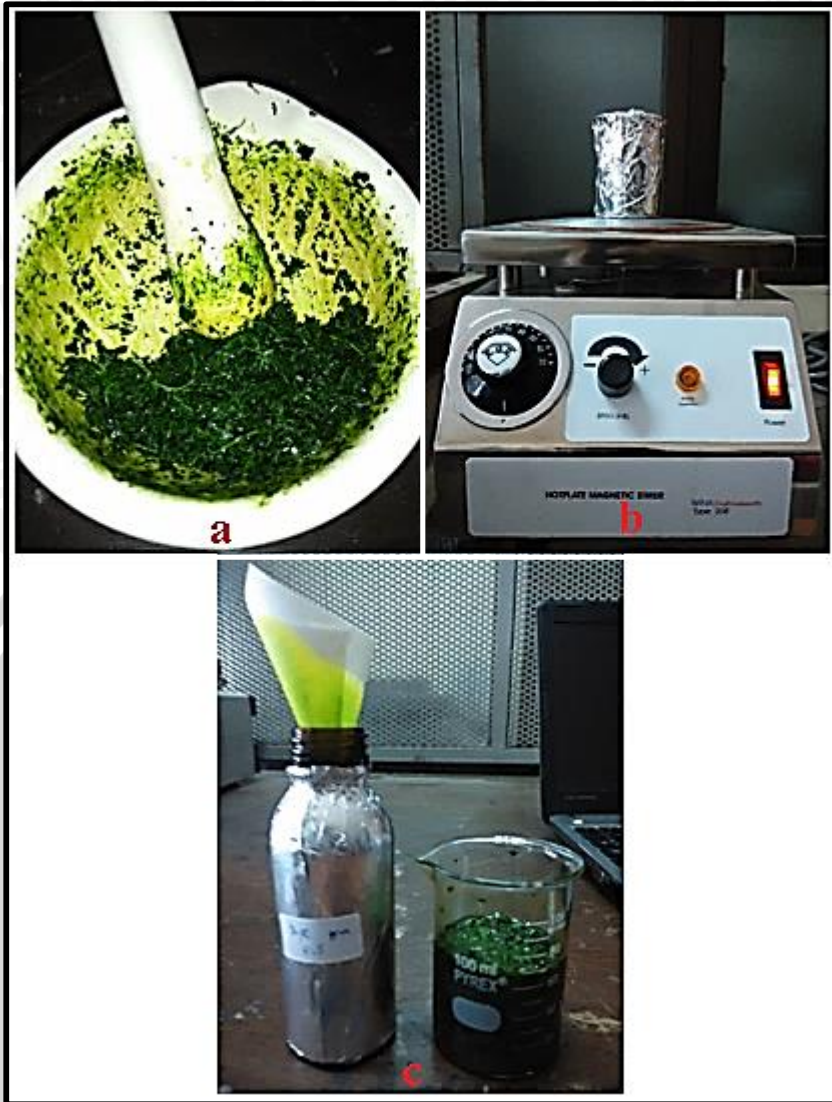
1. Mencampur 0,83 gram (0,5 M) Potassium Iodide (KI) dengan 1 ml aquades dan 9 ml acetonitrile.
2. Menambahkan 0,127 gram (0,05 M) Iodide (I_2) kedalam larutan tersebut dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit.
3. Menyimpan larutan elektrolit dalam botol gelap yang dilapisi dengan alumunium foil dan meletakkan pada tempat yang gelap.

3.3.3 Pembuatan Larutan Dye

Pada penelitian ini digunakan daun pepaya sebagai *dye* pada *DSSC* dikarenakan daun pepaya mudah untuk didapatkan dan diasumsikan daun pepaya memiliki kandungan klorofil yang tinggi sesuai dengan warna dari daun tersebut. Langkah-langkan pembuatan *dye* pada *DSSC* sebagai berikut:

1. Daun pepaya ditimbang dengan berat mencapai 30 gram.
2. Daun pepaya tersebut dipisahkan dengan tulang daunnya.
3. Daun pepaya yang sudah tidak ada tulang daunnya dicuci dengan aquades dan dikeringkan.
4. Daun pepaya ditumbuk pada cawan porselin sampai halus.
5. Memasukkan tumbukan daun pepaya kedalam 50 ml ethanol konsentrasi 98%.
6. Mengaduk daun pepaya yang telah dicampur dengan ethanol untuk melakukan proses homogenisasi yang menghasilkan ekstraksi klorofil dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kecepatan setengah putaran penuh.
7. Memasukkan ekstraksi klorofil ke dalam botol gelap yang dilapisi alumunium dan di diamkan selam 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi.
8. Menyaring ekstraksi dengan kertas saring dengan pori sebesar 1 nm untuk memisahkan dengan fisik daun dan menempatkan hasil saringan tersebut pada botol gelap yang dilapisi alumunium.

Tumbukan daun pepaya, proses homogenisasi klorofil dengan ethanol, dan proses penyaringan larutan ekstraksi ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 (a) tumbukan daun pepaya, (b) proses homogenisasi klorofil dengan ethanol, dan (c) proses penyaringan larutan ekstraksi.

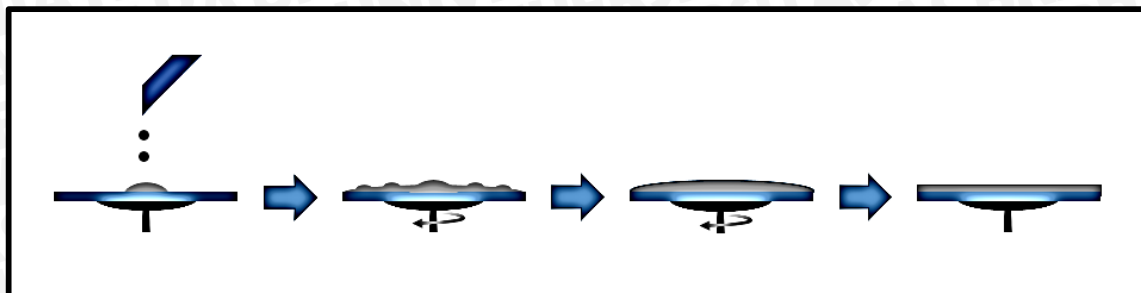
3.3.4 Pembuatan Pasta TiO_2

TiO_2 yang akan dideposisikan pada kaca *TCO* dibuat dalam bentuk pasta dengan langkah-langkah pembuatannya sebagai berikut:

1. Membuat larutan pengikat, yaitu larutan yang terbuat dari campuran 1,5 gram *Polyvinyl Alcohol (PVA)* dan 13,5 ml aquades yang diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 40°C s.d. 50°C selama 30 menit hingga larutan mengental dan homogen.
2. Mencampurkan 0,5 gram bubuk TiO_2 dengan larutan pengikat sebanyak 7,5 ml dan diaduk hingga menjadi bentuk pasta.

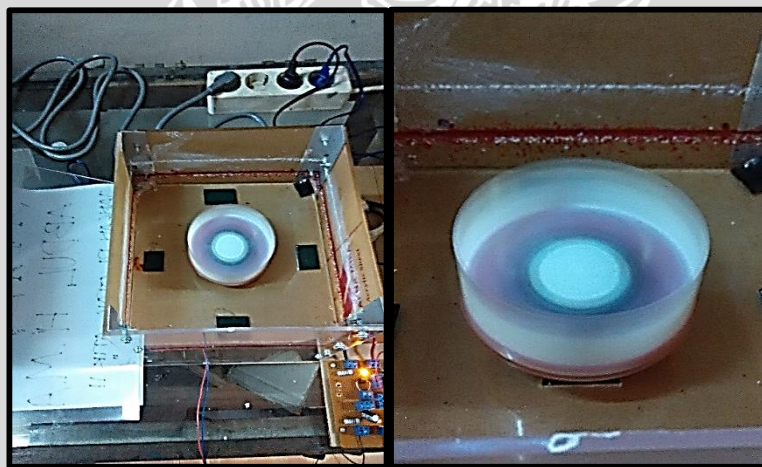
3.4 Metode Deposisi

Metode Deposisi TiO_2 yang digunakan adalah metode *spin coating*. Tahapan dalam pendeposisian TiO_2 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.4



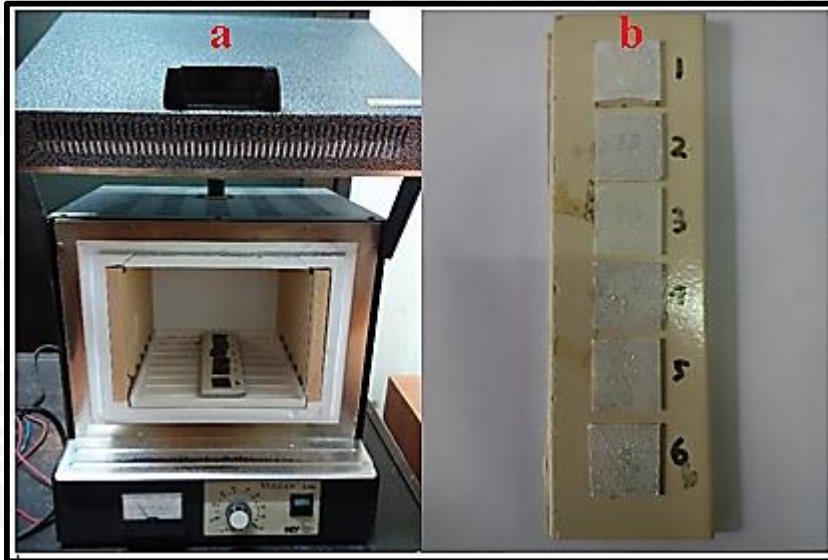
Gambar 3.4 Skema Tahapan *Spin Coating*.
Sumber: dari modifikasi S. H. Aldy, (2014: 4)

Dalam penelitian ini akan dibuat tiga sampel *DSSC* menggunakan variasi kecepatan putar deposisi spin coating yaitu 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm dengan lama waktu putaran yang sama yaitu 10 menit dan tiga *DSSC* menggunakan variasi lama putaran deposisi *spin coating* yaitu 5, 10, 15 menit dengan kecepatan putar yang sama yaitu 1000 rpm. Enam buah *DSSC* tersebut mendapat perlakuan sama dalam hal metode dan langkah-langkah pembuatannya. Pendeposisian TiO_2 pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 . Pendeposisian TiO_2 Pada Substrat.

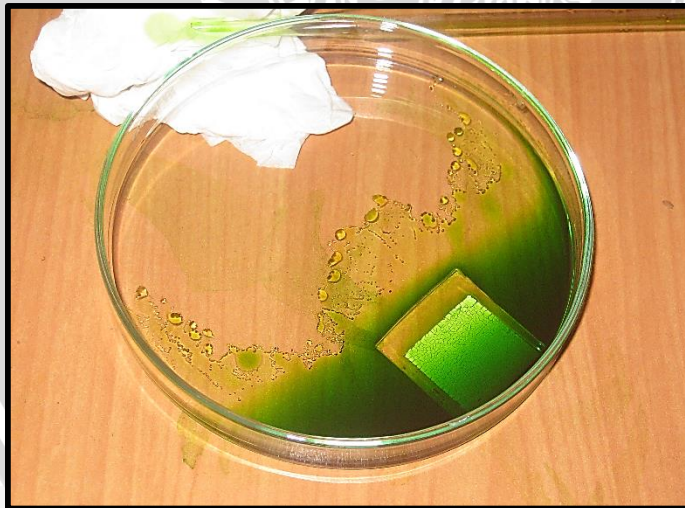
Pasta TiO_2 yang telah dideposisikan pada kaca *TCO* kemudian dipanggang (*firing*) dalam *furnace* selama 30 menit pada temperatur 450°C . Proses *firing* tersebut menghasilkan kontak yang baik antara pasta TiO_2 dengan kaca *TCO*. Pasta TiO_2 yang telah melalui proses *firing* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 (a) proses *firing* dan (b) hasil Pasta TiO₂ setelah melalui proses *firing*.

3.5 Perendaman TiO₂ dalam Larutan Dye

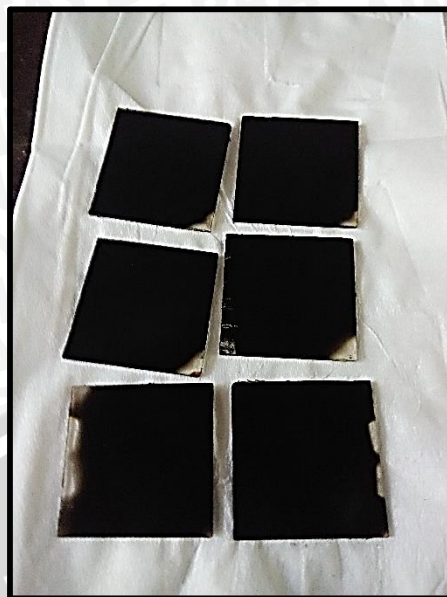
Kaca *TCO* yang dilapisi TiO₂ kemudian direndam dalam larutan *dye* selama 30 menit. Perendaman ini membuat lapisan TiO₂ berwarna hijau akibat larutan *dye* yang terabsorpsi oleh nano pori dari lapisan TiO₂. Proses perendaman kaca *TCO* yang dilapisi TiO₂ ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Perendaman kaca *TCO* yang dilapisi TiO₂ pada larutan *dye*.

3.6 Pembuatan *Counter Electrode*

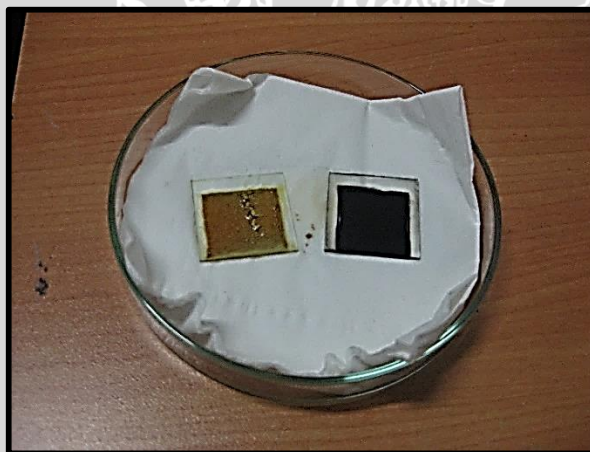
Pembuatan *counter electrode* dilakukan dengan memanaskan sisi konduktif dari kaca *TCO* selama kurang lebih 1 menit hingga karbon dengan rata menutupi sisi konduktif kaca *TCO*. *Counter electrode* yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Counter electrode* yang dibuat dengan melapisi karbon pada sisi konduktif kaca TCO.

3.7 Pemberian Larutan Elektrolit

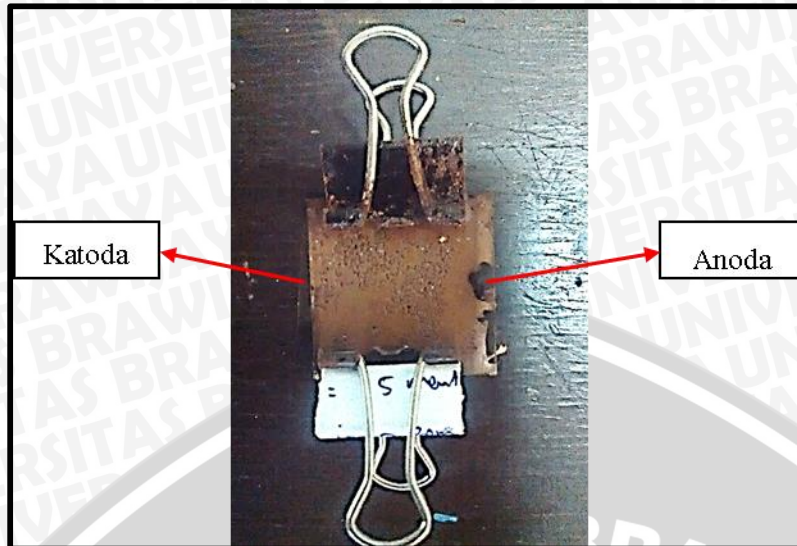
Pemberian larutan elektrolit dengan cara diteteskan menggunakan pipet sebanyak 5 tetes atau sebanyak 0,25 ml pada lapisan pasta TiO_2 . Larutan elektrolit berfungsi sebagai traspor electron dari karbon menuju *dye* atau dari *couter electrode* menuju fotoelektroda. Pemberian larutan elektrolit ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kaca yang telah ditetesi larutan elektrolit (kiri) dan kaca yang sudah terlapisi karbon (kanan).

3.8 Perakitan DSSC

Perakitan *DSSC* dilakukan setelah masing-masing komponen telah dibuat. Perakitan *DSSC* dilakukan dengan menempelkan dua kaca TCO, yaitu kaca yang berfungsi sebagai fotoelektroda dan *counter electrode* dengan struktur berlapis dan kemudian dijepit dengan klip besi agar penempelan tidak bergeser. *DSSC* yang telah selesai dirakit dapat ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Hasil perakitan DSSC.

3.9 Perlakuan Sampel DSSC

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

1. Deposisi dilakukan dengan menggunakan metode *spin-coating*. Menggunakan variasi pada kecepatan putaran 500, 1000 dan 1500 rpm dengan waktu 10 menit dan variasi pada lama putaran 5, 10 dan 15 menit dengan kecepatan putar 1000 rpm.
2. Proses pengeringan dilakukan dengan cara dipanaskan dalam *furnace* dengan waktu yang sama.
3. Pembuatan pasta TiO_2 dilakukan dengan cara yang sama untuk mendapatkan tingkat kekentalan pasta TiO_2 .
4. Lama waktu perendaman dalam klorofil dalam waktu yang sama (30 menit).
5. Zat elektrolit dibuat sama baik konsentrasi maupun jumlah volum yang ditetaskan pada TiO_2 yang sudah direndam klorofil.

3.10 Variabel Output dan Pengukuran

Pada penelitian ini bertujuan untuk perancangan DSSC dengan menggunakan metode deposisi *spin coating*. Variabel output yang diuji dan dianalisis dalam penelitian ini meliputi:

1. Nilai absorbansi klorofil pada *dye* dari ekstraksi daun pepaya.

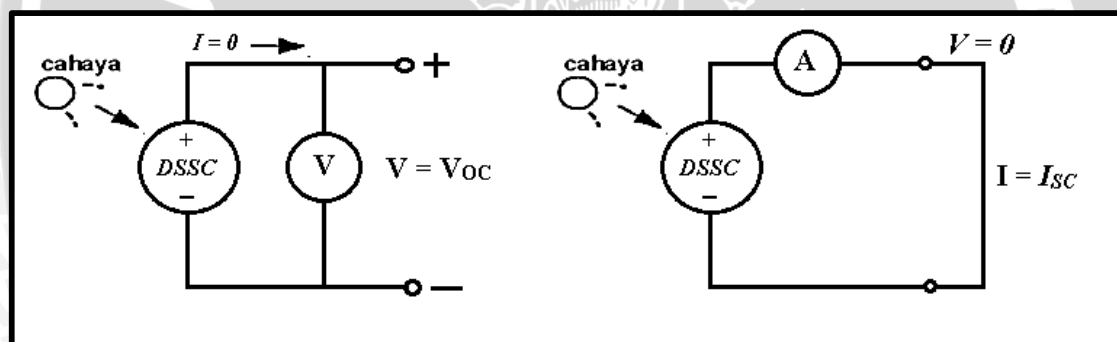
Pengujian untuk mendapatkan nilai absorbansi pada *dye* dilakukan di Laboratorium Farmasi, Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, menggunakan alat *spectrophotometer UV-VIS* tipe UV-1800 untuk mengetahui tingkat absorbansi pada *dye* dengan menggunakan panjang gelombang dari 300 nm hingga 800 nm.

2. Ketebalan TiO_2 untuk variasi kecepatan *spin coating* dan permukaan untuk variasi waktu putaran *spin coating*.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Sentral, Teknik Mesin Universitas Brawijaya, menggunakan alat *scanning electron microscope* untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran *spin coating* terhadap ketebalan lapisan TiO_2 , dan mengetahui pengaruh lama putaran *spin coating* terhadap kehomogenan lapisan TiO_2 .

