

**PENGARUH VARIASI UKURAN SCREEN PADA PROSES DEPOSISI
TiO₂ PADA PERANCANGAN *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL*
(DSSC)**

**SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRONIKA**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh:

DEBY RHIZKY PRADIKA

NIM. 0910633039 – 63

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2016**



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI UKURAN SCREEN PADA PROSES DEPOSISI TIO₂
PADA PERANCANGAN *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



DEBY RHIZKY PRADIKA

NIM. 0910633039 - 63

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 19 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc
NIP. 19580728 198701 1001

Eka Maulana, ST., MT., M.Eng
NIK. 20120184 1130 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan/Ketua Program Studi

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001



JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH VARIASI UKURAN SCREEN PADA PROSES DEPOSISI PADA PERANCANGAN *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

Nama Mahasiswa : Deby Rhizky Pradika

NIM : 0910633039

Program Studi : Teknik Elektro

Minat : Teknik Elektronika

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc.

Anggota : Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1. : Akhmad Zainuri, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo. ,ST., MT.....

Tanggal Ujian : 19 Agustus 2016

SK Penguji : 1062/UN10.6/SK/2016





PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2, dan pasal 70)

Malang, 12 Agustus 2016

Mahasiswa,

Materai Rp. 6000,-

Deby Rhizky Pradika

0910633039





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta*



PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim.

Puji syukur kepada Tuhan YME atas segala petunjuk serta nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi berjudul “ Pengaruh Metode Deposisi Pasta TiO_2 Pada Perancangan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- Keluarga tercinta, kedua orang tua yaitu Ayah Suprpto tercinta., Mama Sri Rahayu Sugiharti tercinta, serta Kakak Eva Chandra Novitasari, dan Keluarga Besar yang senantiasa mendoakan dan memberi semangat selama penyusunan skripsi ini.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT, Ph.D sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Retnowati, MT., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis atas segala nasehat dan bimbingan yang telah diberikan,
- Bapak Ali Mustofa ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro.
- Bapak Ir. Nurrussa'adah, M.T. sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Elektronika sekaligus dosen favorite saya yang memberikan banyak ilmu, inspirasi dan selalu dengan sabar mengingatkan saya untuk menyelesaikan skripsi.
- Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc., selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan.
- Eka Maulana, ST.,MT.,MEng., selaku Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan.
- Seluruh dosen TEUB yang selama ini telah memberikan ilmu yang sangat berharga kepada penulis.

- Staf Rekording, staf Pengajaran, dan staf Ruang Baca Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu segala urusan penulis selama ini.
- Saudara-saudara khususnya Ade Barlian Tandiono, Ridho, Fatahillah, Akroma, Zilla, Fariz, Doddy, Farid, Donny, Tadu, Rezhananta, Rafi, Onny, Nandana, Okta, Asfari, Arga, Imam, Andy, Rio, Okky dan Taufiq yang selalu ada untuk memberikan cerita, canda tawa, bantuan, saran, motivasi dan semangat setiap saat dalam suka maupun duka.
- Tsabita Fidini Cahya Ningrum yang telah membantu baik secara moral dan dukungan langsung yang selalu membangkitkan semangat hingga akhir penelitian ini.
- Teman-teman konsentrasi Elektronika angkatan 2009 TEUB atas kebersamaan, bantuan, masukan dan kerjasamanya.
- Rekan-rekan Laboratorium Elektronika dan Laboratorium Processing TEUB atas bantuan alat dan ilmunya.
- Rekan-rekan yang membantu dalam mengerjakan skripsi, Doddy, Farid, Ade Bete, Ridho dan banyak lainnya atas segala bantuan dan waktu yang sudah diberikan dalam pengerjaan skripsi.
- Semua anggota Ampere 2009, teman-teman Elektro dari berbagai angkatan dan teman-teman Fakultas Teknik lainnya atas seluruh bantuan dan dukungannya.
- Teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu, yang telah membantu semangat serta doa sehingga penelitian ini bisa diselesaikan.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 12 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
RINGKASAN.....	xi
SUMMARY.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
3.1 Rumusan Masalah.....	3
3.2 Batasan Masalah	3
3.3 Tujuan	4
3.4 Sistematika Penulisan	4
BAB II	7
DASAR TEORI.....	7
2.1 <i>Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	7
2.2 Prinsip Kerja	8
2.3 Perfomansi Sel Surya.....	8
2.4 Material / Komponen Penyusun DSSC.....	9
2.4.1 Substrat.....	9
2.4.2 Nanopartikel TiO ₂	10
2.4.3 Zat Pewarna (<i>Dye</i>) Klorofil.....	11
2.4.4 Elektrolit(I ⁻ /I ₃ ⁻).....	12
2.4.5 Counter-Electrode.....	13

2.5	Fabrikasi DSSC	13
2.6	<i>Spectrophotometer UV-Visible</i>	14
2.7	<i>Magnetic Stirrer dan Magnetic Stir Bar</i>	15
2.8	Pelarut	15
2.9	Scale	16
2.10	<i>Furnace</i>	16
2.11	<i>Screen</i>	17
BAB III		19
METODE PENELITIAN		19
3.1	Pembuatan <i>Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	20
3.2	Penentuan Variabel & Perlakuan Uji DSSC	21
3.3	Variabel Output dan Pengukuran	22
3.4	<i>Set Up</i> Pengukuran & Analisis Data	23
1)	Tegangan rangkaian hubung buka (V_{oc})	23
2)	Arus hubung singkat (I_{sc})	24
3)	Fill Factor (FF)	24
4)	Efisiensi	25
BAB IV		27
PERANCANGAN DAN ANALISIS		27
4.1	Perancangan DSSC (<i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>)	27
4.2	Persiapan Alat dan Bahan	28
4.3	Pembuatan DSSC (<i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>)	29
4.3.1	Persiapan Material	29
BAB V		37
PENGUJIAN DAN ANALISIS		37
5.1.	Pengujian Tingkat Penyerapan <i>Dye</i>	37
5.2.	Pengujian Hasil Keluaran DSSC	38
5.2.1	Pengujian Tegangan Hubung Buka (V_{oc}) DSSC	39

5.2.2	Pengukuran Arus Hubung Singkat (Isc) DSSC.....	39
5.2.3	Hasil Pengujian Sel Variasi Perbandingan Pasta TiO ₂ dan PVA (<i>polyvinyl alcohol</i>).....	40
5.2.4	Pengujian Tegangan terhadap Intensitas Cahaya	45
5.2.5	Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya	46_Toc459865250
5.2.6	Hasil Pengujian Dengan Perbandingan Variasi <i>Screen Printing</i>	46
BAB V		53
KESIMPULAN DAN SARAN		53
5.1	Kesimpulan	53
5.2.	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN I.....		58
LAMPIRAN II.....		61
LAMPIRAN III		69
LAMPIRAN IV		77
ACETONITRILE		77
LAMPIRAN V		82
POLYVINYL ALCOHOL.....		82
LAMPIRAN VI.....		85
IODINE		85
LAMPIRAN VII.....		89
ETHANOL		89





DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 : Tingkat dunia penggunaan energi di tera watts (TW), 1965-2005.....	1
Gambar 2 1 : Struktur Dye-sensitized Solar Cell	7
Gambar 2 2: Skema Kerja Dye-sensitized Solar Cell.....	8
Gambar 2 3 : Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya.....	9
Gambar 2 4 : Substrat TCO <i>Indium Tin Oxide</i> (oleh <i>Sigma-Aldrich</i>).....	10
Gambar 2 5 : <i>Titanium (IV) Oxide</i> (oleh <i>Sigma-Aldrich</i>).....	11
Gambar 2 6 :Struktur Kimia (a) Klorofil a dan (b) Klorofil b.....	12
Gambar 2 7 : Skema dari Dua Struktur Umum sel DSSC (atas) dan modul (bawah) (a) Struktur Berlapis, (b) Struktur <i>Monolithic</i>	14
Gambar 2 8 : Spektrophotometer UV-1601	15
Gambar 2 9 : Magnetic Stirrer (Kiri) dan Magnetic Stir Bar (Kanan)	15
Gambar 2 10 : Digital Scale OHAUS CL Series.....	16
Gambar 2 11 : Furnace Vulcan A-550.....	17
Gambar 2 12 : <i>Screen Film</i> Tebal.....	17
Gambar 3. 1 : Kerangka Solusi Masalah	19
Gambar 3. 2 : Langkah-langkah Pembuatan <i>DSSC</i>	20
Gambar 3. 3 : RangkaianSkematikPengukuranTeganganHubungBuka.....	23
Gambar 3. 4 : Rangkaian Skematik Pengukuran Arus Hubung Singkat	24
Gambar 3. 5 : Skema Rangkaian Elektrik Pengukuran Daya Maksimum <i>DSSC</i>	25
Gambar 3. 6 : Contoh Kurva I-V untuk Menentukan Daya Maksimum	25
Gambar 4. 1 : Struktur Berlapis <i>DSSC</i>	27
Gambar 4. 2 : Diagram Tahapan Pembuatan <i>DSSC</i>	29
Gambar 4. 3 : Kaca TCO yang Siap Digunakan dengan Dimensi 2,5 x 2,5 cm ²	30
Gambar 4. 4: Proses Homogenisasi Klorofil Dengan Pelarut	31
Gambar 4. 5 : Proses Penyaringan <i>Dye</i>	31
Gambar 4. 6 : Area Pada Kaca TCO yang Telah Dibuat.....	33
Gambar 4. 7 : Pasta TiO ₂ Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Dideposisi pada Kaca.....	34
Gambar 4. 8 : Pasta TiO ₂ Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Melalui Proses <i>Firing</i>	34
Gambar 4. 9 : Proses Perendaman Lapisan TiO ₂ dalam Larutan <i>Dye</i>	35

Gambar 4. 10 : Proses Pembuatan <i>Counter-Electroda</i> (kiri) dan <i>counter-electrode</i> yang Telah Jadi (kanan)	35
Gambar 4. 11 : Lapisan Fotoelektroda dan <i>Counter-Electrode</i> yang Telah Siap Dirangkai	36
Gambar 4. 12 : Hasil Akhir Rancangan DSSC Berbasis <i>Dye</i> Dari Bahan Hasil Ekstraksi Daun Pepaya.....	36
Gambar 5. 1 : UV-VIS <i>Spectrophotometer</i> (<i>Shimadzu</i>) tipe UV– 1601.	37
Gambar 5. 2 : Grafik Tingkat Penyerapan Cahaya pada Hasil Ekstraksi Klorofil Daun Pepaya dan Daun Jarak.....	38
Gambar 5. 3 : Rangkaian Pengukuran Tegangan Hubung Buka (<i>Voc</i>)	39
Gambar 5. 4 : Rangkaian Pengukuran Arus Hubung Singkat (<i>Isc</i>).....	39
Gambar 5. 5 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi perbandingan 3 : 12.....	41
Gambar 5. 6 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi perbandingan 3 : 9.....	43
Gambar 5. 7 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi perbandingan 3 : 6.....	45
Gambar 5. 8 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi <i>screen</i> T60.....	48
Gambar 5. 9 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi <i>screen</i> T90.....	50
Gambar 5. 10 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi <i>screen</i> T90.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 5. 1: Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada pasta TiO ₂ dengan perbandingan 3 : 12	40
Tabel 5. 2 : Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada pasta TiO ₂ dengan perbandingan 3 : 9	42
Tabel 5. 3 : Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada pasta TiO ₂ dengan perbandingan 3:6	44
Tabel 5. 4 : Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya	45
Tabel 5. 5 : Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya	46
Tabel 5. 6 Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada <i>Screen</i> T60.....	47
Tabel 5. 7 Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada <i>Screen</i> T90.....	49
Tabel 5. 8 : Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada <i>Screen</i> T120.....	51
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian DSSC Variasi Screen Printing	52





RINGKASAN

Deby Rhizky Pradika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2016, Pengaruh Variasi Ukuran Screen Pada Proses Deposisi TiO_2 Pada Perancangan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), Dosen Pembimbing Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc dan Eka Maulana ST., MT., M.Eng.

Perkembangan sistem konversi energi surya menjadi energi listrik berlangsung melalui sistem yang disebut sebagai sel fotovoltaik. Sel surya merupakan suatu mekanisme yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaik di mana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Sistem fotovoltaik non-konvensional yang telah diteliti dan paling terkenal adalah sistem fotovoltaik generasi ketiga yang dikembangkan oleh Michael Grätzel pada 1991 dimana sistem ini dinamakan sel surya pewarna tersensitisasi (*dye sensitised solar cell*).

Pada penelitian ini dilakukan bagaimana proses perancangan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) dan pengaruh metode deposisi pasta TiO_2 pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Substrat yang digunakan merupakan jenis *Indium Tin Oxide* (ITO) yang memiliki resistifitas permukaan sebesar 15-25 ohm/sq. Lapisan fotoelektroda menggunakan pasta TiO_2 yang dideposisi menggunakan *screen printing* dan menggunakan teknik *doctor-blade*. *Dye* yang digunakan ada zat klorofil dari daun pepaya. Sebagai lapisan *counter electrode*, substrat dilapisi oleh jelaga yang dihasilkan oleh lilin. Parameter proses yang mempengaruhi karakteristik listrik sel surya dianalisis dan diukur. Sumber cahaya yang digunakan untuk mengamati keluaran DSSC adalah cahaya matahari dan cahaya lampu.

Dari hasil uji performansi DSSC berbahan *dye* zat klorofil daun pepaya saat menggunakan metode deposisi pada pasta TiO_2 dengan menggunakan *screen printing* T90 dan menggunakan sumber cahaya lampu merkuri pada intensitas 30000 lux adalah 313 mV untuk V_{oc} , 15 μA untuk I_{sc} dan 1197×10^{-9} untuk P_{max} . Hasil akan lebih rendah didapat ketika proses pembuatan DSSC tersebut menggunakan *screen printing* T60 dan T120.

Kata Kunci: DSSC, *Dye* klorofil, deposisi, *screen printing*

SUMMARY

Deby Rhizky Pradika Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, August 2016, **Effect Of Screen Size Variation Deposition Process TiO₂ In Design Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)**, . Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc. and Eka Maulana ST., MT., M.Eng.

The development of solar energy conversion systems into electrical energy takes place through a system known as photovoltaic cells. The solar cell is a mechanism that works based on the photovoltaic effect in which photons of radiation absorbed is then converted into electrical energy . Non-conventional photovoltaic systems that have been researched and the most famous is the third generation of photovoltaic systems developed by Michael Grätzel in 1991 where the system is called a dye sensitized solar cell(DSSC).

In this study of how the design process of Dye - sensitized Solar Cel (DSSC) and the influence of paste deposition method TiO₂ in Dye - sensitized Solar Cell (DSSC) . The substrate used is a type of Indium Tin Oxide (ITO) which has a surface resistifitas by 15-25 ohms / sq . Fotoelektroda layer using TiO₂ paste is deposited using screen printing and using a doctor- blade technique . Dye used no substance chlorophyll from the leaves of papaya. As a counter electrode layer , a substrate coated with soot produced by candles . The process parameters that affect the electrical characteristics of the solar cells were analyzed and measured. The light source used for observing output DSSC is sunlight and lamplight .

From the test results of performance DSSC dye made from papaya leaf chlorophyll substance when used in pasta TIO₂ deposition method using screen printing T90 and use a light source mercury lamp at an intensity of 30,000 lux is 313 mV for Voc, 15μA for Isc and 1197 x 10⁻⁹ for Pmax . The results obtained will be lower when the DSSC manufacturing process using a screen printing T60 and T120 .

Keyword: DSSC , Dye chlorophyll , deposition , screen printing

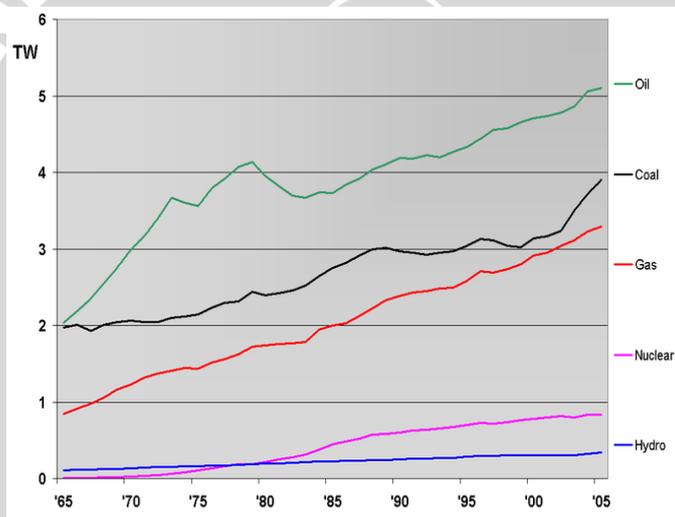


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan industri yang pesat akan mendorong peningkatan kebutuhan energi. Konsumsi energy manusia di duniai mencapai sekitar 88% bahan bakar fosil (minyak bumi, batu bara dan gas), 6% *hydroelectricity*, 6% energi nuklir dan biomass. Di dunia konsumsi energi utama naik sekitar 2.5% pada tahun 2011. (*Statistical Review of World Energy*, 2012 : 4).