3. Tegangan keluaran *DSSC* (V_{OC}) dan arus keluaran *DSSC* (I_{SC}) terhadap kuat pencahayaan.

Pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran (V_{OC}) dan arus keluaran (I_{SC}) dilakukan di Laboratorium Proses, Teknik Elektro Universitas Brawijaya, menggunakan lampu merkuri 250 W dengan kuat pencahayaan 5000 hingga 32200 lux dan alat ukur digital multimeter untuk mengetahui nilai keluaran pada masing-masing variasi kecepatan putaran dan waktu putaran *spin coating*. Rangkaian pengujian yang digunakan pada pengujian ditunjukkan seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Rangkaian Pengukuran V_{OC} (kiri) dan Rangkaian Pengukuran I_{SC} (kanan)

4. Perhitungan karakteristik keluaran *DSSC*

Perhitungan karakteristik *DSSC* meliputi perhitungan *Fill Factor* (FF), daya keluaran (P_{MAX}) dan efisiensi *DSSC* (η). Dengan menggunakan rangkaian pengujian yang sama seperti pada Gambar 3.11, Perhitungan *Fill Factor* (FF), daya keluaran (P_{MAX}) dan efisiensi *DSSC* (η) dilakukan setelah mendapatkan nilai tegangan keluaran (V_{OC}) dan arus keluaran (I_{SC}) dengan menggunakan persamaan (2-1) hingga persamaan (2-5). Untuk memperoleh nilai tegangan keluaran (V_{OC}) dan arus keluaran (I_{SC}) digunakan lampu LED 7W dengan kuat pencahayaan 50000 lux dan alat ukur digital multimeter.



BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

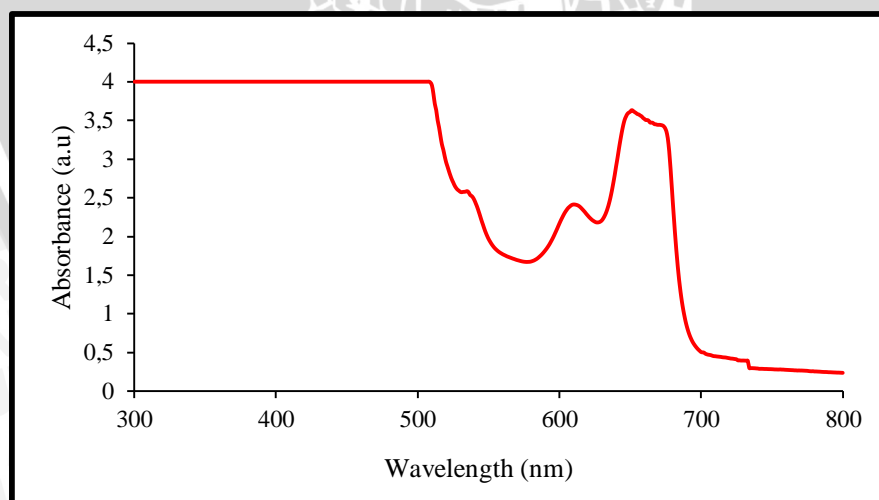
Analisis yang dilakukan untuk mengetahui apakah *DSSC* bekerja sesuai perancangan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian absorbansi klorofil (*dye*).
2. Pengujian ketebalan/permukaan pasta TiO_2 .
3. Pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan.
4. Pengujian karakteristik keluaran *DSSC*.

4.1 Hasil Pengujian Absorpsi Klorofil (*Dye*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemampuan *dye* dalam menyerap cahaya pada spektrum panjang gelombang 300 nm sampai 800 nm. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Spectrophotometer UV-VIS* tipe *UV-1800* dari Shimadzu dan dilakukan di Laboratorium Farmasi – Kedokteran UB.

Pengujian tingkat penyerapan *dye* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa klorofil daun pepaya memiliki karakteristik tingkat penyerapan sebesar 4 (a.u.) pada panjang gelombang cahaya 300-500 nm, sebesar 3,5 (a.u.) pada panjang gelombang 650-700 nm dan sebesar 0,35 (a,u) pada panjang gelombang 700-800nm. Grafik tingkat absorpsi daun pepaya ditunjukkan dalam Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik Tingkat Absorpsi Klorofil pada daun pepaya

4.2 Hasil Pengujian Permukaan dan Ketebalan TiO_2

Pengujian permukaan dan ketebalan TiO_2 dilakukan di Laboratorium Sentral Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya menggunakan *Scanning Electron*

Microscope (SEM) Phanom G2 Pro. Pengujian permukaan dan ketebalan diambil pada satu titik acak.

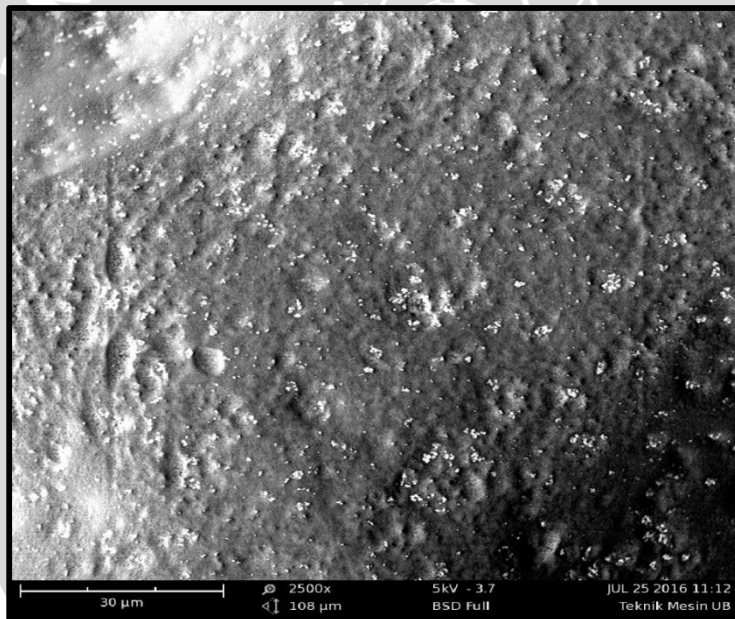
Pengujian permukaan TiO₂ dilakukan pada 2 variasi dengan kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm, yaitu:

- Variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit
- Variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit

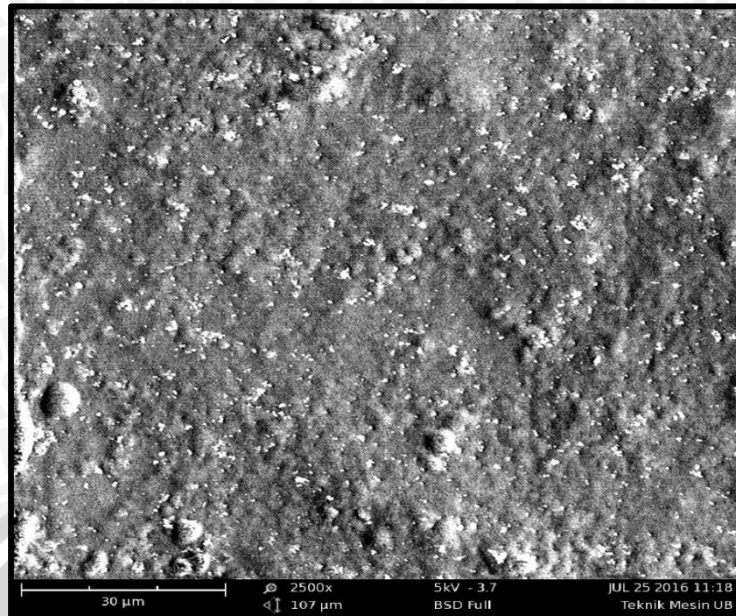
Pengujian ketebalan TiO₂ dilakukan pada 2 variasi dengan waktu putaran *spin coating* 10 menit, yaitu:

- Variasi kecepatan putaran *spin coating* 500 rpm
- Variasi kecepatan putaran *spin coating* 1500 rpm

Hasil pengujian permukaan TiO₂ pada variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan pada variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Hasil pengujian permukaan TiO₂ pada variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit



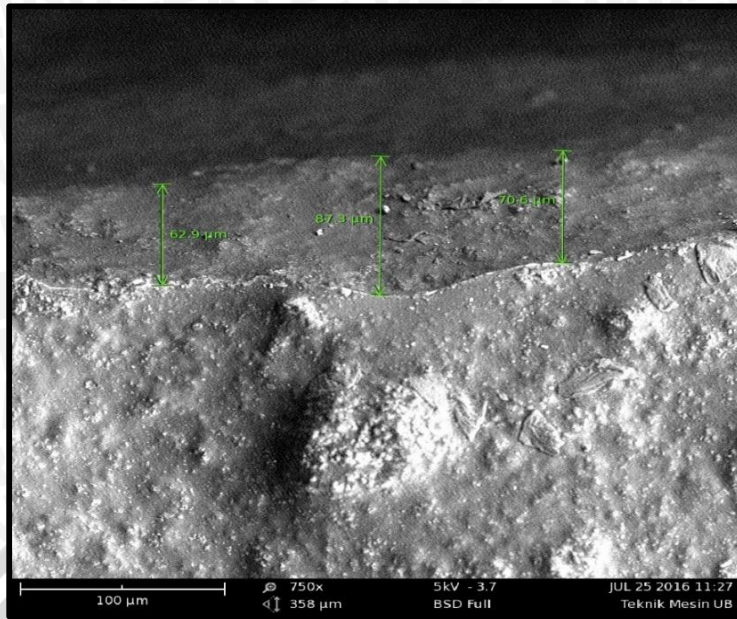
Gambar 4.3 Hasil pengujian permukaan TiO_2 pada variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan bahwa tingkat homogenitas atau persebaran TiO_2 pada lapisan TiO_2 dengan variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit tidak terlalu merata. Pada Gambar 4.3 ditunjukkan bahwa tingkat homogenitas atau persebaran TiO_2 pada lapisan TiO_2 dengan variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit lebih merata. Hal ini dapat dilihat pada permukaan Gambar 4.2 yang lebih kasar dibandingkan dengan Gambar 4.3 yang permukaannya lebih halus, dikarenakan tingkat homogenitas atau persebaran TiO_2 tersebut dipengaruhi oleh waktu dari pendeposisian TiO_2 .

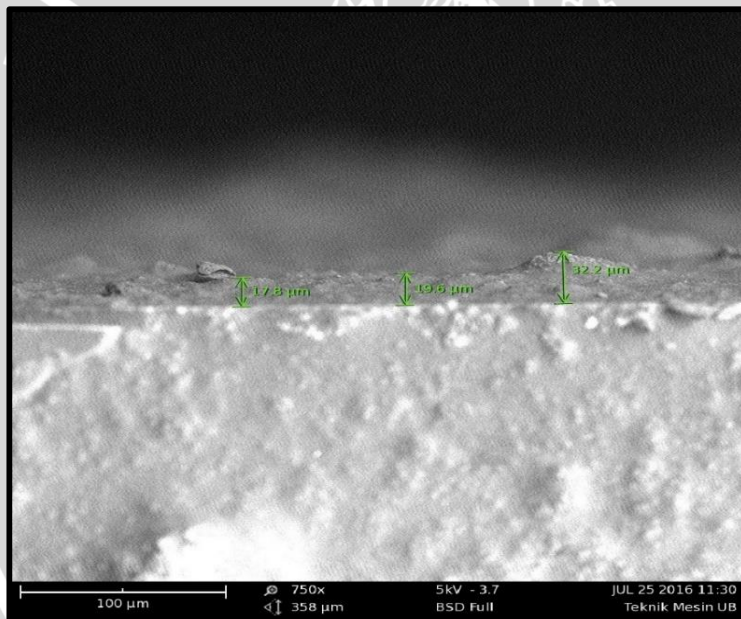
Pada pengujian permukaan, variasi yang diujikan adalah variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit dan 15 menit. Pemilihan variasi tersebut agar terlihat pengaruh dari semakin lama waktu putaran *spin coating* terhadap tingkat homogenitas atau persebaran TiO_2 pada lapisan TiO_2 dengan perbedaan waktu yang cukup lama.

Hasil pengujian ketebalan TiO_2 pada variasi kecepatan putaran *spin coating* 500 rpm ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan pada variasi kecepatan putaran *spin coating* 1500 rpm ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Pada pengujian ketebalan, variasi yang diujikan adalah variasi kecepatan putaran *spin coating* 500 rpm dan 1500 rpm. Pemilihan variasi tersebut agar terlihat pengaruh dari semakin lama waktu putaran *spin coating* terhadap tingkat homogenitas atau persebaran TiO_2 pada lapisan TiO_2 dengan perbedaan kecepatan yang besar.



Gambar 4.4 Hasil pengujian ketebalan TiO_2 pada variasi kecepatan putaran *spin coating* 500 rpm



Gambar 4.5 Hasil pengujian ketebalan TiO_2 pada variasi kecepatan putaran *spin coating* 1500 rpm

Pada Gambar 4.4 ditunjukkan bahwa ketebalan lapisan TiO_2 pada variasi kecepatan putaran *spin coating* 500 rpm lebih tebal sesuai keterangan dari kiri ke kanan yaitu 62,9 μm , 87,3 μm dan 70,6 μm dengan rata-rata ketebalan 73,6 μm . Pada Gambar 4.5 ditunjukkan bahwa ketebalan lapisan TiO_2 pada variasi kecepatan putaran *spin coating* 1500 rpm lebih tipis sesuai keterangan dari kiri ke kanan yaitu 17,8 μm , 19,6 μm dan 32,2 μm dengan rata-rata ketebalan 23,2 μm . Hal ini dikarenakan ketebalan lapisan TiO_2 tersebut dipengaruhi oleh kecepatan putaran dari pendeposisian TiO_2 .

4.3 Hasil Pengujian Tegangan dan Arus terhadap Kuat Pencahayaan

Pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan menggunakan lampu merkuri Philips 250 W. Pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan dilakukan secara terpisah sesuai dengan rangkaian pengujian. Pengukuran kuat pencahayaan menggunakan luxmeter Krisbow KW06-288. Sedangkan pengujian tegangan menggunakan digital multimeter Sanwa CD771 dan pengujian arus menggunakan digital multimeter Sanwa CD771 yang berbeda dengan pengujian tegangan.

4.3.1 Hasil Pengujian Tegangan terhadap Kuat Pencahayaan

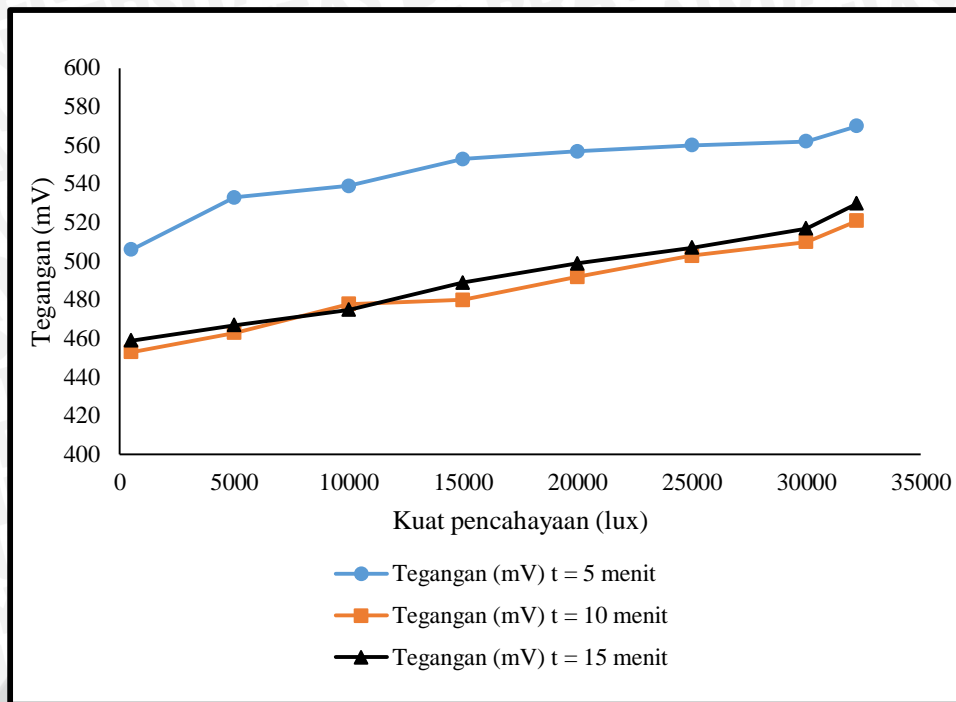
Pengujian tegangan terhadap kuat pencahayaan terdiri dari dua variasi pengujian, yaitu:

1. Hasil Pengujian variasi waktu putaran *spin coating*

Variasi yang diuji terdiri atas lama putaran *spin coating* 5 menit, lama putaran *spin coating* 10 menit dan lama putaran *spin coating* 15 menit. Dengan masing-masing kecepatan putar *spin coating* adalah 1000 rpm. Hasil pengujian tegangan terhadap kuat pencahayaan pada variasi waktu putaran *spin coating* ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.1 Pengujian tegangan variasi waktu putaran *spin coating*

lux	Tegangan (mV)		
	t = 5 menit	t = 10 menit	t = 15 menit
500	506	453	459
5000	533	463	467
10000	539	478	475
15000	553	480	489
20000	557	492	499
25000	560	503	507
30000	562	510	517
32200	570	521	530



Gambar 4.6 Grafik pengujian tegangan variasi waktu putaran *spin coating*

Berdasarkan hasil pengujian tegangan terhadap kuat pencahayaan dengan variasi waktu putar *spin coating* pada Tabel 4.1 ditunjukkan bahwa pada variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit menghasilkan tegangan terbesar yaitu 570 mV pada 32200 lux. Sedangkan pada variasi waktu putaran *spin coating* 10 dan 15 menit, tidak terlihat perbedaan yang signifikan dari tegangan yang dihasilkan. Variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit menghasilkan 521 mV dan variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit menghasilkan 530 mV pada 32200 lux.

Dalam Gambar 4.6 ditunjukkan bahwa semakin besar kuat pencahayaan yang diterima oleh *DSSC*, maka nilai tegangan yang dihasilkan oleh *DSSC* juga semakin besar. Nilai tegangan yang dihasilkan tidak terlalu dipengaruhi oleh berapa lama waktu putaran *spin coating* yang diperlihatkan oleh variasi waktu *spin coating* 10 menit dan 15 menit. Namun tegangan yang dihasilkan variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit lebih besar daripada variasi lainnya. Hal dikarenakan pembuatan *DSSC* variasi waktu *spin coating* 5 menit menggunakan bahan *dye* yang masih baru diekstrak, sedangkan *DSSC* lainnya berbeda waktu pembuatan.