Gambar 1.1 : Tingkat dunia penggunaan energi di tera watts (TW), 1965-2005

Sumber : *Statistical Review of World Energy*, 2009 : 42

Energi surya merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan oleh manusia saat ini. Tidak seperti energi fosil dunia yang diperkirakan akan habis dalam 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara (Quan, 2006 : 1). Energi surya seperti halnya tenaga angin, dan energi hydro adalah sumber energi yang tidak akan habis sepanjang masa. Energi surya memiliki keunggulan dari sumber energi alternatif lain yaitu energi surya dapat dengan mudah tersedia di seluruh penjuru dunia. Topografi dan geografis suatu wilayah tidak banyak berpengaruh pada energi surya yang dapat dimanfaatkan oleh wilayah tersebut (Zijian, 2012 : 10).

Matahari merupakan sumber energi alam paling besar yang tak akan habis. Sedangkan sumber energi fosil merupakan sumber energi yang bersifat terbatas dan memerlukan waktu yang sangat lama untuk memperbaharukannya sehingga dianggap *unrenewable energi resources*, serta dapat menyebabkan polusi lingkungan jika penggunaannya berlebihan.

Perkembangan sistem konversi energi surya menjadi energi listrik berlangsung melalui sistem yang disebut sebagai sel fotovoltaik. Sel surya merupakan suatu mekanisme yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaik di mana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversikan (diubah) menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 1986:38). Sistem fotovoltaik non- konvensional yang telah diteliti dan paling terkenal adalah sistem fotovoltaik generasi ketiga yang dikembangkan oleh Michael Grätzel pada 1991 dimana sistem ini dinamakan sel surya pewarna tersensitisasi (*dye sensitised solar cell*). (Halme, 2002 : 72).

Indonesia memiliki berbagai bentuk bahan alam untuk sumber energi. Sumber energi tidak terbarukan yaitu minyak bumi, gas alam batubara, gas metana batubara (*Coal Bed Methane*). Sedangkan sumber energi terbarukan yaitu Tenaga air, panas bumi, energi surya, biomasa, tenaga angin, dan arus laut. Penggunaan energi melalui *solar cell* / sel surya merupakan alternatif yang paling potensial. Hal ini dikarenakan jumlah energi matahari yang sampai ke bumi sangat besar, sekitar 700 Megawatt setiap menitnya. Bila dikalkulasikan, jumlah ini 10.000 kali lebih besar dari total konsumsi energi dunia.(Wilman, 2007: 8).

Sel surya bekerja menggunakan energi matahari dengan mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi listrik. Sel surya yang banyak digunakan sekarang ini adalah Sel surya berbasis teknologi silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor elektronik. Walaupun sel surya sekarang didominasi oleh bahan silikon, namun mahalnya biaya produksi silikon membuat biaya konsumsinya lebih mahal daripada sumber energi fosil. Selain itu kekurangan dari solar cell silikon adalah penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya.

Seiring dengan perkembangan nanoteknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu sel surya tersensitisasi zat warna (*dye sensitized solar cell*, DSSC) merupakan salah satu jenis sel surya berbasis semikonduktor yang menggunakan fenomena fotoelektrokimia sebagai prinsip dasar untuk menghasilkan energi listrik.

Salah satu semikonduktor ber-bandgap lebar yang sering digunakan yaitu Titanium Dioxide (TiO_2). TiO_2 umum digunakan karena inert, tidak berbahaya, semikonduktor yang murah, selain memiliki karakteristik optik yang baik. Untuk aplikasinya dalam DSSC, TiO_2 harus memiliki permukaan yang luas sehingga *dye* yang teradsorb lebih banyak dan hasilnya akan meningkatkan arus photo. Selain itu penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan pita energi, TiO_2 juga merupakan karakteristik yang penting.

Penelitian yang telah berhasil dilakukan oleh Wilman Septina (2007), dengan menggunakan DSSC dengan dimensi $1,8 \times 1,8 \text{ cm}^2$ dapat menghasilkan Voc sebesar 162,4 mV. Penelitian serupa juga telah berhasil dilakukan oleh Sholeh Hadi Pramono (2013), dengan menggunakan DSSC dengan dimensi $2 \times 2 \text{ cm}^2$ dapat menghasilkan Voc hingga sebesar 400mv. Dari hasil penelitian tersebut, pada penelitian ini dilakukan pengembangan dengan melakukan variasi deposisi pada pasta TiO_2 yang digunakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menguji dan menganalisis pengaruh variasi ukuran screen pada proses deposisi pasta TiO_2 terhadap daya keluaran *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC).

3.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana proses pembuatan *DSSC* dengan bahan material zat klorofil daun pepaya.
- 2) Berapakah perbandingan TiO_2 dan PVA yang akan di campur agar didapatkan hasil yang optimal?
- 3) Bagaimana pengaruh metode perekatan dengan menggunakan *screen printing* T60, T90 dan T120?
- 4) Berapakah Voc, Isc dan Pmax dari hasil pengujian?

3.2 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi lingkup tempat penelitian dan aspek-aspek kajian. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Processing TEUB. Pada penelitian ini ditekankan pada aspek-aspek fabrikasi, antara lain :

- 1) Aspek pelapisan pasta TiO_2 . Pelapisan pasta TiO_2 dilakukan dengan metode *doctor blading* menggunakan *screen printing*.

- 2) Aspek pelekatan karbon *counter-elektrode*. Pelekatan karbon *counter-elektrode* dibuat dengan waktu pembakaran yang sama (1 menit).
- 3) Aspek waktu perendaman sel dalam klorofil. Lama waktu perendaman sel dalam klorofil dibuat dalam waktu yang sama (30 menit).
- 4) Aspek luas permukaan substrat. Luas permukaan kaca TCO dibuat sama yaitu $2 \times 2 \text{ cm}^2$.
- 5) Aspek sumber cahaya menggunakan lampu merkuri.

3.3 Tujuan

Perancangan ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran *screen* pada proses deposisi pasta TiO_2 terhadap daya keluaran DSSC. Jumlah klorofil yang bisa menempel pada pasta akan berbeda untuk tingkat ketebalan dan kerapatan yang berbeda, konsekuensi jumlah klorofil yg menempel akan menghasilkan keluaran yang berbeda

3.4 Sistematika Penulisan

- BAB I** : Berisi pendahuluan, latar belakang penelitian, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.
- BAB II** : Berisi dasar teori. Dasar teori membahas tentang teori-teori yang mendukung dan dapat digunakan untuk membantu menyelesaikan penelitian..
- BAB III** : Berisi metode penelitian. Metode penelitian membahas tentang literatur yang digunakan, penentuan spesifikasi alat, mekanisme perancangan alat, mekanisme pengujian dan analisis, mekanisme pengambilan kesimpulan dan saran.
- BAB IV** : Berisi perancangan, pembuatan alat, pengujian dan analisis. Perancangan dan pembuatan alat membahas tentang proses perancangan dan pembuatan alat yang meliputi spesifikasi, perancangan blok diagram, dan realisasi alat. Pengujian dan pembahasan berisi tentang cara dan hasil pengujian terhadap *prototype* yang telah berhasil dirancang dan dibuat..
- BAB V** : Berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran berisi tentang kesimpulan berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari tujuan,

perancangan dan pengujian. Selain itu terdapat juga saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan lebih lanjut.





BAB II

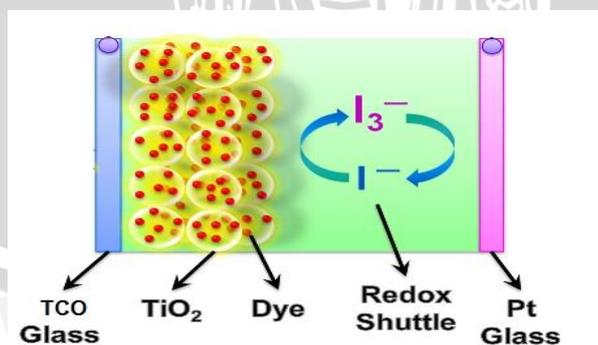
DASAR TEORI

Dasar teori yang dimaksudkan dalam penelitian ini merupakan teori-teori yang digunakan untuk membantu menyelesaikan penelitian. Dasar untuk mendesain dan merencanakan penelitian ini adalah hasil dari penelitian Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc pada tahun 2013 dengan judul “*Solar Sel Organik Dengan Pewarna Klorofil Pada Dssc (Dye-Sensitized Solar Cell) dari Ekstraksi Daun Jarak Pagar dan Daun Pepaya*”.

2.1 Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC bahan disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon (Phani et al., 2001 : 1).

Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif. Struktur DSSC secara ilustrasi ditunjukkan dalam Gambar 2.4 (Sholeh et al., 2013 :6).

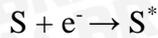


Gambar 2 1: Struktur Dye-sensitized Solar Cell

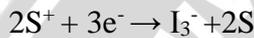
Sumber :Sholeh et al., 2013 : 6

2.2 Prinsip Kerja

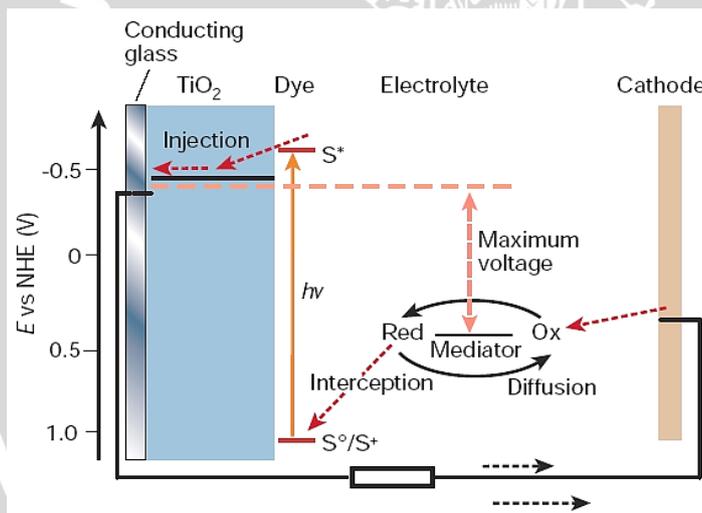
Skema kerja dari DSSC ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (S) ke *excited state* (S^*).



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



Skema prinsip kerja dari DSSC ditunjukkan dalam Gambar 2.2.

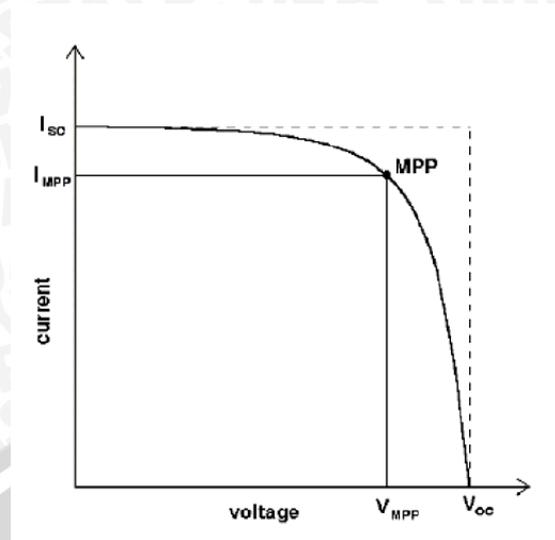


Gambar 2 2: Skema Kerja Dye-sensitized Solar Cell

Sumber : (Grätzel, 2005 :579)

2.3 Perfomansi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya, diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus tegangan (I-V) dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya

Sumber : Wilman et al., 2007 : 8

Ketika sel dalam kondisi *short-circuit*, arus maksimum atau arus *short-circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open-circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit*. (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan,

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

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

$$P_{MAX} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF$$

(Wilman et al., 2007 : 9)

2.4 Material / Komponen Penyusun DSSC

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

2.4.1 Substrat

Substrat adalah badan dari sel surya dan sebagai media mengalirnya muatan. Substrat yang digunakan pada DSSC adalah TCO (*Transparent Conductive Oxide*). TCO merupakan sebuah kaca transparan yang memiliki lapisan konduktif yang berfungsi sebagai mengalirnya muatan pada DSSC.

Dalam penelitian ini digunakan *ITO (Indium Tin Oxide)* dari Sigma-Aldrich yang memiliki resistivitas permukaan sebesar 15-25 Ω/sq yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2 4 : Substrat TCO *Indium Tin Oxide*(oleh Sigma-Aldrich®)

2.4.2 Nanopartikel TiO_2

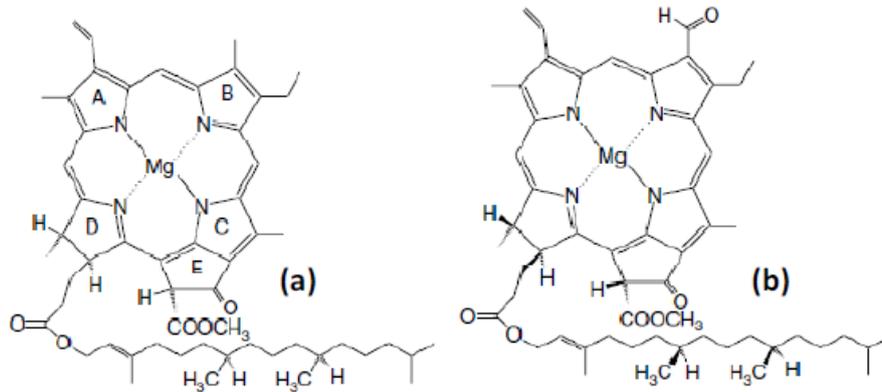
Dalam *DSSC* dibutuhkan semikonduktor yang memiliki lebar pita energi yang besar ($>3\text{eV}$) untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Maka dalam penelitian ini digunakan jenis semikonduktor TiO_2 (*Titanium (IV) Oxide*), jenis ini yang paling sering digunakan karena efisiensi *DSSC* menggunakan TiO_2 masih belum tertandingi. Jenis semikonduktor lain yang dapat digunakan yaitu ZnO , (Uthirakumar, 2011 : 437-439). Selain itu, TiO_2 dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah dye yang terabsorb yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorb. Pada penelitian ini digunakan TiO_2 dari Sigma-Aldrich dengan ukuran partikel sebesar $\sim 21\text{nm}$. Bubuk TiO_2 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Titanium (IV) Oxide (oleh Sigma-Aldrich®)

2.4.3 Zat Pewarna (Dye) Klorofil

Dye dalam *DSSC* berfungsi sebagai penyerap foton dalam cahaya matahari dan kemudian mengubah menjadi energi. *Dye* yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi tinggi mencapai 10% yaitu jenis *Ruthenium (Ru) Complex* (Wilman et al., 2007). Walaupun *DSSC* menggunakan *dye* jenis ini telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan berharga mahal. *Dye* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan klorofil yang terdapat pada daun pepaya dan daun jarak pagar karena kedua jenis daun tersebut memiliki kandungan klorofil yang cukup besar. *Dye* didapat dengan cara mengekstrak klorofil dari daun dengan cara ditumbuk kemudian direndam dalam larutan pelarut yaitu larutan ethanol. Struktur kimia dari klorofil ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2 6 :Struktur Kimia (a) Klorofil a dan (b) Klorofil b

Sumber :Sholeh et al. 2013: 9

Spektrum penyerapan cahaya oleh klorofil a dan klorofil b ditunjukkan dalam Gambar 2.6. Spektrum cahaya ini didapatkan dari sinar matahari yang mencakup panjang gelombang ultraviolet, cahaya tampak, dan inframerah.

Dalam penelitian ini klorofil yang digunakan adalah klorofil dari daun jarak pagar dan daun pepaya. Hal ini dikarenakan kedua tanaman tersebut mempunyai kandungan klorofil yang cukup besar. Selain itu, tanaman tersebut juga mudah dijumpai di negara tropis seperti Indonesia.

2.4.4 Elektrolit(I⁻/I₃⁻)

Elektrolit dalam *DSSC* berperan sebagai transport muatan dari *counter-electrode* ke *dye*. Elektrolit yang digunakan pada *DSSC* terdiri dari iodide (I⁻) dan triiodine (I₃⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Elektrolit dalam *DSSC* berperan sebagai transport muatan dari *counterelectrode* ke *dye*. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit *DSSC* yaitu

- 1) Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
- 2) Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
- 3) Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
- 4) Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
- 5) Mempunyai reversibilitas tinggi.
- 6) Inert terhadap komponen lain pada *DSSC*.

2.4.5 Counter-Electrode

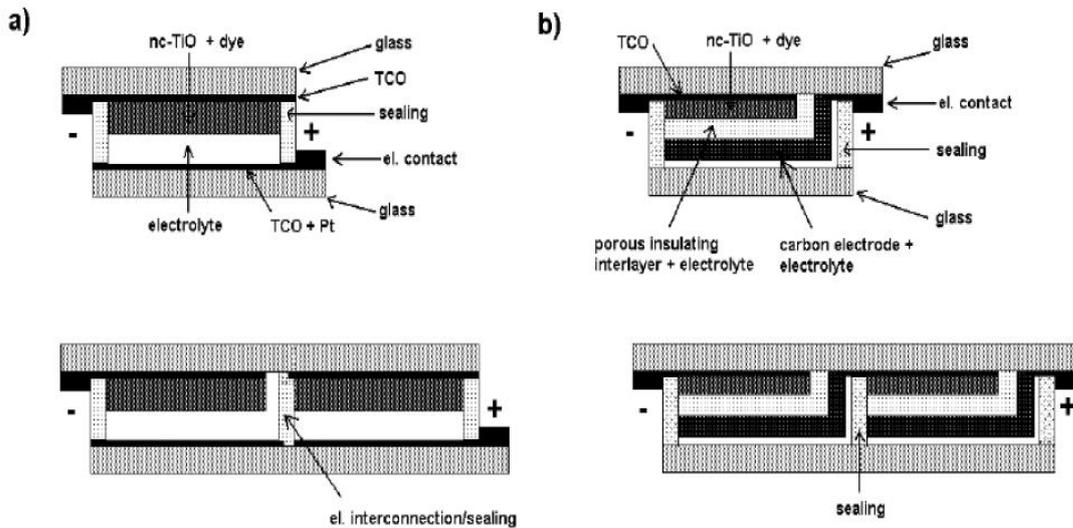
Counter-electrode pada DSSC berfungsi sebagai katalis. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO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

Walapun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter-electrode* karbon sebagai lapisan katalis (Gratzel, 1996 : 44, 99-117).