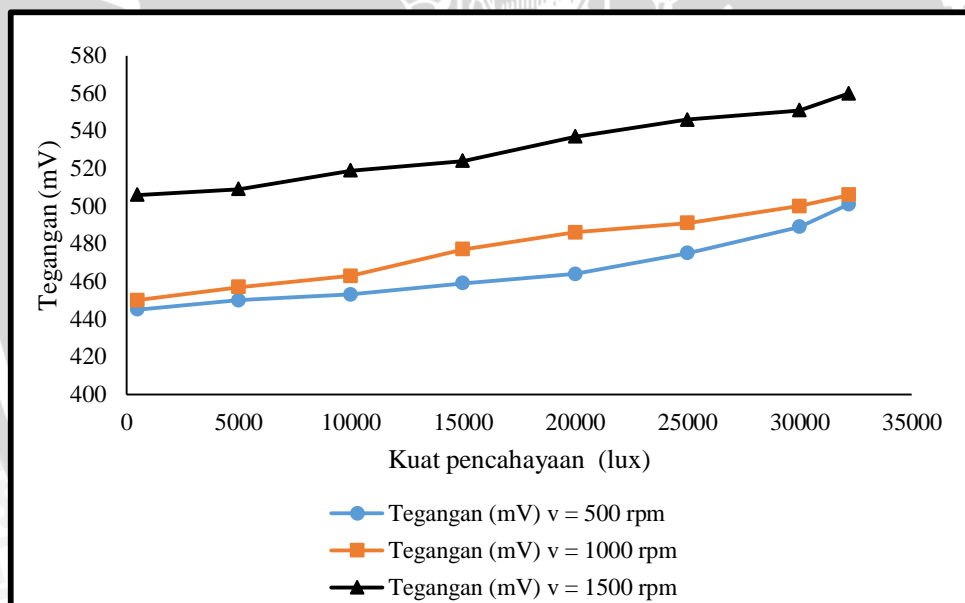
2. Hasil Pengujian variasi kecepatan putaran *spin coating*

Variasi yang diuji terdiri atas kecepatan putar *spin coating* 500 rpm, kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm dan kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm. Dengan masing-masing lama putaran *spin coating* adalah 10 menit. Tabel dan grafik pengujian tegangan terhadap

kuat pencahayaan pada variasi kecepatan putar *spin coating* ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.7.

Tabel 4.2 Pengujian tegangan variasi kecepatan putar *spin coating*

lux	Tegangan (mV)		
	v = 500 rpm	v = 1000 rpm	v = 1500 rpm
500	445	450	506
5000	450	457	509
10000	453	463	519
15000	459	477	524
20000	464	486	537
25000	475	491	546
30000	489	500	551
32200	501	506	560



Gambar 4.7 Grafik pengujian tegangan variasi kecepatan putar *spin coating*

Berdasarkan hasil pengujian tegangan terhadap kuat pencahayaan pada Tabel 4.2 ditunjukkan bahwa pada variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm menghasilkan tegangan terbesar yaitu 560 mV pada 32200 lux. Variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm menghasilkan tegangan 506 mV pada 32200 lux. Sedangkan pada variasi kecepatan putar *spin coating* 500 rpm menghasilkan tegangan terkecil yaitu 501 mV pada kuat pencahayaan 32200 lux. Berdasarkan Gambar 4.7 ditunjukkan bahwa semakin besar kuat pencahayaan maka nilai tegangan yang dihasilkan *DSSC* juga semakin besar. Variasi kecepatan *spin coating* terlihat berpengaruh terhadap tegangan keluaran *DSSC*.

4.3.2 Hasil Pengujian Arus terhadap Kuat Pencahayaan

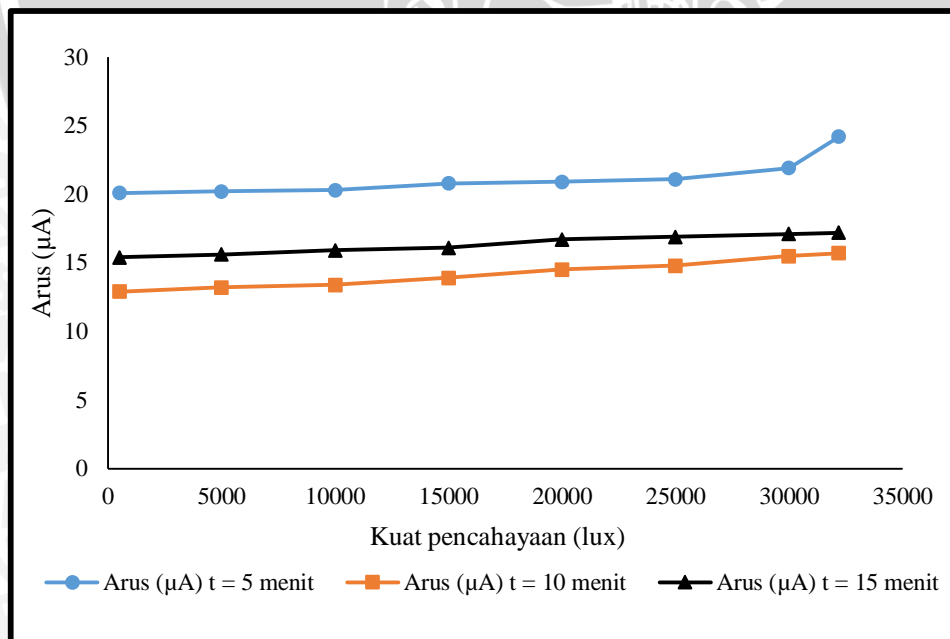
Pengujian arus terhadap kuat pencahayaan terdiri dari dua variasi pengujian, yaitu:

1. Hasil Pengujian variasi waktu putaran *spin coating*

Variasi yang diuji terdiri atas lama putaran *spin coating* 5 menit, lama putaran *spin coating* 10 menit dan lama putaran *spin coating* 15 menit. Dimana masing-masing kecepatan putar *spin coating* adalah 1000 rpm. Hasil pengujian arus terhadap kuat pencahayaan ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.8.

Tabel 4.3 Pengujian arus variasi waktu putaran *spin coating*

lux	Arus (μA)		
	t = 5 menit	t = 10 menit	t = 15 menit
500	20,1	12,9	15,4
5000	20,2	13,2	15,6
10000	20,3	13,4	15,9
15000	20,8	13,9	16,1
20000	20,9	14,5	16,7
25000	21,1	14,8	16,9
30000	21,9	15,5	17,1
32200	24,2	15,7	17,2



Gambar 4.8 Grafik pengujian arus variasi waktu putaran *spin coating*

Berdasarkan hasil pengujian arus terhadap kuat pencahayaan pada Tabel 4.3 ditunjukkan bahwa pada variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit menghasilkan arus

terbesar yaitu 24,2 μA pada 32200 lux. Variasi waktu *spin coating* 10 menit menghasilkan arus sebesar 15,7 μA dan variasi waktu *spin coating* 15 menit menghasilkan arus sebesar 17,2 μA .

Berdasarkan Gambar 4.8 ditunjukkan bahwa semakin besar kuat pencahayaan yang diterima oleh *DSSC*, maka nilai arus yang dikeluarkan oleh *DSSC* juga semakin besar. Nilai arus yang dihasilkan dipengaruhi oleh berapa lama waktu putaran *spin coating* yang diperlihatkan oleh variasi waktu *spin coating* 10 menit dan *spin coating* 15 menit. Namun arus keluaran yang dihasilkan variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit lebih besar daripada variasi lainnya. Hal dikarenakan pembuatan *DSSC* variasi waktu *spin coating* 5 menit menggunakan bahan *dye* yang masih baru diekstrak, sedangkan *DSSC* lainnya berbeda waktu pembuatan.

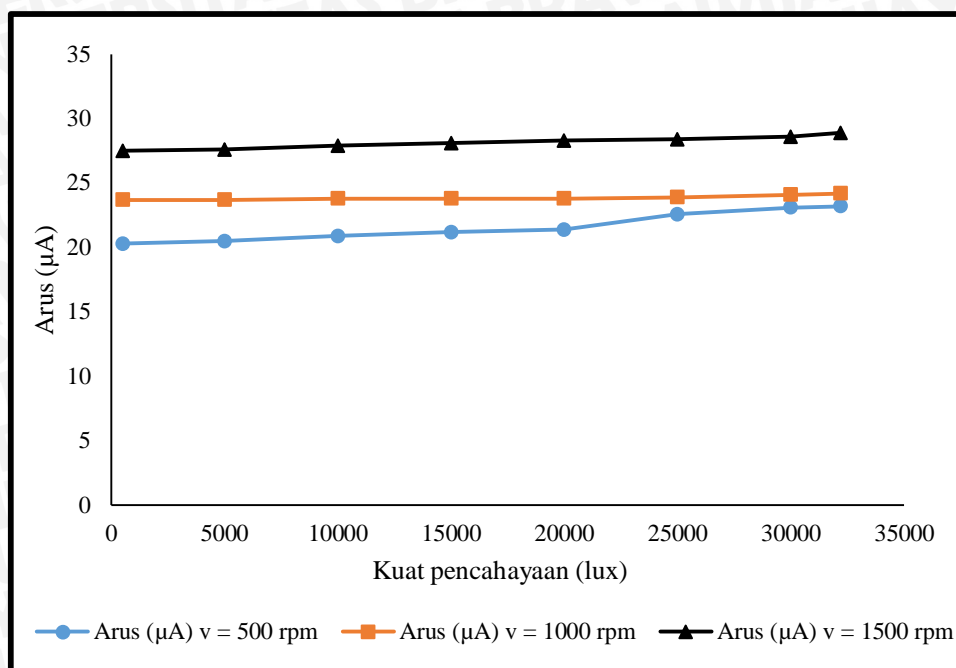
2. Hasil Pengujian variasi kecepatan putaran *spin coating*

Variasi yang diuji terdiri atas kecepatan putar *spin coating* 500 rpm, kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm dan kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm. Dengan masing-masing lama putaran *spin coating* adalah 10 menit. Hasil pengujian arus terhadap kuat pencahayaan ditunjukkan pada

Tabel 4.4 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.4 Pengujian arus variasi kecepatan putar *spin coating*

lux	Arus (μA)		
	v = 500 rpm	v = 1000 rpm	v = 1500 rpm
500	20,3	23,7	27,5
5000	20,5	23,7	27,6
10000	20,9	23,8	27,9
15000	21,2	23,8	28,1
20000	21,4	23,8	28,3
25000	22,6	23,9	28,4
30000	23,1	24,1	28,6
32200	23,2	24,2	28,9



Gambar 4.9 Grafik pengujian arus variasi kecepatan putar *spin coating*

Berdasarkan hasil pengujian arus terhadap kuat pencahayaan pada Tabel 4.4 ditunjukkan bahwa pada variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm menghasilkan arus terbesar yaitu $28,9 \mu\text{A}$ pada 32200 lux. Variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm menghasilkan arus sebesar $24,2 \mu\text{A}$ pada 32200 lux. Sedangkan pada variasi kecepatan putar *spin coating* 500 rpm menghasilkan arus terkecil sebesar $23,2 \mu\text{A}$ pada kuat pencahayaan 32200 lux.

Berdasarkan Gambar 4.9 ditunjukkan bahwa semakin besar kuat pencahayaan maka nilai arus yang dihasilkan *DSSC* juga semakin besar. Variasi kecepatan *spin coating* terlihat berpengaruh terhadap arus yang dihasilkan *DSSC*. Pada variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm menghasilkan nilai arus terbesar, diikuti oleh nilai arus variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm dan 500 rpm.

Berdasarkan hasil pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 hingga Tabel 4.4, ditunjukkan bahwa dengan variasi yang sama yaitu variasi waktu putaran spin coating 10 menit dengan kecepatan putaran 1000 rpm dan variasi kecepatan putaran spin coating 1000 rpm dengan waktu putaran 10 menit, memiliki nilai tegangan dan arus yang berbeda. Tabel perbandingan tegangan dan arus pada variasi kecepatan putaran spin coating 1000 rpm dengan waktu putaran 10 menit pada kuat pencahayaan 32200 lux ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 perbandingan tegangan dan arus pada variasi kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm dengan waktu putaran 10 menit

Variasi <i>Spin Coating</i>	V_{oc} (mV)	I_{sc} (μA)
Variasi waktu putaran :		
10 menit dengan kecepatan 1000 rpm	521	15,7
Variasi kecepatan putaran :		
1000 rpm dengan waktu 10 menit	506	24,2

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan bahwa pada variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit dengan kecepatan 1000 rpm memiliki nilai tegangan keluaran yang lebih besar (521 mV) dibandingkan dengan variasi kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm dengan waktu 10 menit (506 mV). Sedangkan nilai arus keluaran variasi kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm dengan waktu 10 menit lebih besar (24,2 μA) dibandingkan dengan variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit dengan kecepatan 1000 rpm (15,7 μA).

4.4 Hasil Pengujian Karakteristik DSSC

Pengujian DSSC dilakukan untuk mengetahui tegangan, arus, daya dan efisiensi yang dapat dihasilkan oleh sel surya yang dirancang, dan mengetahui pengaruh variasi lama putaran *spin coating* dan kecepatan putaran *spin coating* terhadap keluaran DSSC.

Pengujian ini dilakukan dengan cara menghubungkan sel dengan rangkaian uji kemudian diukur tegangan hubung terbuka (V_{oc}) dengan multimeter Sanwa CD771 pertama dan arus hubung singkat (I_{sc}) dengan multimeter Sanwa CD771 kedua.

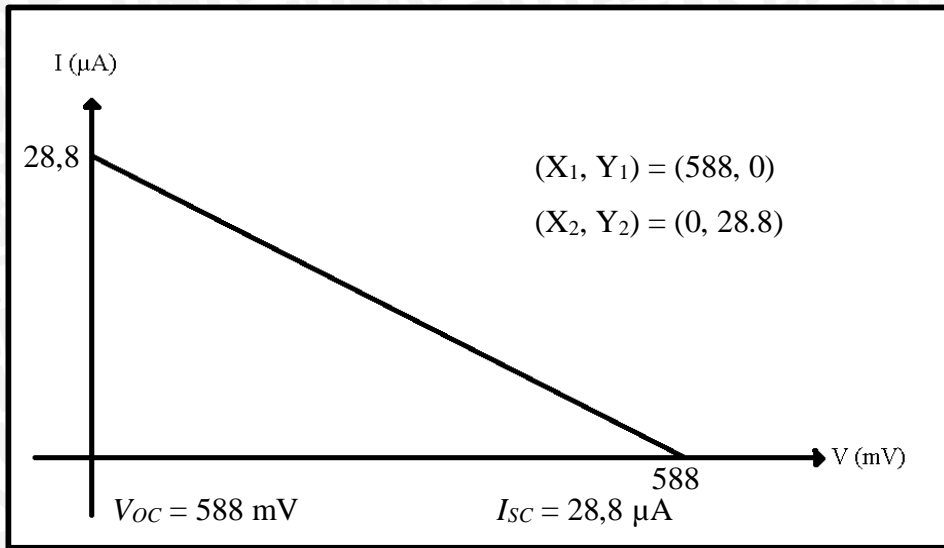
Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu LED 7 watt dengan kuat pencahayaan sebesar 50.000 lux sebagai sumber cahaya. Setelah V_{oc} dan I_{sc} diketahui, kemudian dicari luasan maksimum dengan menggunakan persamaan (2-1) dan (2-2). Kemudian digunakan V_{MPP} dan I_{MPP} untuk mendapatkan FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{MAX}) dan efisiensi dari DSSC dengan menggunakan persamaan (2-3), (2-4), dan (2-5).

4.4.1 Hasil Pengujian Karakteristik DSSC dengan Variasi Waktu Putaran *Spin Coating*.

1. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit.

Pada pengujian DSSC variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit, didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 588 mV dan I_{sc} sebesar 28,8 μA . Nilai V_{oc} dan I_{sc} tersebut dengan

menggunakan persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) dicari nilai m dan y dengan bantuan grafik karakteristik hubungan I - V yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik karakteristik hubungan I - V berdasarkan hasil pengujian V_{OC} dan I_{SC} pada variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{28,8 - 0}{0 - 588} = -0,04898$$

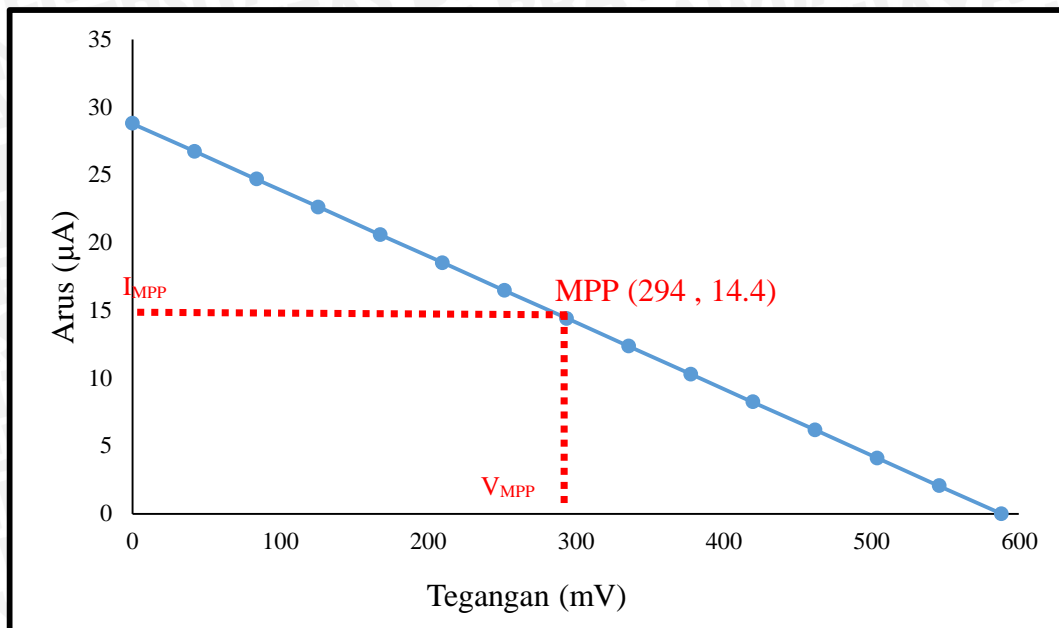
$$y = -0,04898x + 28,8$$

persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I - V . Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit ditunjukkan dalam Tabel 4.6 dan grafik karakteristik hubungan I - V ditunjukkan dalam Gambar 4.11.

Tabel 4.6 Perhitungan karakterisasi $DSSC$ pada variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit.

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0	28,8	0
2	42	26,74286	1123,2
3	84	24,68571	2073,6
4	126	22,62857	2851,2
5	168	20,57143	3456
6	210	18,51429	3888
7	252	16,45714	4147,2
8	294	14,4	4233,6

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
9	336	12,34286	4147,2
10	378	10,28571	3888
11	420	8,228571	3456
12	462	6,171429	2851,2
13	504	4,114286	2073,6
14	546	2,057143	1123,2
15	588	0	0



Gambar 4.11 Grafik karakteristik hubungan I - V berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi $DSSC$ pada variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada $DSSC$ dengan variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit yaitu V_{MPP} sebesar 294 mV dan I_{MPP} sebesar 14,4 μA . Kemudian dicari *Fill Factor* (FF) menggunakan persamaan (2-3), daya maksimum (P_{MAX}) menggunakan persamaan (2-4) dan efisiensi (η) menggunakan persamaan (2-5) dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{294 \times 14,4}{588 \times 28,8} = 0,25$$

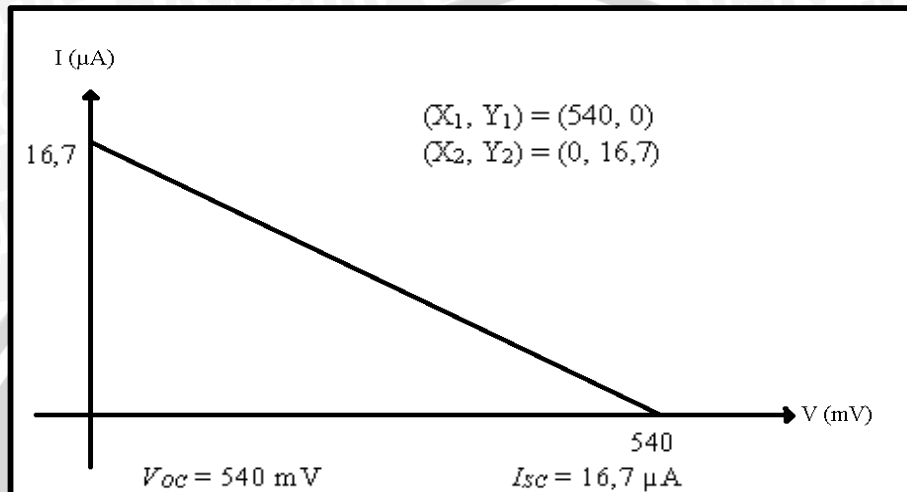
$$\begin{aligned} P_{MAX} &= V_{OC} \times I_{SC} \times FF \\ &= 588 \times 28,8 \times 0,25 \\ &= 4,2336 \mu W \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% = \frac{4,2336 \mu W}{7 W} \times 100\% = 0,00006048 \%$$

Pada $DSSC$ variasi lama putaran *spin coating* 5 menit, didapatkan *Fill Factor* (FF) sebesar 0.25, daya maksimum (P_{MAX}) sebesar 4,2336 μW dan efisiensi (η) sebesar 0,00006048%.

2. Hasil pengujian karakteristik *DSSC* dengan variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit.

Pada pengujian *DSSC* variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit, didapatkan hasil pengukuran V_{OC} sebesar 540 mV dan I_{SC} sebesar 16,7 μA . Nilai V_{OC} dan I_{SC} tersebut dengan menggunakan persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) dicari nilai m dan y dengan bantuan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik karakteristik hubungan I - V berdasarkan hasil pengujian V_{OC} dan I_{SC} pada variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{16,7 - 0}{0 - 540} = -0,03093$$

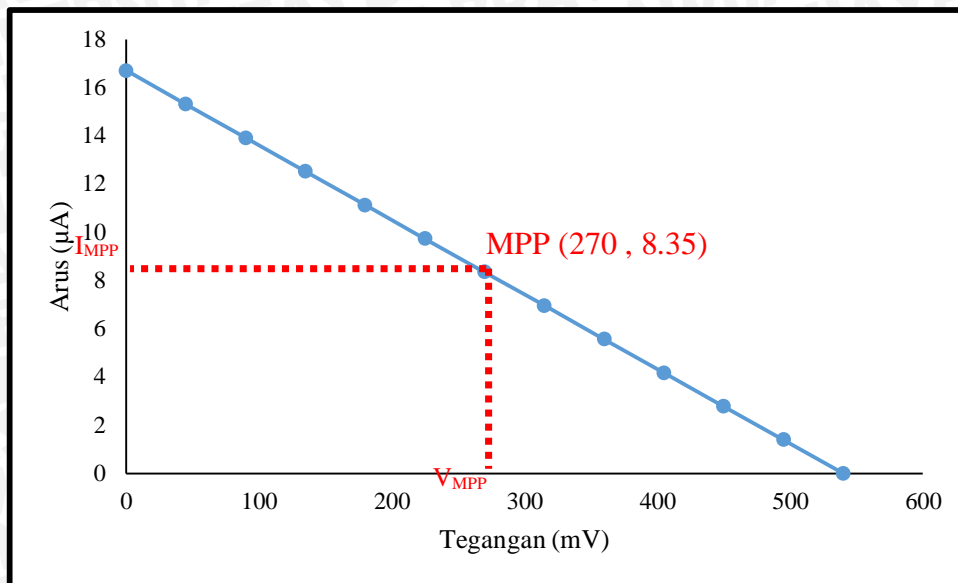
$$y = -0,03093x + 16,7$$

persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I - V . Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit ditunjukkan dalam Tabel 4.7 dan grafik karakteristik hubungan I - V ditunjukkan dalam Gambar 4.13.

Tabel 4.7 Perhitungan karakterisasi *DSSC* pada variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit.

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0	16,7	0
2	45	15,30833	688,875
3	90	13,91667	1252,5
4	135	12,525	1690,875
5	180	11,13333	2004
6	225	9,741667	2191,875
7	270	8,35	2254,5

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
8	315	6,958333	2191,875
9	360	5,566667	2004
10	405	4,175	1690,875
11	450	2,783333	1252,5
12	495	1,391667	688,875
13	540	0	0



Gambar 4.13 Grafik karakteristik hubungan I - V berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi $DSSC$ pada variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit.

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada $DSSC$ dengan variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit yaitu V_{MPP} sebesar 270 mV dan I_{MPP} sebesar 8,25 μA . Kemudian dicari *Fill Factor* (FF) menggunakan persamaan (2-3), daya maksimum (P_{MAX}) menggunakan persamaan (2-4) dan efisiensi (η) menggunakan persamaan (2-5) dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{270 \times 8,35}{540 \times 16,7} = 0,25$$

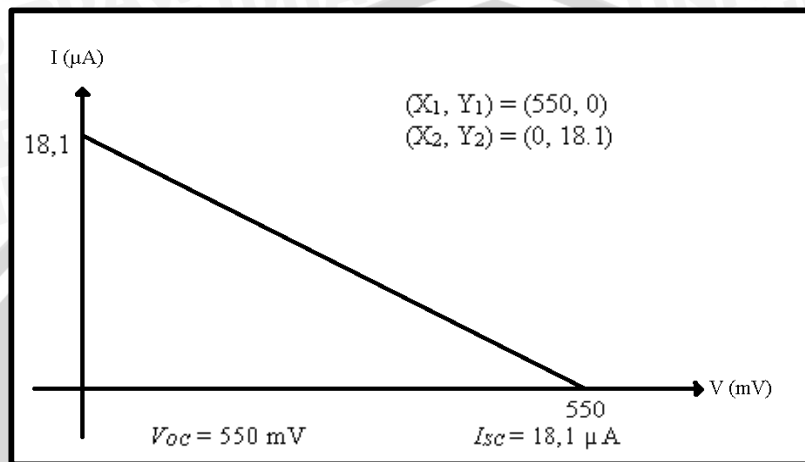
$$\begin{aligned} P_{MAX} &= V_{OC} \times I_{SC} \times FF \\ &= 540 \times 16,7 \times 0,25 \\ &= 2,2545 \mu W \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% = \frac{2,2545 \mu W}{7 W} \times 100\% = 0,0000322 \%$$

Pada $DSSC$ variasi lama putaran *spin coating* 10 menit, didapatkan *Fill Factor* (FF) sebesar 0.25, daya maksimum (P_{MAX}) sebesar 2,2545 μW dan efisiensi (η) sebesar 0,0000322%.

3. Hasil pengujian karakteristik *DSSC* dengan variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit.

Pada pengujian *DSSC* variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit, didapatkan hasil pengukuran V_{OC} sebesar 550 mV dan I_{SC} sebesar 18,1 μA . Nilai V_{OC} dan I_{SC} tersebut dengan menggunakan persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) dicari nilai m dan y dengan bantuan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik karakteristik hubungan I - V berdasarkan hasil pengujian V_{OC} dan I_{SC} pada variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit

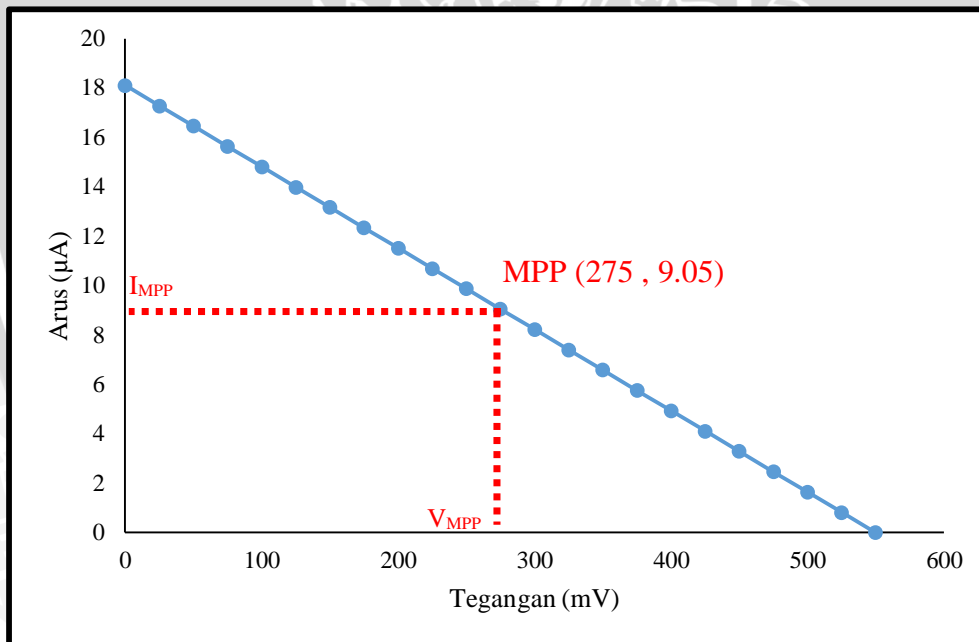
$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{18,1 - 0}{0 - 550} = -0,03291$$

$$y = -0,03291x + 18,1$$

persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I - V . Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit ditunjukkan dalam Tabel 4.8 dan grafik karakteristik hubungan I - V ditunjukkan dalam Gambar 4.15.

Tabel 4.8 Perhitungan karakterisasi *DSSC* pada variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0	18,1	0
2	25	17,27727	431,9318
3	50	16,45455	822,7273
4	75	15,63182	1172,386
5	100	14,80909	1480,909
6	125	13,98636	1748,295
7	150	13,16364	1974,545
8	175	12,34091	2159,659
9	200	11,51818	2303,636
10	225	10,69545	2406,477
11	250	9,872727	2468,182
12	275	9,05	2488,75
13	300	8,227273	2468,182
14	325	7,404545	2406,477
15	350	6,571818	2303,636
16	375	5,740909	2159,659
17	400	4,909091	1974,545
18	425	4,090909	1748,295
19	450	3,272727	1480,909
20	475	2,454545	1172,386
21	500	1,636364	822,7273
22	525	0,818182	431,9318
23	550	0	0

Gambar 4.15 Grafik karakteristik hubungan *I-V* berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi *DSSC* pada variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit.

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada *DSSC* dengan variasi waktu putaran *spin coating* 15 menit yaitu V_{MPP} sebesar 275 mV dan I_{MPP} sebesar 9,05 μ A. Kemudian dicari *Fill Factor* (FF) menggunakan persamaan (2-3), daya maksimum (P_{MAX}) menggunakan persamaan (2-4) dan efisiensi (η) menggunakan persamaan (2-5) dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{275 \times 9,05}{550 \times 18,1} = 0,25$$

$$\begin{aligned} P_{MAX} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 550 \times 18,1 \times 0,25 \\ &= 2,4887 \mu W \end{aligned}$$

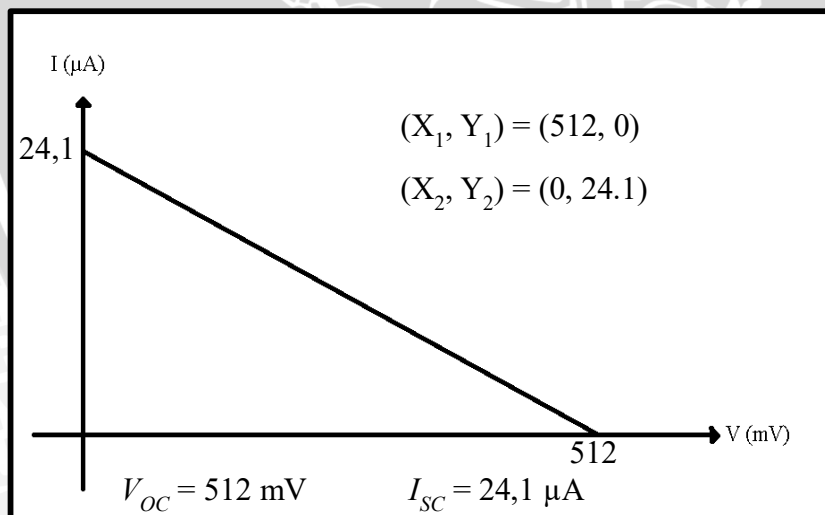
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% = \frac{2,4887 \mu W}{7 W} \times 100\% = 0,0000355 \%$$

Pada *DSSC* variasi lama putaran *spin coating* 15 menit, didapatkan *Fill Factor* (*FF*) sebesar 0.25, daya maksimum (P_{MAX}) sebesar 2,4887 μW dan efisiensi (η) sebesar 0,0000355%.

4.4.2 Hasil Pengujian Karakteristik *DSSC* dengan Variasi Kecepatan Putar *Spin Coating*.

1. Hasil pengujian karakteristik *DSSC* dengan variasi kecepatan putar *spin coating* 500 rpm.

Pada pengujian *DSSC* variasi kecepatan putar *spin coating* 500 rpm, didapatkan hasil pengukuran V_{OC} sebesar 512 mV dan I_{SC} sebesar 24,1 μA . Nilai V_{OC} dan I_{SC} tersebut dengan menggunakan persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) dicari nilai m dan y dengan bantuan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik karakteristik hubungan *I-V* berdasarkan hasil pengujian V_{OC} dan I_{SC} pada variasi kecepatan putar *spin coating* 500 rpm.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{24,1 - 0}{0 - 512} = -0,04707$$

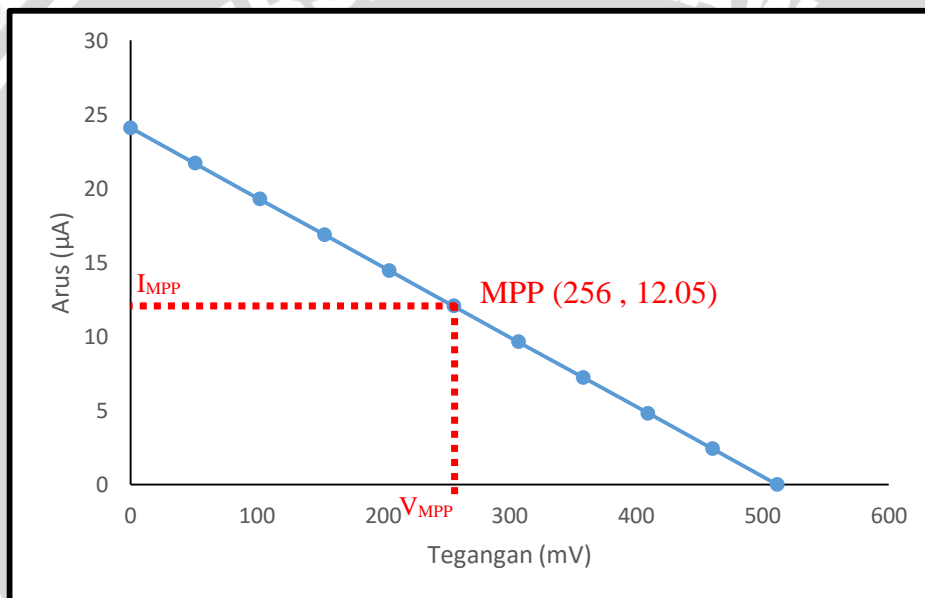
$$y = -0,04707x + 24,1$$

persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan *I-V*. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} variasi kecepatan putar *spin coating*

500 rpm ditunjukkan dalam Tabel 4.9 dan grafik karakteristik hubungan I - V ditunjukkan dalam Gambar 4.17.

Tabel 4.9 Perhitungan karakterisasi $DSSC$ pada kecepatan putar *spin coating* 500 rpm.

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0	24,1	0
2	51,2	21,69	1110,528
3	102,4	19,28	1974,272
4	153,6	16,87	2591,232
5	204,8	14,46	2961,408
6	256	12,05	3084,8
7	307,2	9,64	2961,408
8	358,4	7,23	2591,232
9	409,6	4,82	1974,272
10	460,8	2,41	1110,528
11	512	0	0



Gambar 4.17 Grafik karakteristik hubungan I - V berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi $DSSC$ pada kecepatan putar *spin coating* 500 rpm

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada $DSSC$ dengan variasi kecepatan putar *spin coating* 500 rpm yaitu V_{MPP} sebesar 256 mV dan I_{MPP} sebesar 12,05 μ A. Kemudian dicari *Fill Factor* (FF) menggunakan persamaan (2-3), daya maksimum (P_{MAX}) menggunakan persamaan (2-4) dan efisiensi (η) menggunakan persamaan (2-5) dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{256 \times 12,05}{512 \times 24,1} = 0,25$$

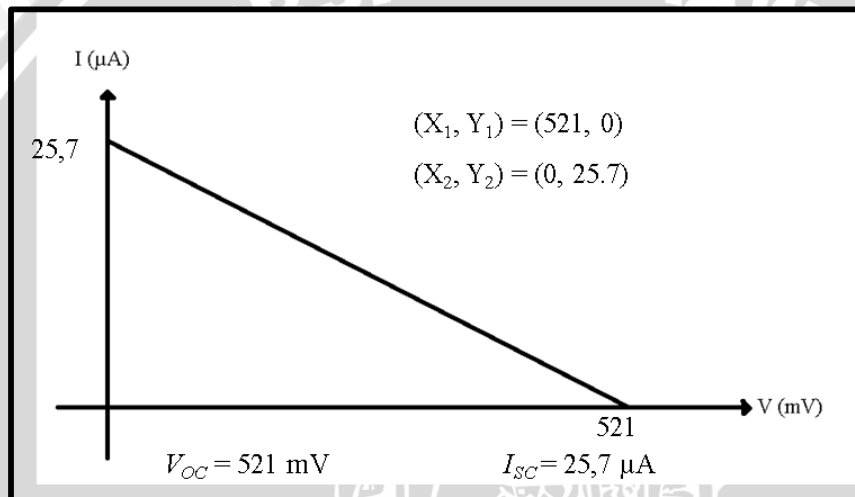
$$\begin{aligned} P_{MAX} &= V_{OC} \times I_{SC} \times FF \\ &= 512 \times 24,1 \times 0,25 \\ &= 3,0848 \mu W \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% = \frac{3,0848 \mu W}{7 W} \times 100\% = 0,00004406 \%$$

Pada *DSSC* variasi kecepatan putar *spin coating* 500 rpm, didapatkan *Fill Factor* (*FF*) sebesar 0.25, daya maksimum (P_{MAX}) sebesar 3,0848 μW dan efisiensi (η) sebesar 0,00004406%.

2. Hasil pengujian karakteristik *DSSC* dengan variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm.

Pada pengujian *DSSC* variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm, didapatkan hasil pengukuran V_{OC} sebesar 521 mV dan I_{SC} sebesar 25,7 μA . Nilai V_{OC} dan I_{SC} tersebut dengan menggunakan persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) dicari nilai m dan y dengan bantuan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik karakteristik hubungan *I-V* berdasarkan hasil pengujian V_{OC} dan I_{SC} pada variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm.

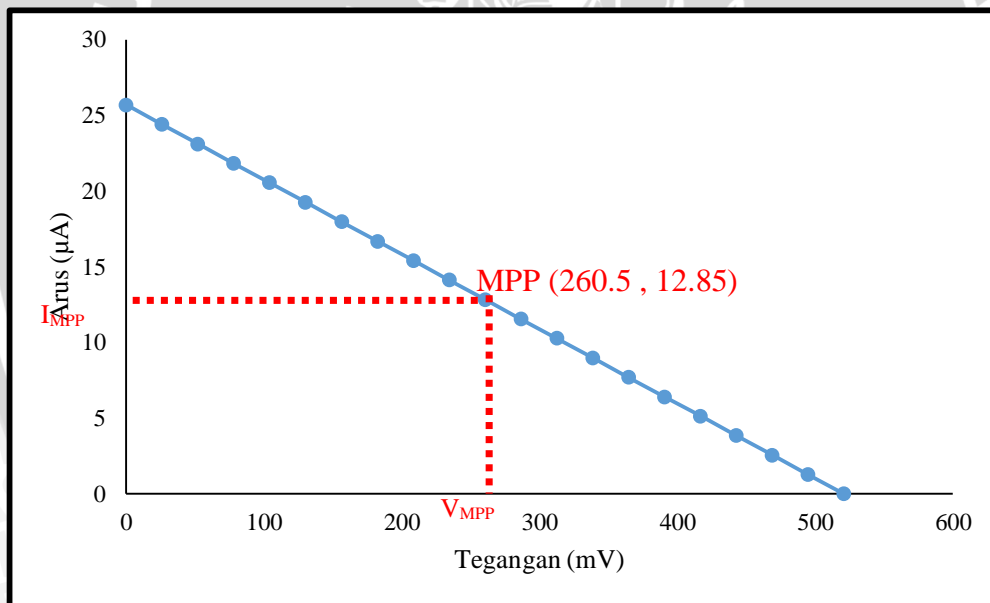
$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{25,7 - 0}{0 - 521} = -0,04933$$

$$y = -0,04933x + 25,7$$

persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan *I-V*. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm ditunjukkan dalam Tabel 4.10 dan Grafik karakteristik hubungan *I-V* ditunjukkan dalam Gambar 4.19.