2.5 Fabrikasi DSSC

Cara paling umum dalam fabrikasi DSSC di laboratorium yaitu menggabungkan dua kaca dengan lapisan yang berbeda dengan struktur berlapis, 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.

Selain itu Kay dan Gratzel (1996) mengembangkan tiga lapisan struktur sel *monolithic*, untuk mengadaptasi proses produksi sel surya lapisan tipis sehingga lebih mudah mencapai tahap komersialisasi. Pada struktur *monolithic*, semua lapisan dari sel dapat dideposisikan masing-masing diatas yang lainnya pada satu kaca yang dilapisi TCO, sedangkan satu kaca lain yang berlawanan hanya berfungsi sebagai pelindung dan enkapsulasi. Skema struktur umum DSSC ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2 7 : Skema dari Dua Struktur Umum sel DSSC (atas) dan modul (bawah) (a) Struktur Berlapis, (b) Struktur *Monolithic*
 Sumber :Halme, 2002 : 63

2.6 Spectrophotometer UV-Visible

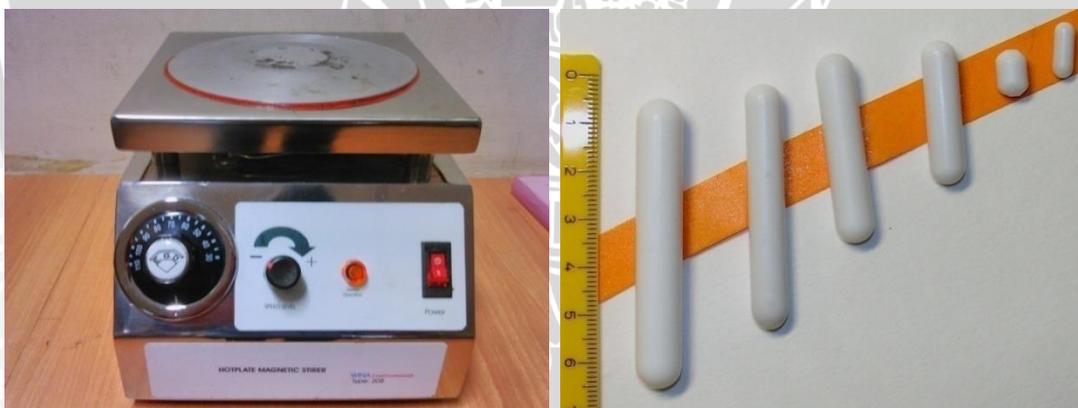
Spectrophotometer UV-VIS merupakan alat yang berfungsi untuk menguji tingkat absorpsi klorofil. *Spectrophotometer* bekerja dengan cara menembakkan cahaya dengan spektrum panjang gelombang yang bervariasi melewati sampel uji. Kemudian terdapat penerima cahaya di sisi berlawanan dengan sumber cahaya untuk menangkap dan menghitung jumlah cahaya yang diteruskan setelah melewati sampel uji. Dengan diketahui jumlah cahaya yang diteruskan, maka dapat diketahui berapa jumlah cahaya yang diserap oleh sampel uji, yang dalam penelitian ini berupa ekstrak klorofil. Dalam penelitian ini digunakan *Spectrophotometer* UV-VIS tipe UV-1601 dari Shimadzu dan menguji klorofil pada panjang gelombang 300-800 nm. *Spectrophotometer* UV-VIS tipe UV-1601 dari Shimadzu ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2 8 : Spektrofotometer UV-1601
Sumber : Lab. Pengujian MIPA-Kimia UB

2.7 *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 2,5cm. *Magnetic stirrer* dan *magnetic stir bar* ditunjukkan dalam Gambar 2.9



Gambar 2 9 : Magnetic Stirrer (Kiri) dan Magnetic Stir Bar (Kanan)

2.8 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 70%, 80%, dan 98%.

2.9 Scale

Scale atau timbangan digunakan untuk menimbang material dan bahan pada orde gram. Pada penelitian ini digunakan timbangan tipe *CL Series* dari *OHAUS* untuk menimbang daun, bubuk TiO_2 , dan material penyusun DSSC lainnya.



Gambar 2 10 : Digital Scale OHAUS CL Series

2.10 Furnace

Furnace atau tungku listrik dalam penelitian ini digunakan untuk proses perekatan pasta TiO_2 pada permukaan kaca TCO. Pada proses ini, dibutuhkan pemanasan pasta pada temperatur 450°C . *Furnace* yang digunakan pada penelitian adalah *furnace* Vulcan A-550. *Furnace* Vulcan A-550 ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2 11 : Furnace Vulcan A-550.

2.11 Screen

Screen merupakan tenunan berlubang-lubang yang terbuat dari serat. Fungsi *screen* adalah sebagai tempat pembentukan pola yang akan dicetak dan menentukan ketebalan pasta yang dilekatkan. Serat yang digunakan untuk membentuk jaring-jaring suatu *screen* terbuat dari berbagai macam bahan. Bahan yang digunakan adalah polyester, nylon, dan stainless steel.



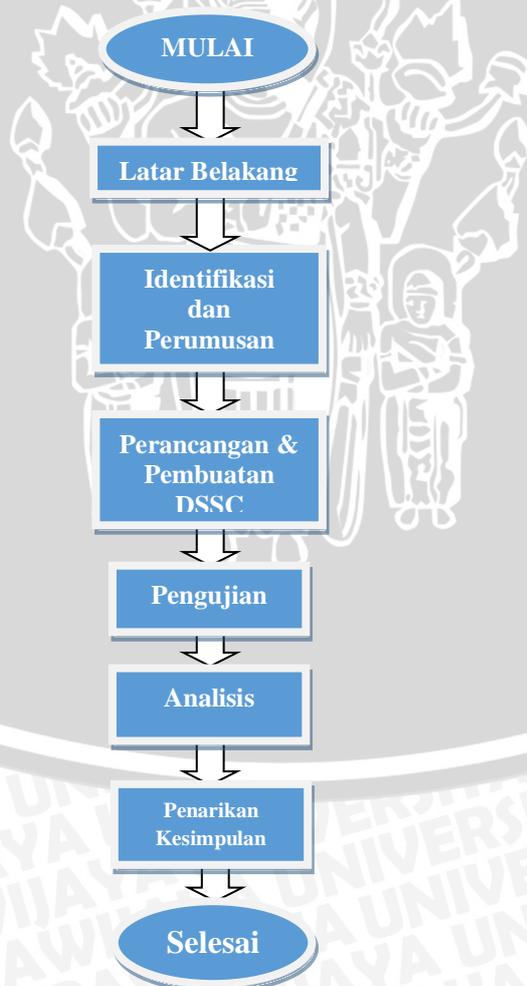
Gambar 2 12 : Screen Film Tebal.
Sumber : Lab. Elektronika TE. UB



BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yaitu penelitian tentang pengaruh variasi ukuran *screen* pada proses deposisi pasta TiO₂ terhadap daya keluaran DSSC. Metode yang di gunakan pada saat pelapisan pasta adalah metode *doctor blade*. Metode *doctor blade* adalah metode pelapisan suspensi TiO₂ pada kaca semikonduktor dengan cara mengelinding pasta pada permukaan kaca ITO. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas kerangka solusi masalah, perancangan *dye-sensitized solar cell* (DSSC), penentuan jenis data, cara perolehan data atau pengukuran, model analisis, analisis data dan pengambilan kesimpulan. Kerangka solusi masalah merupakan tahapan-tahapan untuk menyelesaikan penelitian ini. Kerangka solusi masalah ditunjukkan dalam Gambar 3.1.