Tabel 4.10 Perhitungan karakterisasi *DSSC* pada kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0	25,7	0
2	26,05	24,415	636,0108
3	52,1	23,13	1205,073
4	78,15	21,845	1707,187
5	104,2	20,56	2142,352
6	130,25	19,275	2510,569
7	156,3	17,99	2811,837
8	182,35	16,705	3046,157
9	208,4	15,42	3213,528
10	234,45	14,135	3313,951
11	260,5	12,85	3347,425
12	286,55	11,565	3313,951
13	312,6	10,28	3213,528
14	338,65	8,995	3046,157
15	364,7	7,71	2811,837
16	390,75	6,425	2510,569
17	416,8	5,14	2142,352
18	442,85	3,855	1707,187
19	468,9	2,57	1205,073
20	494,95	1,285	636,0108
21	521	0	0

Gambar 4.19 Grafik karakteristik hubungan *I-V* berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi *DSSC* pada kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 4.10 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada *DSSC* dengan variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm yaitu V_{MPP} sebesar 260,5 mV dan I_{MPP} sebesar 12,85 μA. Kemudian dicari *Fill Factor* (*FF*) menggunakan persamaan (2-3), daya maksimum (P_{MAX}) menggunakan persamaan (2-4) dan efisiensi (η) menggunakan persamaan (2-5) dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{260,5 \times 12,85}{521 \times 25,7} = 0,25$$

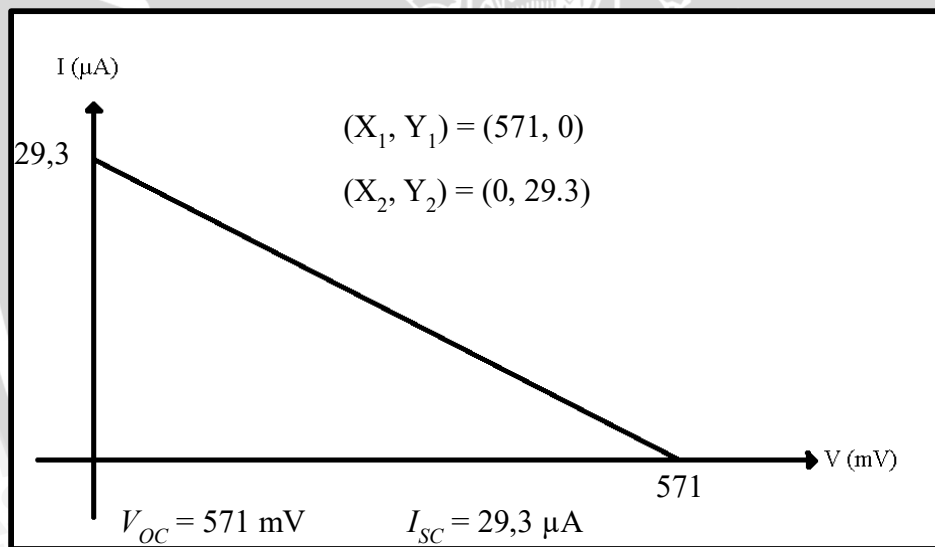
$$\begin{aligned}
 P_{MAX} &= V_{OC} \times I_{SC} \times FF \\
 &= 521 \times 25,7 \times 0,25 \\
 &= 3,3474 \mu W
 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% = \frac{3,3474 \mu W}{7 W} \times 100\% = 0,0000478 \%$$

Pada *DSSC* variasi kecepatan putar *spin coating* 1000 rpm, didapatkan *Fill Factor* (*FF*) sebesar 0.25, daya maksimum (P_{MAX}) sebesar 3,3474 μW dan efisiensi (η) sebesar 0,0000478%.

- Hasil pengujian karakteristik *DSSC* dengan variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm.

Pada pengujian *DSSC* variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm, didapatkan hasil pengukuran V_{OC} sebesar 571 mV dan I_{SC} sebesar 29,3 μA . Nilai V_{OC} dan I_{SC} tersebut dengan menggunakan persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) dicari nilai m dan y dengan bantuan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Grafik karakteristik hubungan *I-V* berdasarkan hasil pengujian V_{OC} dan I_{SC} pada variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{29,3 - 0}{0 - 571} = -0,05131$$

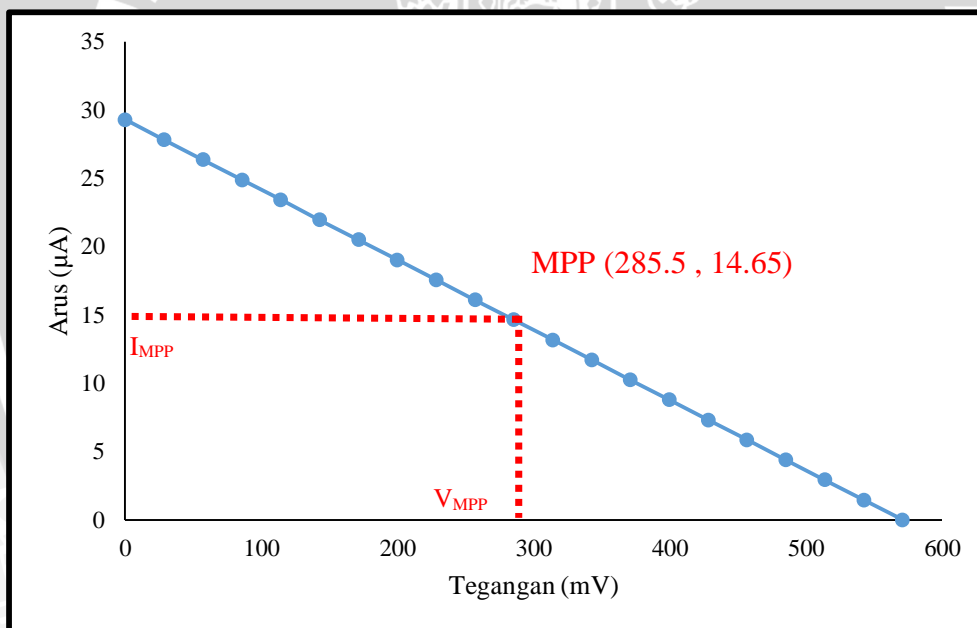
$$y = -0,05131x + 29,3$$

persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan *I-V*. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm ditunjukkan dalam Tabel 4.11 dan grafik karakteristik hubungan *I-V* ditunjukkan dalam Gambar 4.21.

Tabel 4.11 Perhitungan karakterisasi DSSC pada kecepatan putaran spin coating 1500 rpm

No.	x (mV)	y (µA)	x.y
1	0	29,3	0
2	28,55	27,835	794,6893
3	57,1	26,37	1505,727
4	85,65	24,905	2133,113
5	114,2	23,44	2676,848
6	142,75	21,975	3136,931
7	171,3	20,51	3513,363
8	199,85	19,045	3806,143
9	228,4	17,58	4015,272
10	256,95	16,115	4140,749
11	285,5	14,65	4182,575

No.	x (mV)	y (µA)	x.y
12	314,05	13,185	4140,749
13	342,6	11,72	4015,272
14	371,15	10,255	3806,143
15	399,7	8,79	3513,363
16	428,25	7,325	3136,931
17	456,8	5,86	2676,848
18	485,35	4,395	2133,113
19	513,9	2,93	1505,727
20	542,45	1,465	794,6892
21	571	0	0



Gambar 4.21 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil perhitungan karakterisasi DSSC pada kecepatan putaran spin coating 1500 rpm

Data hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa V_{MPP} dan I_{MPP} pada DSSC dengan variasi kecepatan putar spin coating 1500 rpm yaitu V_{MPP} sebesar 285,5 mV dan I_{MPP} sebesar 14,65 µA. Kemudian dicari *Fill Factor* (FF) menggunakan persamaan (2-3), daya maksimum (P_{MAX}) menggunakan persamaan (2-4) dan efisiensi (η) menggunakan persamaan (2-5) dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{285,5 \times 14,65}{571 \times 29,3} = 0,25$$

$$\begin{aligned}
 P_{MAX} &= V_{OC} \times I_{SC} \times FF \\
 &= 571 \times 29,3 \times 0,25 \\
 &= 4,1825 \mu W
 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% = \frac{4,1825 \mu W}{7 W} \times 100\% = 0,0000598 \%$$

Pada *DSSC* variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm, didapatkan *Fill Factor* (*FF*) sebesar 0.25, daya maksimum (P_{MAX}) sebesar 4,1825 μW dan efisiensi (η) sebesar 0,0000598%.

Berdasarkan perhitungan karakterisasi *DSSC* diatas, dapat di simpulkan bahwa semakin besar kecepatan putaran *spin coating* maka nilai karakterisasi *DSSC* juga semakin besar. Namun semakin besar waktu putaran *spin coating*, tidak ditunjukkan perubahan yang signifikan pada waktu 10 dan 15 menit. Hasil perhitungan karakterisasi *DSSC* pada variasi lama waktu putaran *spin coating* ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan hasil perhitungan karakterisasi *DSSC* pada variasi kecepatan putaran *spin coating* ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan karakterisasi *DSSC* pada variasi lama waktu putaran *spin coating* dengan kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm

Variasi <i>Spin Coating</i>	V_{OC} (mV)	I_{SC} (μA)	P_{MAX} (μW)
Waktu 5 menit	588	28,8	4,2336
Waktu 10 menit	540	16,7	2,2545
Waktu 15 menit	550	18,1	2,4887

Tabel 4.13 Hasil perhitungan karakterisasi *DSSC* pada variasi kecepatan putaran *spin coating* dengan lama waktu putaran *spin coating* 10 menit

Variasi <i>Spin Coating</i>	V_{OC} (mV)	I_{SC} (μA)	P_{MAX} (μW)
Kecepatan 500 rpm	512	24,1	3,0848
Kecepatan 1000 rpm	521	25,7	3,3474
Kecepatan 1500 rpm	571	29,3	4,1825

Berdasarkan pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan dan perhitungan karakteristik *DSSC*, didapatkan bahwa semakin besar kecepatan putaran deposisi *spin coating* maka semakin tipis lapisan TiO_2 yang dihasilkan. Dengan semakin tipisnya lapisan TiO_2 maka hambatan pada lapisan tersebut semakin kecil. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian (Rahayu S, 2012) yang menunjukkan bahwa kecepatan pertumbuhan menurun akibat semakin bertambahnya ketebalan lapisan yang menyebabkan semakin besar pula hambatan pada elektroda terdeposisi. Hal tersebut menyebabkan tegangan, arus dan

daya yang dikeluarkan *DSSC* semakin besar seiring dengan semakin besarnya kecepatan putaran *spin coating*.

Semakin lama waktu putaran *spin coating*, maka semakin homogen lapisan TiO_2 yang dihasilkan. Pada variasi waktu putaran *spin coating* ini, perbedaan waktu variasi tidak menunjukkan perubahan yang terlalu signifikan pada tegangan, arus dan daya yang dikeluarkan *DSSC*. Hal ini sesuai dengan penelitian (Purwanto, 2013) yang menunjukkan bahwa kecepatan putaran *spin coating* mempengaruhi seberapa arus yang dikeluarkan, sedangkan lama pemutaran *spin coating* berpengaruh terhadap kehomogenan lapisan yang dibuat.

Berdasarkan data perbandingan tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 serta perhitungan karakteristik *DSSC* yang ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13, ditunjukkan bahwa dengan variasi yang sama yaitu variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit dengan kecepatan putaran 1000 rpm dan variasi kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm dengan waktu putaran 10 menit, memiliki nilai tegangan dan arus yang berbeda. Pada variasi waktu putaran *spin coating* memiliki tegangan keluaran *DSSC* yang lebih besar dan arus keluaran *DSSC* yang lebih kecil dibandingkan dengan variasi kecepatan putaran *spin coating*. Hal ini menunjukkan terdapat faktor yang mempengaruhi keluaran kedua variasi tersebut, mengingat pada perancangan ini kedua variasi tersebut mendapatkan perlakuan yang sama dalam proses fabrikasinya.

Hal yang dimungkinkan menjadi faktor penyebab perbedaan keluaran *DSSC* tersebut adalah pada saat pengujian menggunakan lampu merkuri, temperatur lampu melebihi 40°C . Hal ini menyebabkan *dye* pada *DSSC* dapat menguap akibat temperatur yang dipancarkan oleh lampu semakin meningkat dan dapat menurunkan performa dari *DSSC* tersebut. Pada pelaksanaannya dimungkinkan alat ukur temperatur yang digunakan kurang presisi sehingga menyebabkan kesalahan pembacaan terhadap temperatur sesungguhnya pada lampu pengujian. Selain itu intensitas cahaya yang bersumber dari selain lampu pengujian dan kondisi tempat penyimpanan *DSSC* dapat menyebabkan perbedaan nilai keluaran *DSSC*.

Pada perancangan sampel *DSSC* variasi waktu putaran *spin coating* 5 menit dengan kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm, didapatkan nilai tegangan, arus dan daya keluaran yang lebih besar dibandingkan dengan variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit dan 15 menit dengan kecepatan putaran *spin coating* yang sama. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena tingkat kesegaran *dye* menurun yang menyebabkan menurunnya daya absorpsi cahaya oleh *dye* yang dapat mempengaruhi keluaran dari *DSSC*.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian *DSSC* (*Dye-Sensitized Solar Cell*) dengan menggunakan metode deposisi *spin coating* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin cepat kecepatan *spin coating* maka semakin tipis ketebalan pada lapisan TiO_2 . Pada variasi 1500 rpm didapatkan ketebalan paling tipis dengan rata-rata 23,2 μm . Semakin lama waktu putaran *spin coating* maka semakin merata tingkat homogenitas atau persebaran TiO_2 . Nilai absorbansi *dye* tertinggi berada pada panjang gelombang diantara 300 nm hingga 500 nm dengan nilai absorbansi 4 a.u. namun pada pengujian menggunakan lampu merkuri, panjang gelombang yang digunakan antara 400 nm hingga 600 nm dengan nilai absorbansi .
2. Semakin cepat kecepatan putar *spin coating*, maka semakin besar nilai tegangan, arus dan daya yang dikeluarkan semakin meningkat. Pada penelitian ini didapatkan nilai tegangan terbesar 560 mV, nilai arus terbesar 28,9 μA , dan nilai daya terbesar $4,1825 \times 10^{-6}$ watt pada variasi kecepatan putar *spin coating* 1500 rpm.
3. Semakin lama waktu putaran *spin coating* maka nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan pada variasi waktu putaran *spin coating* 10 menit dan 15 menit, tidak menunjukkan perubahan yang signifikan yaitu . Namun pada pembuatan *DSSC* dengan variasi waktu putaran 5 menit menghasilkan tegangan, arus dan daya yang besar, dikarenakan *dye* yang digunakan masih baru diekstrak dibandingkan dengan *dye* pada variasi waktu putaran 10 dan 15 menit.

5.2 Saran

Perancangan dan analisis *DSSC* dengan variasi kecepatan putar dan lama putaran *spin coating* ini belum sempurna. Pada penelitian lebih lanjut, disarankan dalam proses perendaman kaca *TCO* pada larutan *dye*, digunakan *dye* yang sama pada tingkat kesegarannya. Agar nilai tegangan, arus dan daya bisa menunjukkan nilai yang sesuai dengan karakteristik dari variasi yang digunakan. Dikarenakan belum adanya informasi mengenai pengaruh kesegaran *dye* terhadap keluaran *DSSC*.

Dan pada proses deposisi pasta TiO_2 untuk menggunakan *spin coater* yang lebih optimal dan sudah teruji secara standar. Dikarenakan dalam fabrikasi pasta TiO_2 masih

menggunakan *spin coater* yang belum dapat dipastikan keoptimalannya karena alat tersebut merupakan hasil perancangan mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, sehingga diperlukan alat yang sudah teruji secara standar.



DAFTAR PUSTAKA

- Birnie, Dunbar P. 2005. *MBE – Molecular Beam Epitaxial Growth of Semiconductors*. Department of Material Science and Engineering Rutgers University.
- Dorf, Richard C. 1997. *The Electrical Engineering Handbook Second Edition*. CRC Press. United States of America.
- Ekasari, Vitriany., Gatut Yudhoyono. 2013. *Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum) Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating*. Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Frankhauser. 2011. Spectrophotometer Use and Beer's Law. <http://biology.clc.uc.edu/courses/bio111/Beerslaw%20Intro.htm>. Diakses pada 2 Juli 2015.
- Grätzel, Michael. 2005. *Photovoltaic performance and long-term stability of dye-sensitized mesoscopic solar cells*. Laboratory for Photonics and Interfaces, École polytechnique fédérale, CH-1015 Lausanne, Switzerland.
- Guttman, W. Hopkins. 1983. *Understanding Biology*. New York : Harcourt Brace Jovanovich, Inc.
- Hidayat, Aldy Satria., Mamat Rokhmat., dan Ahmad Qurthobi. 2014. *Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Berbahan Dasar TiO₂*. Universitas Telkom. Bandung.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012. *Kajian Indonesia Energy Outlook*. Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kumara, Maya Sukma Widya, Drs. Gontjang Prajitno, M.Si. 2012. *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC*. Surabaya : Digilib ITS.
- Nuryadi, Ratno. 2012. *Fabrikasi Sel Surya Tersensitasi Zat Warna Bebas Semikonduktor TiO₂ dengan Metode Elektroforesis*. Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta.
- Pasquarelli, Robert. 2011. *Solution Processing of Transparent Conductors: From Flask to Film*. Chemical Society Reviews.
- Pramono, Sholeh Hadi., Eka Maulana., dan Teguh Utomo. 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.

Purwanto, Romli., dan Gontjang Prajitno. 2013. *Variasi Kecepatan dan Waktu Pemutaran Spin Coating dalam Pelapisan TiO₂ untuk Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Manggis (Garcinia Mangostana) sebagai Dye Sensitizer*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Rahayu, S., R. Nuryadi., L. Aprilia., dan H. Purwati. 2012. *Pengaruh Tegangan dan Waktu Deposisi Terhadap Pelapisan TiO₂ dengan Metode Elektroforesis*. Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta.

Santoso. 2004. *Fisiologi Tumbuhan*. Bengkulu : Universitas Muhammadiyah Bengkulu.

Sembiring, Muhammad. Aulia. Rahman. 2015. *PENGARUH VARIASI KETEBALAN TITANIUM DIOKSIDA (TiO₂) TERHADAP DAYA KELUARAN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)*. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang

Septina,Septina dkk., Dimas Fajarisandi., dan Mega Aditia. 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik- Inorganik*. Penghargaan PT. Rekayasa Industri Penelitian Bidang Energi. Jakarta.

Trianiza, Ice., dan Gatut Yudoyono, 2009. *Fabrikasi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) dengan Teknik Pelapisan Spin Coating Menggunakan Kaca ITO dan FTO sebagai Substrat dan Variasi Jahe Merah (Zingiber Officinale Var Rubrum) sebagai Dye Sensitiser*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Uthirakumar, A. P., 2011. *Fabrication of ZnO Based Dye Sensitized Solar Cells*. Nanoscience Centre for Optoelectronics and Energy Devices, Sona College of Technology.

Zhang, H., dan Banfield. 2000. *Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from TiO₂*. J-Phys Chem B, vol. 104.

LAMPIRAN

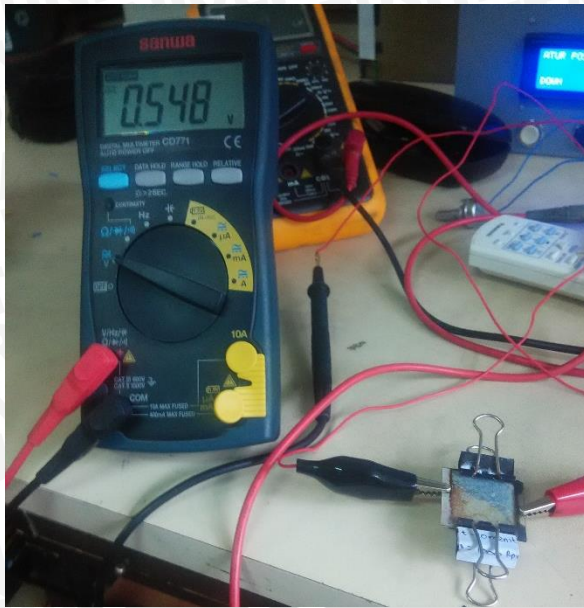


UNIVERSITAS BRAWIJAYA

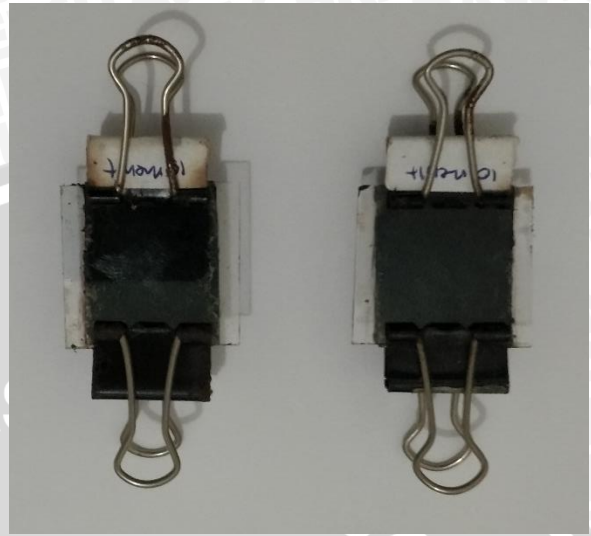


Lampiran 1.

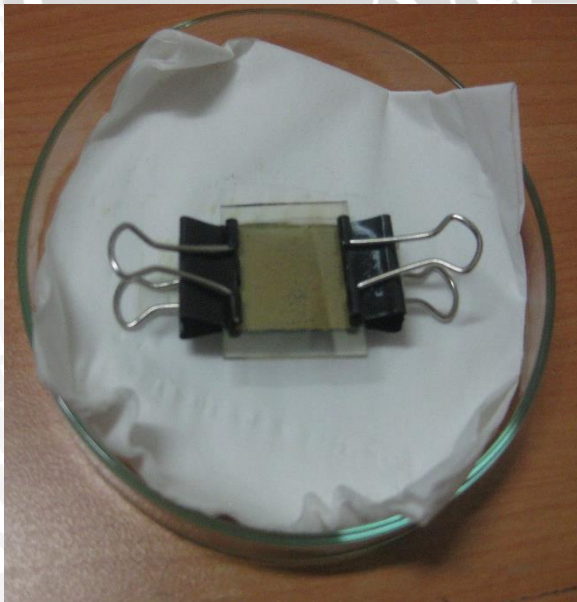
Dokumentasi Penelitian



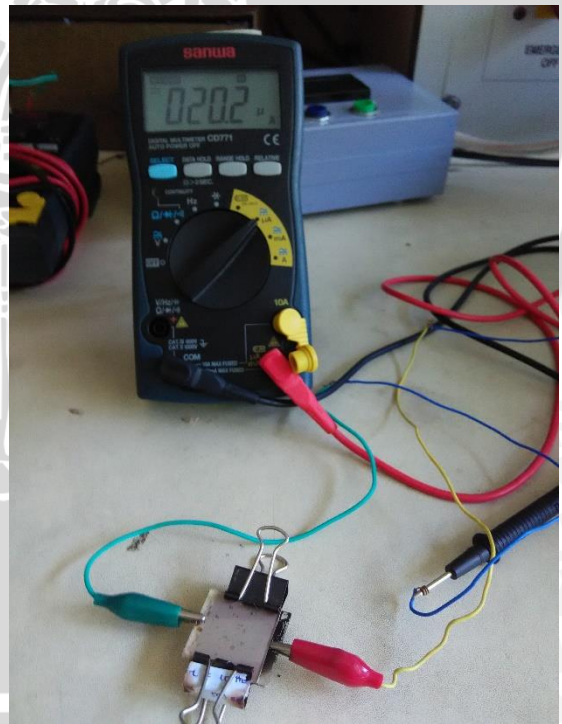
Gambar Pengujian tegangan



Gambar Hasil perakitan DSSC



Gambar Hasil perakitan DSSC



Gambar Pengujian arus

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 2.

Pengujian Absorbansi klorofil

RAW Data hasil Spectrophotometer



λ (nm)	Abs (a.u)
300	4
301	4
302	4
303	4
304	4
305	4
306	4
307	4
308	4
309	4
310	4
311	4
312	4
313	4
314	4
315	4
316	4
317	4
318	4
319	4
320	4
321	4
322	4
323	4
324	4
325	4
326	4
327	4
328	4
329	4
330	4
331	4
332	4
333	4
334	4
335	4
336	4
337	4
338	4
339	4
340	4

341	4
342	4
343	4
344	4
345	4
346	4
347	4
348	4
349	4
350	4
351	4
352	4
353	4
354	4
355	4
356	4
357	4
358	4
359	4
360	4
361	4
362	4
363	4
364	4
365	4
366	4
367	4
368	4
369	4
370	4
371	4
372	4
373	4
374	4
375	4
376	4
377	4
378	4
379	4
380	4
381	4
382	4
383	4

384	4
385	4
386	4
387	4
388	4
389	4
390	4
391	4
392	4
393	4
394	4
395	4
396	4
397	4
398	4
399	4
400	4
401	4
402	4
403	4
404	4
405	4
406	4
407	4
408	4
409	4
410	4
411	4
412	4
413	4
414	4
415	4
416	4
417	4
418	4
419	4
420	4
421	4
422	4
423	4
424	4
425	4
426	4

427	4
428	4
429	4
430	4
431	4
432	4
433	4
434	4
435	4
436	4
437	4
438	4
439	4
440	4
441	4
442	4
443	4
444	4
445	4
446	4
447	4
448	4
449	4
450	4
451	4
452	4
453	4
454	4
455	4
456	4
457	4
458	4
459	4
460	4
461	4
462	4
463	4
464	4
465	4
466	4
467	4
468	4
469	4

470	4
471	4
472	4
473	4
474	4
475	4
476	4
477	4
478	4
479	4
480	4
481	4
482	4
483	4
484	4
485	4
486	4
487	4
488	4
489	4
490	4
491	4
492	4
493	4
494	4
495	4
496	4
497	4
498	4
499	4
500	4
501	4
502	4
503	4
504	4
505	4
506	4
507	4
508	4
509	3,987
510	3,951
511	3,845
512	3,713

513	3,631
514	3,501
515	3,41
516	3,296
517	3,191
518	3,121
519	3,035
520	2,958
521	2,901
522	2,841
523	2,786
524	2,737
525	2,697
526	2,657
527	2,627
528	2,605
529	2,591
530	2,576
531	2,571
532	2,575
533	2,576
534	2,58
535	2,584
536	2,566
537	2,534
538	2,522
539	2,5
540	2,466
541	2,422
542	2,376
543	2,321
544	2,264
545	2,204
546	2,151
547	2,096
548	2,047
549	2,004
550	1,965
551	1,933
552	1,903
553	1,877
554	1,854
555	1,835

556	1,818
557	1,803
558	1,79
559	1,779
560	1,768
561	1,759
562	1,75
563	1,741
564	1,734
565	1,727
566	1,72
567	1,713
568	1,707
569	1,7
570	1,694
571	1,689
572	1,684
573	1,679
574	1,675
575	1,672
576	1,67
577	1,669
578	1,67
579	1,671
580	1,675
581	1,681
582	1,688
583	1,698
584	1,709
585	1,723
586	1,739
587	1,756
588	1,775
589	1,796
590	1,819
591	1,843
592	1,87
593	1,899
594	1,932
595	1,966
596	2,003
597	2,043
598	2,083

599	2,125
600	2,167
601	2,207
602	2,244
603	2,28
604	2,312
605	2,339
606	2,364
607	2,381
608	2,397
609	2,408
610	2,412
611	2,411
612	2,407
613	2,4
614	2,389
615	2,373
616	2,354
617	2,334
618	2,313
619	2,29
620	2,269
621	2,248
622	2,23
623	2,213
624	2,2
625	2,189
626	2,181
627	2,18
628	2,183
629	2,192
630	2,208
631	2,234
632	2,268
633	2,31
634	2,363
635	2,426
636	2,502
637	2,589
638	2,687
639	2,791
640	2,906
641	3,014

642	3,132
643	3,242
644	3,344
645	3,434
646	3,505
647	3,55
648	3,584
649	3,6
650	3,612
651	3,632
652	3,622
653	3,608
654	3,596
655	3,582
656	3,576
657	3,563
658	3,552
659	3,532
660	3,518
661	3,504
662	3,504
663	3,495
664	3,471
665	3,471
666	3,467
667	3,451
668	3,449
669	3,443
670	3,442
671	3,442
672	3,438
673	3,432
674	3,415
675	3,383
676	3,32
677	3,193
678	2,984
679	2,727
680	2,453
681	2,188
682	1,941
683	1,72
684	1,523

685	1,357
686	1,214
687	1,094
688	0,993
689	0,904
690	0,831
691	0,769
692	0,717
693	0,673
694	0,636
695	0,606
696	0,58
697	0,557
698	0,537
699	0,52
700	0,504
701	0,5
702	0,497
703	0,483
704	0,475
705	0,47
706	0,467
707	0,463
708	0,456
709	0,451
710	0,45
711	0,447
712	0,445
713	0,443
714	0,441
715	0,437
716	0,435
717	0,434
718	0,431
719	0,427
720	0,424
721	0,42
722	0,419
723	0,416

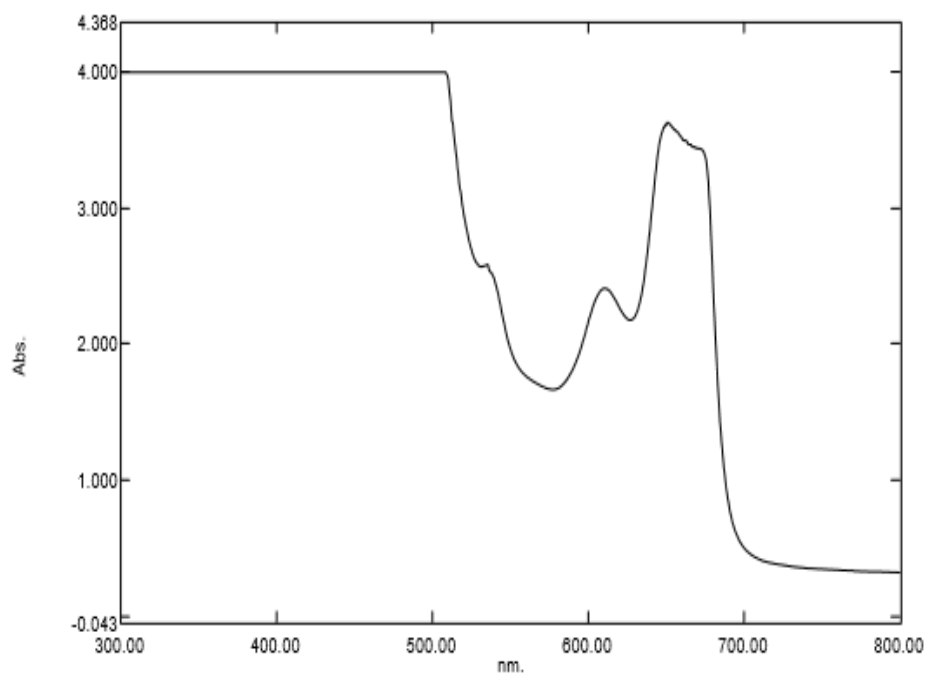
724	0,413
725	0,41
726	0,396
727	0,397
728	0,394
729	0,394
730	0,394
731	0,393
732	0,392
733	0,39
734	0,298
735	0,296
736	0,296
737	0,295
738	0,294
739	0,292
740	0,291
741	0,287
742	0,287
743	0,287
744	0,286
745	0,285
746	0,285
747	0,284
748	0,283
749	0,283
750	0,282
751	0,281
752	0,279
753	0,279
754	0,278
755	0,278
756	0,279
757	0,277
758	0,277
759	0,275
760	0,274
761	0,273
762	0,272

763	0,271
764	0,27
765	0,269
766	0,267
767	0,267
768	0,265
769	0,266
770	0,265
771	0,265
772	0,264
773	0,263
774	0,262
775	0,261
776	0,258
777	0,256
778	0,255
779	0,256
780	0,253
781	0,253
782	0,252
783	0,251
784	0,25
785	0,248
786	0,247
787	0,246
788	0,246
789	0,245
790	0,243
791	0,243
792	0,242
793	0,241
794	0,24
795	0,239
796	0,238
797	0,238
798	0,237
799	0,236
800	0,235

Spectrum Peak Pick Report

05/04/2016 04:18:48 PM

Data Set: PEPAYA_161828 - Manipulated



[Measurement Properties]
 Wavelength Range (nm.): 300.0 to 800.0
 Scan Speed: Fast
 Sampling Interval: 0.5

[Instrument Properties]
 Instrument Type: UV-1800 Series
 Measuring Mode: Absorbance
 Slit Width: 1.0

No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	■	651.00	3.632	
2	■	610.50	2.412	
3	■	535.50	2.587	
4	●	627.00	2.180	
5	●	577.50	1.069	
6	●	531.50	2.570	

Lampiran 3.

Datasheet *TCO (Transparent Conductive Oxide)*



SIGMA-ALDRICHsigma-aldrich.com**SAFETY DATA SHEET**

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 4.1 Revision Date 14.01.2012

Print Date 01.05.2014

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING**1.1 Product identifiers**

Product name : Indium tin oxide coated glass slide, rectangular

Product Number : 636916
Brand : Aldrich
CAS-No. : 50926-11-9**1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against**

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheetCompany : Sigma-Aldrich Pte Ltd
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn
Singapore Science Park Road II
SINGAPORE 117528
SINGAPORETelephone : +65 6779 1200
Fax : +65 6779 1822**1.4 Emergency telephone number**

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

2. HAZARDS IDENTIFICATION**2.1 Classification of the substance or mixture**

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 [EU-GHS/CLP]

Skin irritation (Category 2)

Eye irritation (Category 2)

Specific target organ toxicity - single exposure (Category 3)

Classification according to EU Directives 67/548/EEC or 1999/45/EC

Irritating to eyes, respiratory system and skin.

2.2 Label elements

Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008 [CLP]

Pictogram



Signal word : Warning

Hazard statement(s)

H315 : Causes skin irritation.
H319 : Causes serious eye irritation.
H335 : May cause respiratory irritation.

Precautionary statement(s)

P261 : Avoid breathing dust.
P305 + P351 + P338 : IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

Supplemental Hazard Statements

none

According to European Directive 67/548/EEC as amended.

Hazard symbol(s)



R-phrases(s)

R36/37/38

Irritating to eyes, respiratory system and skin.

S-phrases(s)

S26

In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.

2.3 Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.2 Mixtures

Synonyms : ITO coated slide, rectangular

Component	Classification	Concentration
Diindium trioxide		
CAS-No.	1312-43-2	Skin Irrit. 2; Eye Irrit. 2; STOT SE 3; H315, H319, H335 Xi, R36/37/38
EC-No.	215-193-9	
Tin(IV) oxide***		
CAS-No.	18282-10-5	-
EC-No.	242-159-0	

* PBT substance, ** vPvB substance, *** WEL substance

For the full text of the H-Statements and R-Phrases mentioned in this Section, see Section 16

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

General advice

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact

Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Tin/tin oxides, Indium/indium oxides

5.3 Advice for firefighters

Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

5.4 Further information

no data available

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures**

Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust.

6.2 Environmental precautions

Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections

For disposal see section 13.

7. HANDLING AND STORAGE**7.1 Precautions for safe handling**

Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols. Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end uses

no data available

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION**8.1 Control parameters**

Components with workplace control parameters

8.2 Exposure controls**Appropriate engineering controls**

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.

Personal protective equipment**Eye/face protection**

Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection

Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it.

Body Protection

impervious clothing, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection

For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator. For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**9.1 Information on basic physical and chemical properties**

a) Appearance	Form: solid
b) Odour	no data available
c) Odour Threshold	no data available
d) pH	no data available
e) Melting point/freezing point	no data available
f) Initial boiling point and boiling range	no data available
g) Flash point	no data available
h) Evaporation rate	no data available
i) Flammability (solid, gas)	no data available
j) Upper/lower flammability or explosive limits	no data available
k) Vapour pressure	no data available
l) Vapour density	no data available
m) Relative density	1,200 g/cm ³
n) Water solubility	no data available
o) Partition coefficient: n-octanol/water	no data available
p) Autoignition temperature	no data available
q) Decomposition temperature	no data available
r) Viscosity	no data available
s) Explosive properties	no data available
t) Oxidizing properties	no data available

9.2 Other safety information
no data available**10. STABILITY AND REACTIVITY****10.1 Reactivity**

no data available

10.2 Chemical stability

no data available

10.3 Possibility of hazardous reactions

no data available

10.4 Conditions to avoid

no data available

10.5 Incompatible materials

Strong oxidizing agents, Potassium, Strong acids, Aluminum, Sodium/sodium oxides, Magnesium

10.6 Hazardous decomposition products

Other decomposition products - no data available

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION**11.1 Information on toxicological effects****Acute toxicity**

no data available

Skin corrosion/irritation

no data available

Serious eye damage/eye irritation

no data available

Respiratory or skin sensitization

no data available

Germ cell mutagenicity

no data available

Carcinogenicity

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity

no data available

Specific target organ toxicity - single exposure

no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure

no data available

Aspiration hazard

no data available

Potential health effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. Causes respiratory tract irritation.
Ingestion	May be harmful if swallowed.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. Causes skin irritation.
Eyes	Causes serious eye irritation.

Signs and Symptoms of Exposure

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

Additional Information

RTECS: Not available

12. ECOLOGICAL INFORMATION**12.1 Toxicity**

no data available

12.2 Persistence and degradability

no data available

12.3 Bioaccumulative potential

no data available

12.4 Mobility in soil

no data available

guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Corporation and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.sigma-aldrich.com and/or the reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.



SIGMA-ALDRICH®

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

Website: www.sigmaaldrich.comEmail USA: techserv@sial.comOutside USA: eurtechserv@sial.com

Product Specification

Product Name:Indium tin oxide coated glass slide, rectangular - surface resistivity 15-25 Ω /sq, slide**Product Number:**

636916

 $\text{In}_2\text{O}_3 / \text{SnO}_2$ **CAS Number:**

50926-11-9

MDL:

MFCD00171662

TEST**Specification**

Miscellaneous Assay
Slide 25 x 75 x 1.1 mm

Surface Resistivity
15-25 OHM

Conforms

Conforms

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

Lampiran 4.
Datasheet TiO₂



SIGMA-ALDRICHsigma-aldrich.com**SAFETY DATA SHEET**

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 5.4 Revision Date 13.03.2014

Print Date 01.05.2014

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking**1.1 Product identifiers**

Product name : Titanium(IV) oxide

Product Number : 718467

Brand : Aldrich

REACH No. : A registration number is not available for this substance as the substance or its uses are exempted from registration, the annual tonnage does not require a registration or the registration is envisaged for a later registration deadline.

CAS-No. : 13463-67-7

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn
Singapore Science Park Road II
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200

Fax : +65 6779 1822

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

SECTION 2: Hazards identification**2.1 Classification of the substance or mixture**

Not a hazardous substance or mixture according to Regulation (EC) No. 1272/2008.
This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

2.2 Label elements

The product does not need to be labelled in accordance with EC directives or respective national laws.