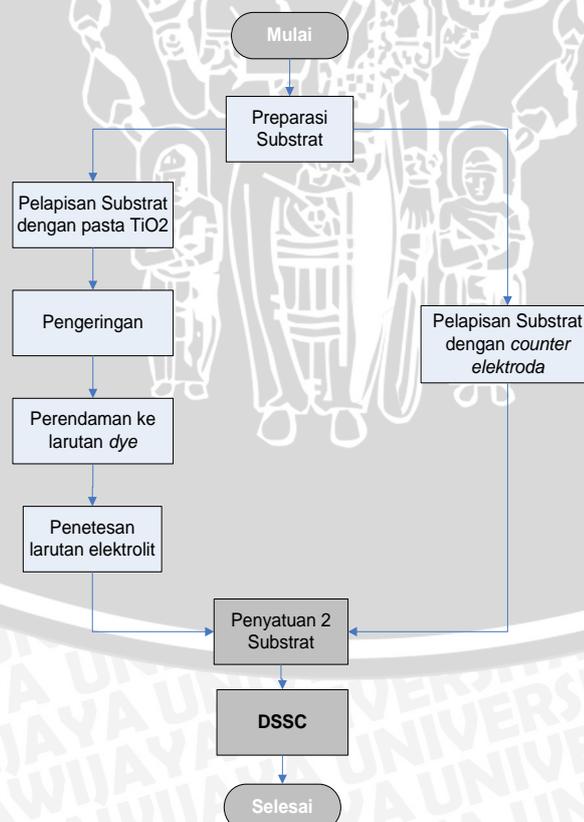


Gambar 3. 1 : Kerangka Solusi Masalah

Tahapan awal adalah menjelaskan latar belakang mengapa dilakukan penelitian ini dan selanjutnya identifikasi masalah apa saja yang timbul sebelum melakukan penelitian. Setelah masalah tersebut dirumuskan maka dilanjutkan penyelesaian masalah tersebut dengan melakukan pembuatan DSSC, melakukan pengujian DSSC terhadap cahaya dan melakukan analisis terhadap performansi DSSC tersebut. Penarikan kesimpulan dilakukan setelah analisis hasil telah didapat.

3.1 Pembuatan *Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)*

Dalam penelitian ini akan dibuat 2 buah solar sel organic atau *dye-sensitized solar cell (DSSC)* dengan menggunakan jenis zat klorofil yang berbeda pada tiap *prototype* sebagai *dye* untuk penyerapan cahaya. Dua buah DSSC tersebut mendapat pelakuan sama dalam langkah-langkah pembuatannya dengan variasi perbandingan TiO_2 dan PVA 3:12, 3:9 dan 3:6. Variasi perbandingan ini dirancang untuk mengetahui pada perbandingan berapakah klorofil dapat menempel pada pasta TiO_2 agar didapatkan hasil yang optimal. Variasi lama pembakaran dan suhu pada saat pembakaran yaitu 50°C , 100°C , 200°C dan lama pembakaran 10 menit, 20 menit dan 30 menit. Variasi Diagram pembuatannya sebagai berikut :



Gambar 3. 2 : Langkah-langkah Pembuatan DSSC

Pada proses pembuatan *DSSC*, langkah pertama adalah mempersiapkan material yang akan digunakan. Alat-alat yang akan digunakan dicuci dulu dengan menggunakan aquades untuk menghilangkan materi pengotor. Untuk pembuatan *dye* digunakan prinsip ekstraksi klorofil dari daun pepaya. Daun pepaya terlebih dulu ditimbang 10 gram untuk perbandingan 1, 20 gram untuk perbandingan 2 dan 30 gram untuk perbandingan 3. Kemudian daun dicuci dengan menggunakan aquades lalu dikeringkan. Daun pepaya yang telah bersih digerus dengan cawan porselin hingga halus dan dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml. Selanjutnya larutan di stirring selama waktu yang bervariasi.

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

Setelah didapatkan pasta TiO_2 yang diinginkan, selanjutnya pasta dilapiskan diatas kaca TCO pada lapisan konduktifnya dengan menggunakan metode *doctor blading*. Kaca TCO yang sudah dilapisi pasta kemudian di-*firing* pada suhu 200°C selama 30 menit agar pasta melekat sempurna pada kaca. Kemudian kaca TCO direndam dalam *dye* selama 30 menit.

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

Pada perakitan *DSSC*, kaca TCO yang telah direndam dengan *dye* kemudian ditetesi dengan larutan elektrolit. Larutan elektrolit digunakan sebagai transport elektron dari karbon ke *dye*. Kemudian dengan segera tempelkan kaca TCO *counter-electrode* dengan struktur berlapis, jepit dengan klip agar penempelan lebih rapat. Maka proses pembuatan *DSSC* selesai.

3.2 Penentuan Variabel & Perlakuan Uji *DSSC*

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

- Pelapisan pasta TiO₂ dilakukan dengan menggunakan metode *doctor blading* dan menggunakan *screen printing* T60, T90 dan T120.
- Proses pengeringan dan perekatan pasta TiO₂ dilakukan dengan cara dipanaskan dalam *furnace* dengan waktu 30 menit dan suhu 200°C.
- Pembuatan pasta TiO₂ dilakukan dengan cara yang sama untuk mendapatkan tingkat kekentalan pasta TiO₂.
- Karbon *counter-electrode* dibuat dengan ketebalan yang sama dengan cara menunjukkan waktu penempelan karbon. Hal ini dapat diketahui dari intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lilin. Lebih kurang 1 menit.
- Lama waktu perendaman dalam *dye* dibuat dalam waktu yang sama (30 menit).
- Zat elektrolit dibuat sama baik konsentrasi maupun jumlah volum yang ditetaskan pada TiO₂ yang sudah direndam *dye* (0,25 ml).
- Luas permukaan kaca TCO harus dibuat sama yaitu 2 x 2 cm².

Variabel input yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah :

- Perbandingan Pasta TiO₂ dan PVA
- Suhu pada saat pembakaran pada *furnance*
- Lamanya proses pembakaran pada *furnance*

3.3 Variabel Output dan Pengukuran

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh tingkat konsentrasi dan absorpsi klorofil terhadap daya keluaran dan efisiensi *DSSC*. Variabel output yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

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

Model analisis yang bisa dilakukan untuk pengaruh konsentrasi klorofil adalah :

- Analisis secara kimiawi untuk menentukan tingkat konsentrasi *dye* yang menempel pada pasta TiO₂ sehingga berpengaruh terhadap luaran daya yang bisa dihasilkan.
- Analisis performansi secara elektrik.
- Seberapa besar pengaruh perbandingan pasta TiO₂ dan PVA terhadap proses fotoelektrolisa sehingga berpengaruh terhadap daya luaran *DSSC*.

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

1. Pengukuran tingkat absorpsi klorofil.
2. Pengukuran tegangan luaran $DSSC$ (V_{oc}) .
3. Pengukuran arus luaran $DSSC$ (I_{sc}).

Analisis perfomansi $DSSC$ dengan menggunakan data V_{oc} dan I_{sc} .

Dalam penelitian ini, metode pengujian $DSSC$ untuk mendapatkan data-data tersebut dilakukan dengan pengukuran menggunakan sumber cahaya lampu.

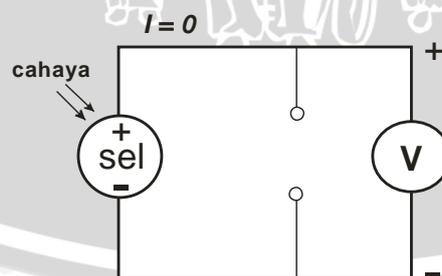
Lampu digunakan untuk menguji pengaruh perbedaan karakteristik spectrum cahaya dan perubahan tingkat intensitas cahaya terhadap keluaran $DSSC$. Sedangkan dalam uji perubahan tingkat intensitas cahaya terhadap keluaran $DSSC$ menggunakan satu buah lampu dengan mengubah intensitas penerangan cahayanya. Variabel data yang dimaksud sebagai keluaran $DSSC$ adalah tegangan hubung buka (V_{oc}) dan arus hubung singkat (I_{sc}).

3.4 Set Up Pengukuran & Analisis Data

Beberapa variabel data dapat dicari dengan melakukan set up pengukuran yang berbeda-beda. Selain melakukan *set up* pengukuran untuk mencari V_{oc} dan I_{sc} dilakukan juga pengukuran karakteristik I-V atau untuk menentukan *fill factor* $DSSC$.

- 1) Tegangan rangkaian hubung buka (V_{oc})

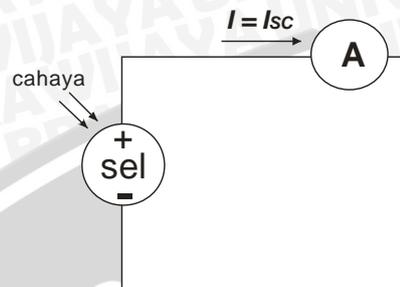
Mencari V_{oc} dilakukan dengan menghubungkan sisi anoda $DSSC$ dengan negatif multimeter pengukur tegangan dan menghubungkan sisi katoda $DSSC$ dengan positif multimeter pengukur tegangan seperti yang ditampilkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 : Rangkaian Skematik Pengukuran Tegangan Hubung Buka

2) Arus hubung singkat (I_{sc})

Rangkaian untuk mencari arus hubung singkat seperti pada Gambar 3.4. Arus hubung singkat didapat ketika beban dalam rangkaian sangat kecil atau hampir sama dengan 0 (nol).