2.3 Other hazards - none**SECTION 3: Composition/information on ingredients****3.1 Substances**

Formula : O₂Ti

Molecular Weight : 79,87 g/mol

CAS-No. : 13463-67-7

EC-No. : 236-675-5

No components need to be disclosed according to the applicable regulations.

SECTION 4: First aid measures**4.1 Description of first aid measures****General advice**

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact

Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

The most important known symptoms and effects are described in the labelling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

no data available

SECTION 5: Firefighting measures**5.1 Extinguishing media****Suitable extinguishing media**

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Titanium/titanium oxides

5.3 Advice for firefighters

Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

5.4 Further information

no data available

SECTION 6: Accidental release measures**6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures**

Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapours, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Avoid breathing dust.

For personal protection see section 8.

6.2 Environmental precautions

Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections

For disposal see section 13.

SECTION 7: Handling and storage**7.1 Precautions for safe handling**

Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed.

For precautions see section 2.2.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end use(s)

Apart from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.

Personal protective equipment

Eye/face protection

Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection

Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it.

Full contact

Material: Nitrile rubber

Minimum layer thickness: 0,11 mm

Break through time: 480 min

Material tested: Dermatrik® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

Splash contact

Material: Nitrile rubber

Minimum layer thickness: 0,11 mm

Break through time: 480 min

Material tested: Dermatrik® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

data source: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, phone +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, test method: EN374

If used in solution, or mixed with other substances, and under conditions which differ from EN 374, contact the supplier of the CE approved gloves. This recommendation is advisory only and must be evaluated by an industrial hygienist and safety officer familiar with the specific situation of anticipated use by our customers. It should not be construed as offering an approval for any specific use scenario.

Body Protection

Choose body protection in relation to its type, to the concentration and amount of dangerous substances, and to the specific work-place. The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection

Respiratory protection is not required. Where protection from nuisance levels of dusts are desired, use type N95 (US) or type P1 (EN 143) dust masks. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Control of environmental exposure

Do not let product enter drains.

SECTION 9: Physical and chemical properties**9.1 Information on basic physical and chemical properties**

- | | |
|---|---------------------------------------|
| a) Appearance | Form: nano particles
Colour: white |
| b) Odour | no data available |
| c) Odour Threshold | no data available |
| d) pH | no data available |
| e) Melting point/freezing point | Melting point/range: 1.850 °C |
| f) Initial boiling point and boiling range | no data available |
| g) Flash point | no data available |
| h) Evaporation rate | no data available |
| i) Flammability (solid, gas) | no data available |
| j) Upper/lower flammability or explosive limits | no data available |
| k) Vapour pressure | no data available |
| l) Vapour density | no data available |
| m) Relative density | no data available |
| n) Water solubility | no data available |
| o) Partition coefficient: n-octanol/water | no data available |
| p) Auto-ignition temperature | no data available |
| q) Decomposition temperature | no data available |
| r) Viscosity | no data available |
| s) Explosive properties | no data available |
| t) Oxidizing properties | no data available |

9.2 Other safety information

no data available

SECTION 10: Stability and reactivity**10.1 Reactivity**

no data available

10.2 Chemical stability

Stable under recommended storage conditions.

10.3 Possibility of hazardous reactions

no data available

10.4 Conditions to avoid

no data available

10.5 Incompatible materials

Strong acids

- 10.6 Hazardous decomposition products**
 Other decomposition products - no data available
 In the event of fire: see section 5

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity

LD50 Oral - rat - > 10.000 mg/kg

LD50 Dermal - rabbit - > 10.000 mg/kg

Skin corrosion/irritation

Skin - Human

Result: Mild skin irritation - 3 h

Serious eye damage/eye irritation

Eyes - rabbit

Result: No eye irritation

Respiratory or skin sensitisation

Will not occur

Germ cell mutagenicity

Hamster

ovary

Micronucleus test

Hamster

Lungs

DNA inhibition

Hamster

ovary

Sister chromatid exchange

mouse

Micronucleus test

Carcinogenicity

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity

no data available

Specific target organ toxicity - single exposure

no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure

no data available

Aspiration hazard

no data available

Additional Information

RTECS: XR2275000

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

SECTION 12: Ecological information

12.1 Toxicity

Toxicity to fish LC50 - other fish - > 1.000 mg/l - 96 h
 Aldrich - 718467

SECTION 16: Other information**Further information**

Copyright 2014 Sigma-Aldrich Co. LLC. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Corporation and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.sigma-aldrich.com and/or the reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

Website: www.sigmaaldrich.comEmail USA: techserv@sial.comOutside USA: eurtechserv@sial.com

Product Specification

Product Name:

Titanium(IV) oxide, anatase - nanopowder, <25 nm particle size, 99.7% trace metals basis

Product Number:

637254

CAS Number:

1317-70-0

MDL:

MFCD00011269

Formula:

O2Ti

Formula Weight:

79.87 g/mol

TiO₂**TEST****Specification**

Appearance (Color)

White

Appearance (Form)

Powder

X-Ray Diffraction

Conforms to Structure

Particle Size

≤ 25 nm

Surface Area

45 - 55 m²/g

ICP Major Analysis

Confirmed

Confirms Titanium Component

Purity

Meets Requirements

99.7% Based On Trace Metals Analysis

Trace Metal Analysis

≤ 4000.0 ppm

Specification: PRD.0.ZQ5.10000056619

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 5.

Datasheet PVA (*Polyvinyl Alcohol*)





114266 Polyvinyl alcohol

protective colloid for argentometric titration

For general questions please contact our
Customer Service:

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt
Germany
Phone: +49 6151 72-0
Fax: +49 6151 72 2000

02 May 2014

Product number	Packaging	Qty/Pk	Price
1142660100	Plastic bottle	100 g	price on request

Prices are subject to change without notice.

Product information

Synonyms	PVA, PVOH
Hill Formula	$(C_2H_4O)_n$
HS Code	3905 30 00
CAS number	9002-89-5

Chemical and physical data

Solubility	(20 °C) insoluble
Melting point	160 - 240 °C
Bulk density	400 - 670 kg/m ³

Safety information

RTECS	TR8100000
Storage class	10 - 13 Other liquids and solids
WGK	WGK 1 slightly water endangering
Disposal	3 Relatively unreactive organic reagents should be collected in container A. If halogenated, they should be collected in container B. For solid residues use container C.

Toxicological data

LD 50 oral

LD50 rat > 2000 mg/kg

© Merck KGaA, Darmstadt, Germany, pls-customerservice(at)merck.de, 2014

Lampiran 6.
Datasheet Iodine





104761 Iodine

sublimated for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

For general questions please contact our

Customer Service:

Merck KGaA
 Frankfurter Str. 250
 64293 Darmstadt
 Germany
 Phone: +49 6151 72-0
 Fax: +49 6151 72 2000

02 May 2014

Iodine, resublimated for analysis, is used to prepare Weigert's iodine solution, which is used when demonstrating [elastic fibers according to van Gieson](#) and the various [trichrome connective tissue stains](#).

Product number	Packaging	Qty/Pk	Price
1047610100	Glass bottle	100 g	price on request
1047610500	Glass bottle	500 g	price on request

Prices are subject to change without notice.

Product information


Grade	ACS,ISO,Reag. Ph Eur
Hill Formula	I ₂
HS Code	2801 20 00
EC number	231-442-4
Molar mass	253.8 g/mol
EC index number	053-001-00-3
CAS number	7553-56-2

Chemical and physical data

Solubility	0.3 g/l (20 °C)
Melting point	114 °C
Molar mass	253.8 g/mol
Density	4.93 g/cm ³ (20 °C)



Bulk density	2100 kg/m ³
pH value	5.4 (H ₂ O) (saturated solution)
Boiling point	185 °C (1013 hPa)
Vapor pressure	0.41 hPa (25 °C)
Viscosity kinematic	0.57 mm ² /s (116 °C) liquid

Safety information according to GHS

Hazard Statement(s)	H312 + H332: Harmful in contact with skin or if inhaled. H315: Causes skin irritation. H319: Causes serious eye irritation. H335: May cause respiratory irritation. H372: Causes damage to organs (/*_ORG_REP_ORAL/*) through prolonged or repeated exposure if swallowed. H400: Very toxic to aquatic life.
Precautionary Statement(s)	P273: Avoid release to the environment. P302 + P352: IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water. P305 + P351 + P338: IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. P314: Get medical advice/ attention if you feel unwell.
Signal Word	Danger
Hazard Pictogram(s)	
RTECS	NN1575000
Storage class	6.1 D Non combustible, acute toxicity cat. 3 / toxic or substances with chronic effects
WGK	WGK 2 water endangering
Disposal	22 Inorganic peroxides and oxidants as well as bromine and iodine should be rendered harmless by reduction with acidic sodium thiosulfate solution (Cat. No. 106513); container D or E. Slightly soluble oxidants should be collected separately in container E or I.

Safety information

R Phrase	R 20/21-50 Harmful by inhalation and in contact with skin. Very toxic to aquatic organisms.
S Phrase	S 23-25-61 Do not breathe vapour. Avoid contact with eyes. Avoid release to the environment. Refer to special instructions/ Safety data sheets.

Categories of danger	harmful, dangerous for the environment
Hazard Symbol	 Harmful  Dangerous for the environment

Transport information	
Declaration (railroad and road) ADR, RID	UN 3495 Iod, 8 (6.1), III
Declaration (transport by sea) IMDG-Code	UN 3495 IODINE, 8 (6.1), III, Marine Pollutant: P
Declaration (transport by air) IATA-DGR	UN 3495 IODINE, 8 (6.1), III
Toxicological data	
LD 50 oral	LD50 rat 14000 mg/kg
LD 50 dermal	LD50 rabbit 1425 mg/kg

© Merck KGaA, Darmstadt, Germany, pls-customerservice(at)merck.de, 2014

Lampiran 7.

Datasheet Acetonitrile





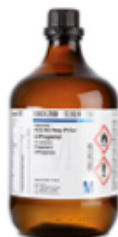
100003 Acetonitrile

for analysis EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur

For general questions please contact our
Customer Service:

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt
Germany
Phone: +49 6151 72-0
Fax: +49 6151 72 2000

02 May 2014



EMSURE® grade solvents are suitable for a broad spectrum of classical lab applications, and are frequently used in regulated and highly demanding lab applications. EMSURE® provides worldwide best and most extensive product specifications. We declare our EMSURE® range to be in compliance with the ACS, with the reagent part of the European Pharmacopoeia (Reag. Ph Eur) and also with the ISO standards.

Product number	Packaging	Qty/Pk	Price
1000031000	Glass bottle	1 l	price on request
1000032500	Glass bottle	2.5 l	price on request
1000034000	Glass bottle	4 l	price on request
1000036010	Drum stainl. st.	10 l	price on request
1000036025	Drum stainl. st.	25 l	price on request
1000039025	Steel barrel	25 l	price on request

Prices are subject to change without notice.


Accessories

106710	Withdrawal system for stainless steel barrels and drums with threaded adapter and flexible lines, for gas pressurizing, additionally necessary: dip tube suit the particular type of container
964205	Reducing valve, 0.2 bar with 2 tube connections 6 x 8 mm and integrated excess pressure safety device 0.5 bar
902335	Dip tube for 10 l stainless steel drum for withdrawal systems with 2" thread adapter
901756	Dip tube for 25 l stainless steel drum for withdrawal systems with 2" thread adapter

[Show all](#)

Product information	
Grade	ACS,Reag. Ph Eur
Synonyms	ACN, Methyl cyanide, Ethyl nitrile, Cyanomethane
Hill Formula	C ₂ H ₃ N
Chemical formula	CH ₃ CN
HS Code	2926 90 95
EC number	200-835-2
Molar mass	41.05 g/mol
EC index number	608-001-00-3
CAS number	75-05-8



Chemical and physical data	
Ignition temperature	524 °C
Solubility	(20 °C) soluble
Melting point	-45.7 °C
Molar mass	41.05 g/mol
Density	0.786 g/cm ³ (20 °C)
Boiling point	81.6 °C (1013 hPa)
Vapor pressure	97 hPa (20 °C)
Explosion limit	3.0 - 17 %(V)
Flash point	2 °C
Refractive index	1.34

Safety information according to GHS	
Hazard Statement(s)	H225: Highly flammable liquid and vapour. H302 + H312 + H332: Harmful if swallowed, in contact with skin or if inhaled H319: Causes serious eye irritation.
Precautionary Statement(s)	P210: Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking. P240: Ground/bond container and receiving equipment. P302 + P352: IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water. P305 + P351 + P338: IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. P403 + P233: Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed.
Signal Word	Danger
Hazard Pictogram(s)	



RTECS	AL7700000
Storage class	3 Flammable liquids
WGK	WGK 2 water endangering
Disposal	1 Strongly contaminated halogen-free organic solvents: container A

Safety information

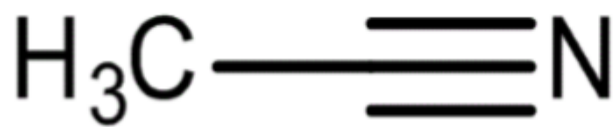
R Phrase	R 11-20/21/22-36 Highly flammable.Harmful by inhalation, in contact with skin and if swallowed.Irritating to eyes.
S Phrase	S 16-36/37 Keep away from sources of ignition - No smoking.Wear suitable protective clothing and gloves.
Categories of danger	highly flammable, harmful, irritant
Hazard Symbol	 Flammable  Harmful

Transport information

Declaration (railroad and road) ADR, RID	UN 1648 Acetonitril, 3, II
Declaration (transport by sea) IMDG-Code	UN 1648 ACETONITRILE, 3, II
Declaration (transport by air) IATA-DGR	UN 1648 ACETONITRILE, 3, II

Toxicological data

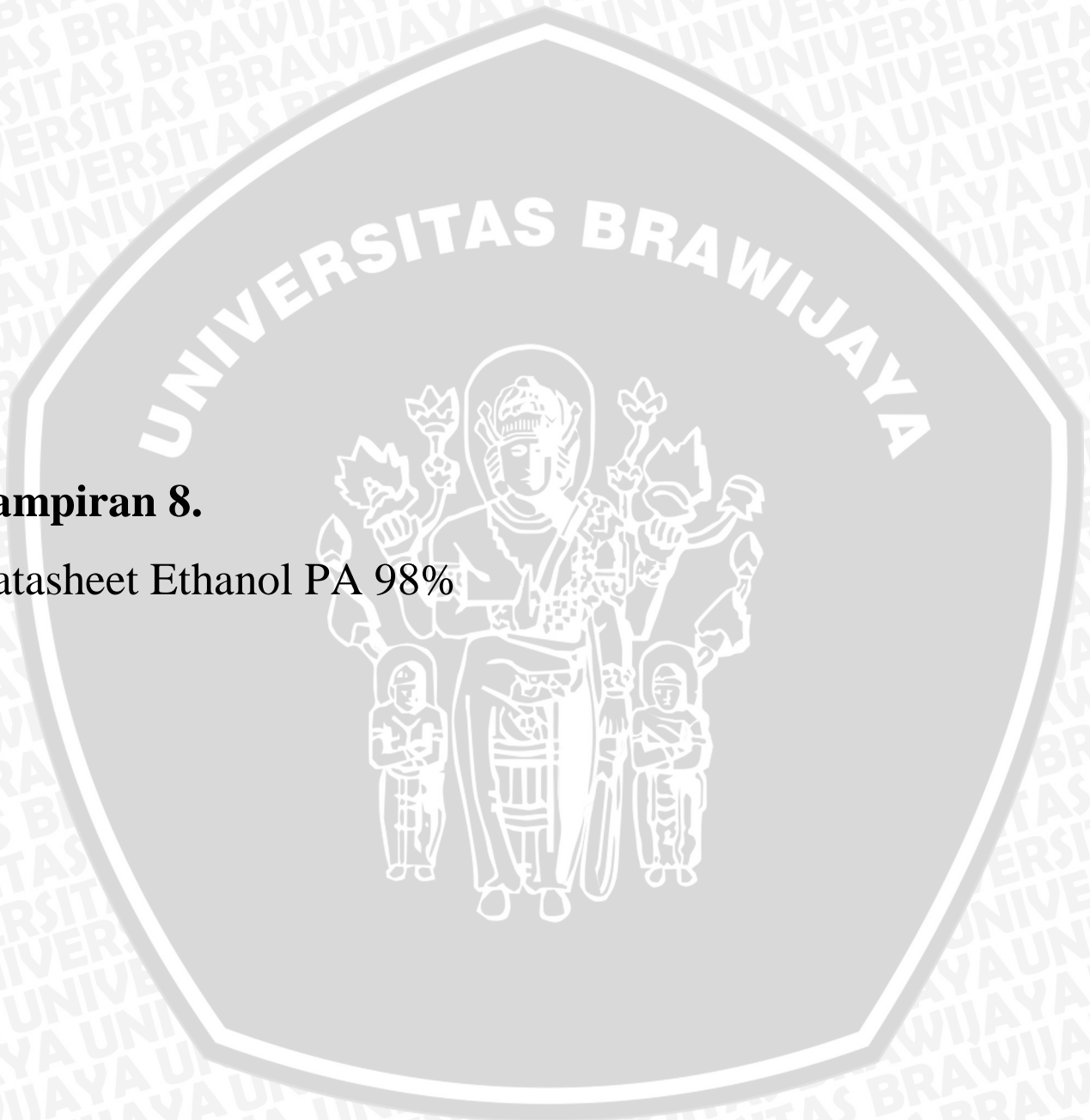
LD 50 dermal	LD50 rabbit > 2000 mg/kg



© Merck KGaA, Darmstadt, Germany, pls-customerservice(at)merck.de, 2014

Lampiran 8.

Datasheet Ethanol PA 98%



MATERIAL SAFETY DATA SHEET**ETHANOL**

Code No.	: A - 1035	Version	001 / IX / 2011
Specification	: AR	Print Date	08 / 09 / 2011
Formula	: C ₂ H ₅ OH	Page	1 / 3

**Manufacturer Information :**

Company Name : **PT. SMART-LAB INDONESIA**
 Taman Tekno Bangunan Multiguna Blok M / 36 BSD Sektor XI
 Serpong, Tangerang – Indonesia 15314

Telephone : (62-21) 7588 0205 (Hunting)
Fax : (62-21) 7588 0198
E mail : smart-lab@cbn.net.id
Web site : www.smartlab.co.id

1) HAZARD IDENTIFICATION

Route Of Entry Inds - Inhalation: YES Skin: YES Ingestion: YES
 Carcinogenicity Inds - NTP: NO IARC: NO OSHA: NO

Health Hazards Acute And Chronic: TARGET ORGANS: CNS, EYE, SKIN. ACUTE- INHALE: MAY CAUSE HEADACHE, DROWSINESS, IRRITATION OF THROAT. ORAL: NARCOTIC/HEPATOTOXIN. CAN CAUSE CNS DEPRESSION, NAUSEA, VOMITING. EYES: IRRITATION & EYE DAMAGE. SKIN: DEFATTING & IRRITATION. SKIN ABSORPTION MAY OCCUR. CHRONIC- DERMATITIS, CHANGES IN LIVER, KIDNEY & BRAIN.

Explanation of Carcinogenicity: NONE

Signs and Symptoms of Overexposure: IRRITATION, EYE DAMAGE, HEADACHE, DROWSINESS, LACK OF CONCENTRATION, NAUSEA, VOMITING, DIZZINESS, LACK OF COORDINATION, BLURRED VISION, FATIGUE, PAIN, BURNING SENSATION

Medical Conditions Aggravated by Overexposure: INDIVIDUALS WITH PRE-EXISTING DISEASES OF THE EYE, SKIN, RESPIRATORY TRACT, LIVER, KIDNEYS, BRAIN, CNS MAY HAVE INCREASED SUSCEPTIBILITY TO THE TOXICITY OF EXCESSIVE EXPOSURES.