Gambar 3. 4 : Rangkaian Skematik Pengukuran Arus Hubung Singkat

3) Fill Factor (FF)

Fill factor n akan perbandingan antara daya maksimum DSSC dengan daya hasil perkalian V_{oc} dan I_{sc} atau dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

Keterangan :

FF = Fill Factor

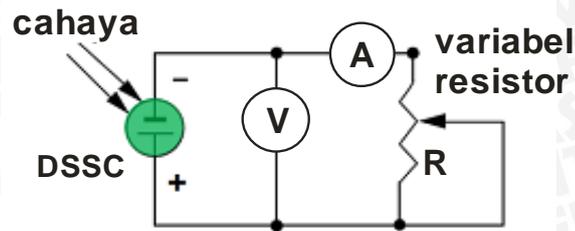
I_m = Arus maksimum DSSC ketika diberi beban (A)

V_m = Tegangan maksimum DSSC ketika diberi beban (V)

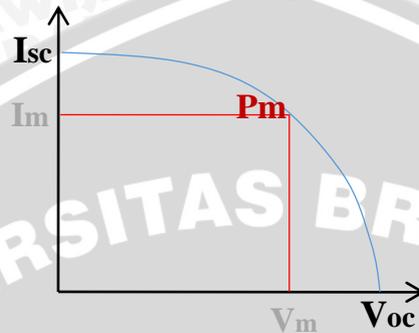
I_{sc} = Arus hubung singkat DSSC (A)

V_{oc} = Tegangan hubung buka DSSC (V)

Berdasarkan dengan persamaan *fill factor*, perlu diketahui berapa daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh DSSC. Daya maksimum (P_m) yang dimaksud adalah hasil perkalian tegangan dan arus keluaran DSSC terbesar saat diberi beban atau hambatan (R). Rangkaian skematik untuk menentukan daya maksimum DSSC ditunjukkan dalam Gambar 3.5. Arus maksimum (I_m) dan tegangan maksimum (V_m) DSSC dapat ditentukan nilainya seperti yang ditunjukkan pada kurva karakteristik I-V dalam Gambar 3.6. Bentuk kurva tersebut akan tergantung dengan kemampuan besar I dan V DSSC saat beban (R) diubah dari beban kecil hingga beban besar.



Gambar 3. 5 : Skema Rangkaian Elektrik Pengukuran Daya Maksimum DSSC



Gambar 3. 6 : Contoh Kurva I-V untuk Menentukan Daya Maksimum

Sementara itu untuk menentukan besarnya efisiensi (η) konversi cahaya ke listrik adalah sebagai berikut

$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{I_G \times A}$$

Keterangan :

I_{sc} = Arus hubung singkat DSSC (A)

V_{oc} = Tegangan hubung buka DSSC (V)

FF = Fill Factor

I_G = Intensitas global cahaya matahari pada kondisi Air Mass tertentu (W/m^2)

A = Luas area aktif DSSC (cm^2)



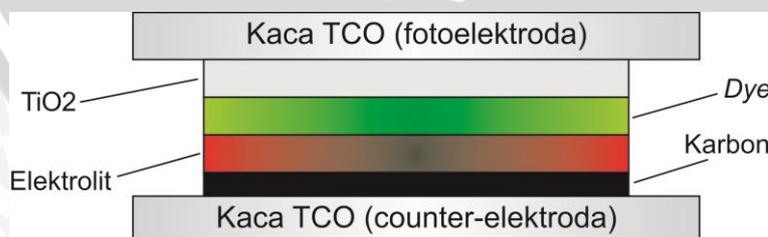
BAB IV

PERANCANGAN DAN ANALISIS

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

4.1 Perancangan DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*)

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



Gambar 4. 1 : Struktur Berlapis DSSC

Sumber : Sholeh et al. 2013: 14

4.2 Persiapan Alat dan Bahan

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

1. 60 gram daun pepaya
2. 150 ml ethanol dengan konsentrasi 98%
3. Aquades
4. PVA (*Polyvinyl Alcohol*)
5. Potassium iodide (KI)
6. Iodine (I₂)
7. Acetonitrile

Sedangkan beberapa alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

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



Gambar 4. 3 : Kaca TCO yang Siap Digunakan dengan Dimensi 2,5 x 2,5 cm²

4.3.1.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

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

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

4.3.2 Pembuatan Larutan Dye Untuk Variasi Perbandingan Jumlah Daun Dengan Volum Pelarut

Pembuatan larutan dye menggunakan prinsip ekstraksi klorofil dari daun pepaya atau bisa juga dari klorofil daun jarak. Berikut langkah-langkah ekstraksi klorofil:

1. Disiapkan 60 gram daun pepaya, 150 ml ethanol 98%, aquades dan alat-alat yang akan digunakan.
2. Daun pepaya ditimbang.
3. Daun pepaya dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan.
4. Setelah bersih, daun pepaya ditumbuk pada cawan porselin hingga halus.
5. Daun pepaya yang telah halus dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml ethanol 98% untuk masing-masing variasi perbandingan kemudian bungkus dengan aluminium foil.
6. Daun pepaya yang telah tercampur dengan ethanol diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kecepatan setengah putaran penuh sehingga menghasilkan ekstrak klorofil.

7. Ekstrak klorofil dimasukkan ke dalam wadah gelap dan didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi.
8. Setelah itu ekstrak tersebut disaring dengan kertas saring sehingga zat klorofil terpisah sepenuhnya dengan fisik daun, kemudian ditampung pada botol gelap yang telah dibungkus dengan aluminium foil.

Daun pepaya yang telah dihaluskan dan siap dicampur dengan pelarut, proses homogenisasi klorofil dengan pelarut, dan proses penyaringan larutan *dye* berturut-turut ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4. 4: Proses Homogenisasi Klorofil Dengan Pelarut



Gambar 4. 5 : Proses Penyaringan Dye

4.3.3 Pembuatan Larutan Dye Untuk Variasi Konsentrasi Zat Pelarut

1. Disiapkan 90 gram daun pepaya, ethanol dengan konsentrasi 98% sebanyak 50 ml, aquades dan alat-alat yang akan digunakan.
2. Daun pepaya/jarak ditimbang dengan berat 30 gram untuk masing-masing variasi konsentrasi.
3. Daun pepaya/jarak dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan.
4. Setelah bersih, daun pepaya ditumbuk pada cawan porselin hingga halus.
5. Daun pepaya/jarak yang telah halus dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml ethanol
6. Daun pepaya yang telah tercampur dengan ethanol diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit sehingga menghasilkan ekstrak klorofil.
7. Ekstrak klorofil dimasukkan ke dalam wadah gelap dan didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi.
8. Setelah itu ekstrak tersebut disaring dengan kertas saring sehingga zat klorofil terpisah sepenuhnya dengan fisik daun, kemudian ditampung pada botol gelap yang telah dibungkus dengan aluminium foil.

4.3.4 Pembuatan Larutan Dye Untuk Variasi Waktu Stirring

1. Disiapkan 90 gram daun pepaya, 150 ml ethanol dengan konsentrasi 98%, aquades dan alat-alat yang akan digunakan.
2. Daun pepaya ditimbang dengan berat 30 gram untuk masing-masing variasi waktu stirrer.
3. Daun pepaya dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan.
4. Setelah bersih, daun pepaya ditumbuk pada cawan porselin hingga halus.
5. Daun pepaya yang telah halus dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml ethanol 98% untuk masing-masing variasi waktu stirrer kemudian bungkus dengan aluminium foil.
6. Daun pepaya yang telah tercampur dengan ethanol diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit, 120 menit dan 180 menit sehingga menghasilkan ekstrak klorofil.
7. Ekstrak klorofil dimasukkan ke dalam wadah gelap dan didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi.
8. Setelah itu ekstrak tersebut disaring dengan kertas saring sehingga zat klorofil terpisah sepenuhnya dengan fisik daun, kemudian ditampung pada botol gelap yang telah dibungkus dengan aluminium foil.