2) FIRST AID

GET IMMEDIATE MEDICAL HELP FOR ALL CASES. EYES: FLUSH WITH WATER FOR 15 MINUTES. HOLD EYELIDS OPEN. SKIN: WASH WITH PLENTY OF WATER. INHALED: REMOVE TO FRESH AIR. PROVIDE CPR/OXYGEN IF NECESSARY. ORAL: IF CONSCIOUS, PROVIDE GASTRIC LAVAGE/EMESIS. ADMINISTRATION OF GASTRIC LAVAGE, OXYGEN/CPR SHOULD BE PERFORMED BY QUALIFIED MEDICAL PERSONNEL.

3) FIRE FIGHTING MEASURES

Flash Point Text: 55.0F, 12.8C
 Auto Ignition Temperature Text:
 Lower Limits: 3.3 Upper Limits: 19
 Extinguishing Media: USE WATER SPRAY, CARBON DIOXIDE (CO₂), ALCOHOL FOAM OR DRY CHEMICAL. USE WATER SPRAY TO COOL FIRE EXPOSED CONTAINERS.

Fire Fighting Procedures: WEAR PROTECTIVE CLOTHING AND NIOSH-APPROVED SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS. SEE 1990 EMERGENCY RESPONSE GUIDEBOOK, DOT P 5800.5.

Unusual Fire/Explosion Hazard: VAPOR IS HEAVIER THAN AIR AND CAN TRAVEL CONSIDERABLE DISTANCE TO A SOURCE OF IGNITION AND FLASH BACK. CONTAINERS MAY RUPTURE DUE TO VAPOR PRESSURE BUILDUP.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET**ETHANOL**

Code No.	: A - 1035	Version	001 / IX / 2011
Specification	: AR	Print Date	08 / 09 / 2011
Formula	: C ₂ H ₅ OH	Page	2 / 3

**4) RELEASE MEASURES**

Spill Release Procedures: WEAR PROTECTIVE EQUIPMENT. ELIMINATE SOURCES OF IGNITION. VENTILATE AREA. CONTAIN AND PICK UP SPILL WITH NON-FLAMMABLE ABSORBENT SUCH AS SAND, EARTH, VERMICULITE. GROUND ALL HANDLING EQUIPMENTS. PREVENT LIQUID FROM ENTERING SEWERS OR WATERWAYS.

Neutralizing Agent: NOT RELEVANT

Waste Disposal Methods: DISPOSE OF IN ACCORDANCE WITH ALL LOCAL, STATE AND FEDERAL REGULATIONS. EPA HAZARDOUS WASTE NUMBER D001.

5) HANDLING AND STORAGE

STORE IN COOL, VENTILATED AREA, AWAY FROM HEAT, FLAMES, SPARKS, HOT SURFACES & INCOMPATIBLE MATERIALS. KEEP CONTAINER TIGHTLY CLOSED.

6) EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Respiratory Protection: NONE NORMALLY REQUIRED. IF TLV IS EXCEEDED OR FOR SYMPTOMS OF OVER EXPOSURE, WEAR NIOSH-APPROVED ORGANIC VAPOR RESPIRATOR OR AIR-PURIFYING RESPIRATOR. IN EMERGENCY, WEAR A NIOSH-APPROVED POSITIVE-PRESSURE SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS.

Ventilation: MECHANICAL (GENERAL AND/OR LOCAL EXHAUST, EXPLOSION-PROOF) VENTILATION TO MAINTAIN EXPOSURE BELOW TLV(S).

Protective Gloves: LATEX/RUBBER

Eye Protection: SAFETY GLASSES/CHEMICAL SPLASH GOGGLES

Other Equipment: SAFETY SHOWER AND EYE WASH FOUNTAIN SHOULD BE LOCATED NEARBY. WEAR APPROPRIATE PROTECTIVE CLOTHING FOR RISK OF EXPOSURE.

Work Hygienic Practices: SAFETY SHOWER AND EYE WASH FOUNTAIN SHOULD BE LOCATED NEARBY. WEAR APPROPRIATE PROTECTIVE CLOTHING FOR RISK OF EXPOSURE.

Supplemental Safety & Health: N/P

7) PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

HCC: F2

Boiling Point:

173F,78C

Melting/Freezing Point:

-179F,-117C

Decomposition Temp:

NOT KNOWN

Vapor Pressure: 40 @ 66F Vapor Density: 1.59

Specific Gravity: 0.7893

PH: N/R

Viscosity: 1.22 CPS @68F

Evaporation Rate & Reference: 1.4 (CCL4=1)

Solubility in Water: COMPLETE

Appearance and Odor: CLEAR, COLORLESS LIQUID - PLEASANT ODOR WITH A BURNING TASTE

Percent Volatiles by Volume: 100

Corrosion Rate: UNKNOWN

MATERIAL SAFETY DATA SHEET**ETHANOL**

Code No.	: A - 1035	Version	001 / IX / 2011
Specification	: AR	Print Date	08 / 09 / 2011
Formula	: C ₂ H ₅ OH	Page	3 / 3

**8) STABILITY AND REACTIVITY**

Stability Indicator: YES

Stability Conditions to Avoid: HEAT, SPARKS, FLAME AND OTHER SOURCES OF IGNITION

Materials to Avoid: STRONG OXIDIZING AGENTS, ALKALI METALS, CHLORINE, ETHYLENE OXIDE, NITRIC ACID

Hazardous Decomposition Products: CARBON MONOXIDE AND/OR CARBON DIOXIDE MAY BE FORMED.

Hazardous Polymerization Products: NO

Conditions to Avoid Polymerization: NOT RELEVANT

9) TOXICOLOGICAL

N/P

10) ECOLOGICAL

N/P

11) DISPOSAL

DISPOSE OF IN ACCORDANCE WITH ALL LOCAL, STATE AND FEDERAL REGULATIONS. EPA HAZARDOUS WASTE NUMBER D001.

12) TRANSPORTATION

N/P

13) REGULATORY

SARA Title III: N/P

Federal Regulatory: N/P

14) OTHER



PT. SMART-LAB INDONESIA

Total Solution For Quality Control Lab

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product Name	:	Ethanol (Absolute)
Catalog No	:	A-1035
Grade	:	Analytical Reagent
Formula	:	C ₂ H ₅ OH
Molecular Weight	:	46.07
Batch No	:	A 160811015
Date	:	August 16, 2011

Description	Unit	Specifications	Result
1) Assay (GC)	wt %	min 99.8	99.972
2) Wt. per ml at 20 °C	g/cm ³	0.789 – 0.792	0.790
3) Colour	Hazen	max 10	5
4) Refractive Index	n _D ²⁰	1.358 – 1.363	1.361
5) Non Volatile Matter	wt %	max 0.001	0.0005
6) Water Content	wt %	max 0.2	0.073
7) Acidity (CH ₃ COOH)	wt %	max 0.002	0.0005
8) Alkanity (NH ₃)	wt %	max 0.0005	0.0001
9) Aldehyde & Ketone	wt %	max 0.001	0.0005
10) Iron (Fe)	wt %	max 0.00001	0.00001
11) Lead (Pb)	wt %	max 0.00005	0.000005
12) Methanol (GC)	wt %	max 0.1	0.016
13) Substances Reducing	wt %	max 0.0004	0.0003

Permanganate

Our Specifications complies with Std. Specifications.

PT. SMART - LAB INDONESIA

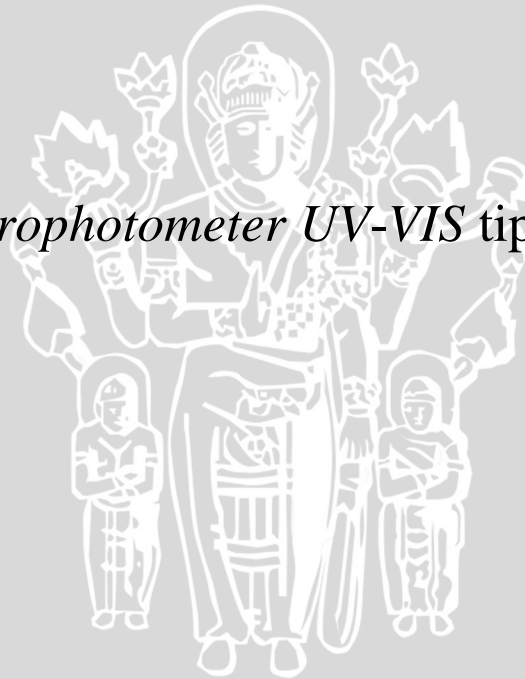
SUDIRO, S.Si

QC Manager

Taman Tekno Bangunan Multiguna Blok M / 36 BSD Sektor XI Serpong, Tangerang - Indonesia
Tel : (62-21) 7588 0205 - 07, Fax : (62-21) 7588 0198 Website : www.smartlab.co.id

Lampiran 9.

Spesifikasi *Spectrophotometer UV-VIS* tipe *UV-1800*



Spesifikasi *Spectrophotometer UV-VIS tipe UV-1800*

Wavelength range	190 to 1100nm
Spectral bandwidth	1nm (190 to 1100nm)
Wavelength display	0.1-nm increments
Wavelength setting	0.1-nm increments (1-nm increments when setting scanning range)
Wavelength accuracy	$\pm 0.1\text{nm}$ at 656.1nm D2 $\pm 0.3\text{nm}$ (190 to 1100nm)
Wavelength repeatability	$\pm 0.1\text{nm}$
Stray light	less than 0.02% NaI at 220nm, NaNO ₂ at 340nm
	less than 1.0% KC 1 at 198nm
Photometric system	Double Beam
Photometric range	Absorbance: -4 to 4 Abs Transmittance: 0% to 400%
Photometric accuracy	± 0.002 Abs (0.5Abs)
	± 0.004 Abs (1.0Abs)
	± 0.006 Abs (2.0Abs)
Photometric repeatability	less than ± 0.001 Abs (0.5Abs)
	less than ± 0.001 Abs (1Abs)
	less than ± 0.003 Abs (2.0Abs)
Baseline stability	less than 0.0003 Abs/H at 700nm (one hour after light source turned ON)
Baseline flatness	within ± 0.0006 Abs (190 to 1100nm, one hour after light source turned ON)
Noise level	Within 0.00005 Abs RMS value (at 700nm)
Dimensions (W×D×H)	450(W) x 490(D) x 270(H)
Weight	15kg

Printers	DPU, ESC/P, PCL printers, USB I/F Windows-compliant printers are available with USB memory and PC software
Memory	USB memory (option) Saved as text and UVPC file
Performance for PC	USB memory+UVProbe (standard) Win XP



Lampiran 10.

Spesifikasi *Scanning Elektron Microscope Phenom G2*

Pro



Phenom Pro

Most professional desktop SEM imaging



Phenom Pro

High-end desktop SEM with superb imaging power

Acceleration voltages

Between 5 kV and 10 kV acceleration voltages for the best resolution on a large variety of samples

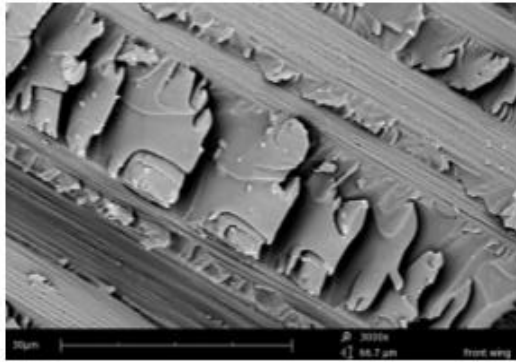
Magnification

Magnification range up to 130,000x

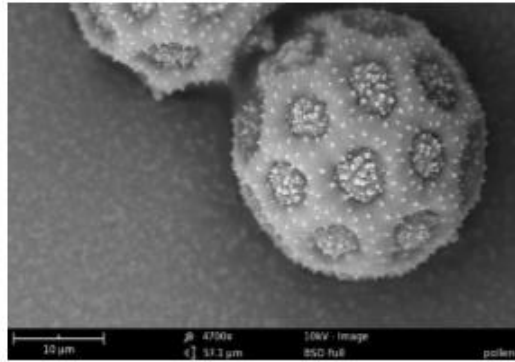
Never lost navigation

Swift navigation to any region of interest

PHENOMWORLD



Carbon fiber composites material.



Pollen

The Phenom Pro is Phenom-World's high-end imaging desktop scanning electron microscope (SEM). In combination with a large range of sample holders and automated system software, it can be tailored to suit a multitude of applications.

Phenom Pro

Phenom-World is focused on enabling its customers to keep pace with continuously shrinking feature sizes and to increase productivity while bringing down the costs of analysis. The Phenom Pro is the most effective and fastest imaging oriented desktop SEM on the market. Its unique design makes it suitable for use in a wide variety of applications and markets. With custom made detection hardware, a high brightness source and a state of the art color navigation camera, it is an extremely powerful desktop SEM. The zoom functionality of the color navigation camera narrows the gap between optical and SEM imaging.

The Phenom Pro is the platform that offers automated and mechanized accessories such as ProSuite and active sample holders.

The Phenom Pro can be upgraded to Phenom ProX with EDS or equipped with the Phenom ProSuite application platform.

Imaging Specifications

Imaging modes

- Light optical Magnification range: 20 - 135x
- Electron optical Magnification range: 80 - 130,000x
- Digital zoom max. 12x

Illumination

- Light optical Bright field / dark field modes
- Electron optical Long lifetime thermionic source (CeB₆)
- Acceleration voltages Default: 5 kV, 10 kV
- Advanced mode: adjustable range between 4,8 kV and 10 kV imaging mode
- Resolution ≤ 10 nm

Digital image detection

- Light optical Color navigation camera
- Electron optical High sensitivity backscattered electron detector (compositional and topographical modes)

Image formats

- Image resolution options JPEG, TIFF, BMP
- 456 x 456, 684 x 684, 1024 x 1024 and 2048 x 2048 pixels

Data storage

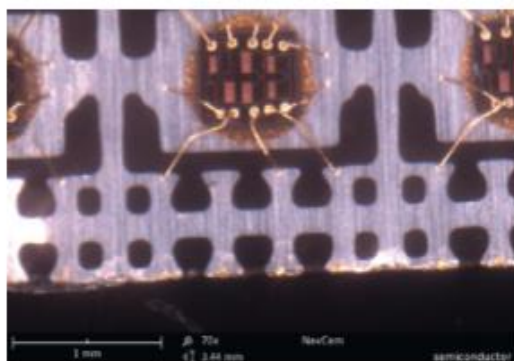
- USB flash drive
- Network

Sample stage

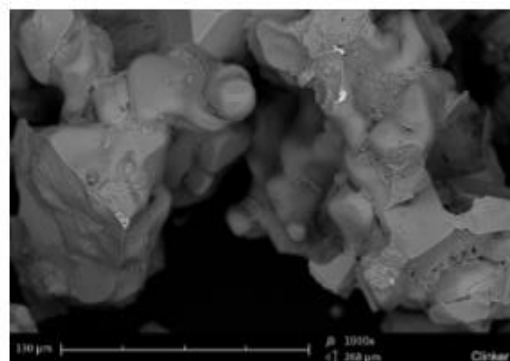
- Sample size Computer-controlled motorized X and Y
- Up to 32 mm (Ø)
- Up to 100 mm (h)

Sample loading time

- Light optical < 5 s
- Electron optical < 30 s



Example of a chip viewed with the navcam



Cement sample

Never lost navigation

The color navigation camera in the Phenom Pro provides information that helps the operator to make a link between the optical and electron optical images. Users are ready to take images after only 10 minutes of basic training. A large variety of sample holders is available to accommodate a large range of samples. Sample loading is fast and easy due to our patented sample vacuum loading technology.

The optical camera, motorized stage and intuitive user interface work together to help navigate swiftly to any region of interest. Upon clicking on the position of the optical image to investigate, the stage automatically centers the region of interest. Switching to electron imaging mode is fully automated and fast at the

touch of just one button. A high resolution image is available within 30 seconds after loading the sample. Saving images is practical and easy on a USB memory stick or network storage location for offline analysis and distribution.

The Phenom Pro is equipped with two acceleration voltages: 5 kV and 10 kV. This allows the users to make higher resolution images at the same magnification, providing even more details from the sample than before. At the same time, the Phenom Pro can be used with the lower beam current setting. The combination of two different acceleration voltages and two beam current settings offers a high level of flexibility, creating the best results for a large variety of samples.

System Specifications

System	<ul style="list-style-type: none"> - Imaging module - 19" monitor - Rotary knob - Mouse - Diaphragm vacuum pump - Power supply - USB flash drive
Dimensions & weight	
• Imaging module	286(w) x 566(d) x 495(h) mm, 50 kg
• Diaphragm vacuum pump	145(w) x 220(d) x 213(h) mm, 4.5 kg
• Power supply	156(w) x 300(d) x 74(h) mm, 3 kg
• Monitor	375(w) x 203(d) x 395(h) mm, 7.9 kg

Requirements

Ambient conditions	
• Temperature	15°C - 30°C (59°F - 86°F)
• Humidity	< 80 % RH
• Power	Single phase AC 110 - 240 Volt, 50/60 Hz, 300 W (max.)
Recommended table size	120 x 75 cm, load rating of 100 kg



ProSuite

ProSuite

ProSuite is an optional application platform that has been developed to further enhance the capabilities of the Phenom system. ProSuite enables maximum information to be extracted from images obtained on the Phenom imaging system. It offers multiple solutions to specific application needs. ProSuite contains standard applications such as Automated Image Mapping and Remote User Interface. Optional applications are 3D Roughness Reconstruction, FiberMetric, ParticleMetric, and PoroMetric. Virtually all the properties of a sample can be revealed using the Phenom desktop SEM in combination with ProSuite.



Phenom ProX

Upgrade to Phenom ProX

The Phenom ProX is the ultimate all-in-one imaging and X-ray analysis system. With the Phenom ProX, sample structures can be physically examined and their elemental composition determined. The optional Elemental Mapping and Line Scan software allows further analysis of the distribution of elements. A dedicated software package is included and installed on the ProSuite PC to control the fully integrated EDS detector. Analysis has become as easy as imaging, since there is no need to switch between external software packages or computers. The latest Phenom Pro models can be upgraded to Phenom ProX at Phenom-World service hubs.

ProSuite Specifications

System	<ul style="list-style-type: none"> Automated collection of images Real-time remote control Intuitive single page user interface Standard applications included: Automated Image Mapping & Remote User Interface
--------	---

Optional

3D Roughness Reconstruction	<ul style="list-style-type: none"> Based on "shape from shading" technology, no stage tilt required Fast reconstruction
FiberMetric	<ul style="list-style-type: none"> Fast and automated collection of all statistical data Large range of fibers and pores can be measured
ParticleMetric	Morphology and particle size data for submicron particle applications
PoroMetric	Fully automated visualization and analysis of pores

EDS Specifications

Detector type	<ul style="list-style-type: none"> Silicon Drift Detector (SDD) Thermoelectrically cooled (LN₂ free)
• Detector active area	25 mm ²
• X-ray window	Ultra thin Silicon Nitride (Si ₃ N ₄) window allowing detection of elements B to Am
• Energy resolution	Mn Kα ≤ 137 eV
• Processing capabilities	Multi-channel analyzer with 2048 channels at 10 eV/ch
• Max. input count rate	300,000 cps
• Hardware integration	Fully embedded
Software	<ul style="list-style-type: none"> Integrated in Phenom ProSuite Integrated column and stage control Auto-peak ID Iterative strip peak deconvolution Confidence of analysis indicator Export functions: CSV, JPG, TIFF, ELID, EMSA
Report	Docx format

Phenom-World BV, Dillenburgerstraat 9T, 5652 AM Eindhoven, The Netherlands, www.phenom-world.com
 © 2016. Specifications and prices are subject to change without notice. All rights reserved. Reproduction, copying, using, modifying, hiring, renting, public performance, transmission and/or broadcasting in whole or in part is prohibited without the written consent of Phenom-World BV. Find your Phenom-World contact information at www.phenom-world.com

PHENOMWORLD