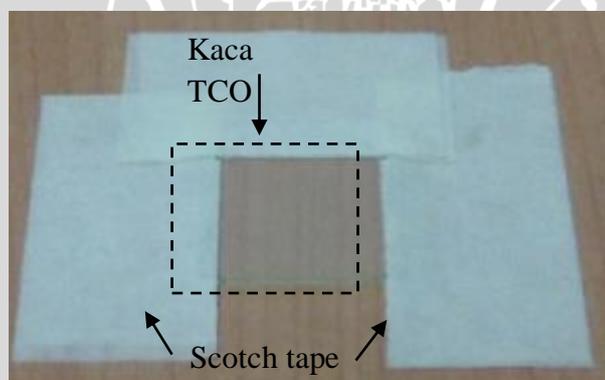
4.3.5 Pembuatan Pasta TiO₂

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

1. Membuat larutan binder, yaitu *Polyvinyl Alcohol* (PVA) 1.5 gram ditambahkan pada 13.5 ml aquades, selanjutnya campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur 200°C selama 30 menit hingga larutan mengental dan homogen. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta TiO₂.
2. Bubuk TiO₂ ditimbang 0.5 gram, kemudian suspensi (PVA) yang telah dibuat ditambahkan pada bubuk TiO₂ sebanyak 6 ml, 4,5ml dan 3ml dengan variasi 3:12 3:9 3:6. Diaduk sampai menjadi bentuk pasta.

4.3.6 Pelapisan Pasta TiO₂ pada Kaca TCO

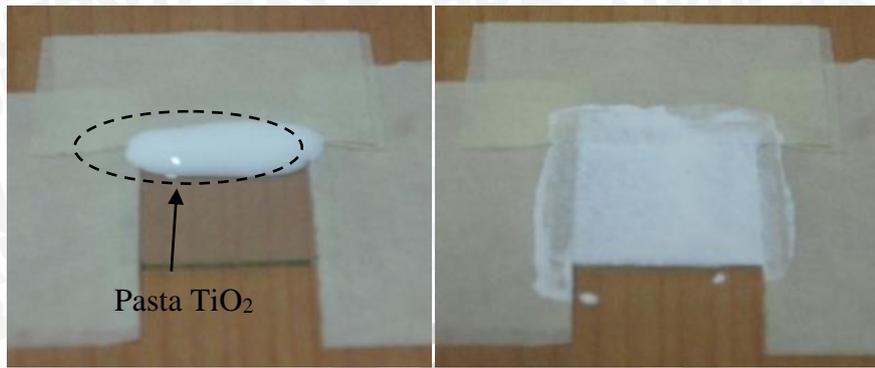
Dibentuk area tempat TiO₂ dideposisikan dengan bantuan *scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 2 x 2 cm² dengan ilustrasi seperti dalam Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 : Area Pada Kaca TCO yang Telah Dibuat

Scotch tape juga berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO₂, jika ingin pasta semakin tebal pada permukaan kaca maka *scotch tape* dapat ditumpuk berlapis-lapis sesuai dengan kebutuhan.

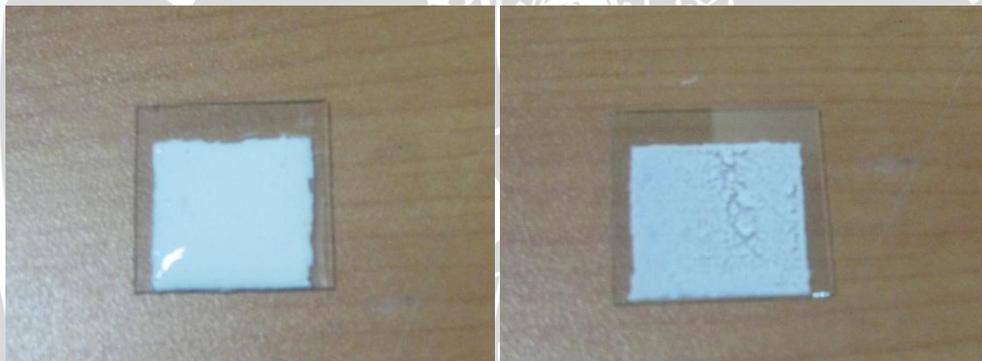
Pasta TiO₂ dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan metode *doctor blading* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Pasta yang telah diratakan menggunakan metode *doctor blading* ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 : Pasta TiO₂ Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Dideposisi pada Kaca

4.3.7 Proses Firing Pasta TiO₂

Pasta TiO₂ yang telah rata pada permukaan kaca kemudian di-*firing* dalam tungku listrik dengan variasi 10,20 dan 30 menit pada temperatur 50°C, 100°C dan 200°C agar terjadi kontak yang baik antara pasta dengan kaca TCO. Pasta TiO₂ yang telah melalui proses *firing* ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 : Pasta TiO₂ Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Melalui Proses *Firing*

4.3.8 Perendaman TiO₂ Dalam Larutan Klorofil (*Dye*)

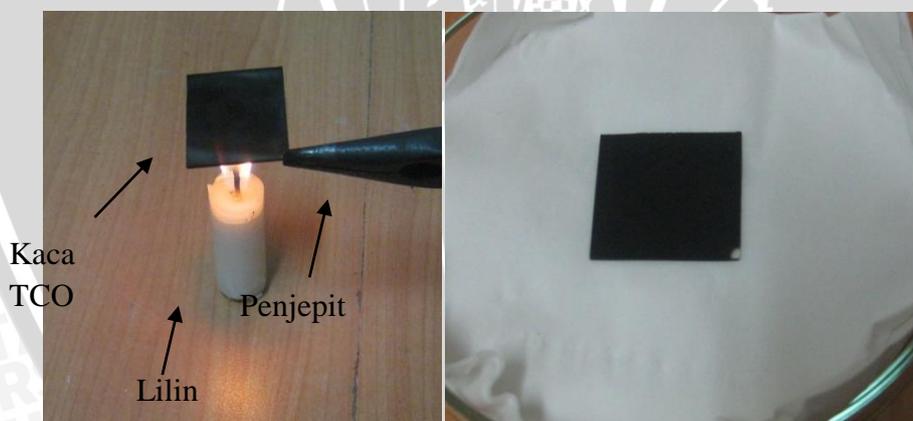
Lapisan TiO₂ kemudian direndam dalam larutan *dye* selama kurang lebih 30 menit, kemudian lapisan TiO₂ akan menjadi berwarna hijau daun. Pada proses ini terjadi absorpsi klorofil ke permukaan TiO₂. Proses perendaman lapisan TiO₂ ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 : Proses Perendaman Lapisan TiO_2 dalam Larutan *Dye*

4.3.9 Pembuatan *Counter-Electrode* Karbon

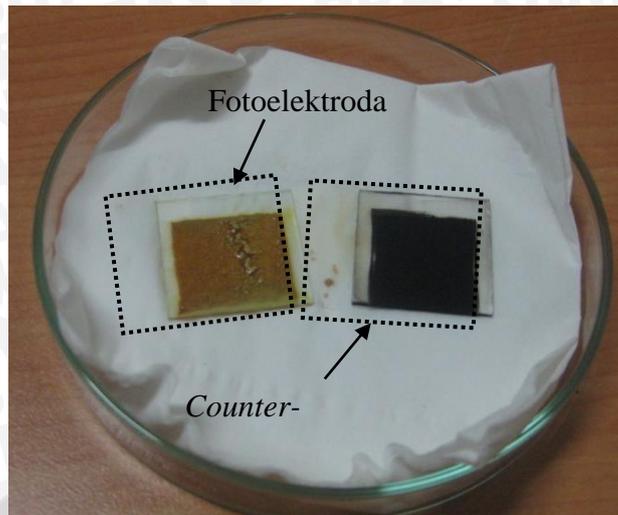
Pembuatan *counter-electrode* dilakukan dengan cara memanaskan sisi konduktif kaca TCO pada nyala api lilin selama kurang lebih 1 menit sampai karbon dengan rata menutupi sisi konduktif kaca TCO. Karbon yang menempel pada kaca TCO ditentukan dimensinya sesuai dengan dimensi kaca TCO yang dilapisi pasta TiO_2 yaitu $2 \times 2\text{cm}^2$. Proses pembuatan *counter-electrode* dan hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4. 10 : Proses Pembuatan *Counter-Electroda* (kiri) dan *counter-electrode* yang Telah Jadi (kanan)

4.3.10 Pemberian Elektrolit

Pemberian elektrolit dengan cara ditetaskan menggunakan pipet sebanyak 5 tetes atau sebanyak 0,25 ml. Larutan elektrolit digunakan sebagai transport elektron dari karbon ke *dye*. Lapisan fotoelektroda dan *counter-electrode* yang telah siap dirangkai ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4. 11 : Lapisan Fotoelektroda dan *Counter-Electrode* yang Telah Siap Dirangkai

4.3.11 Perakitan DSSC

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



Gambar 4. 12 : Hasil Akhir Rancangan DSSC Berbasis *Dye* Dari Bahan Hasil Ekstraksi Daun Pepaya dan DSSC Berbasis *Dye* Dari Bahan Hasil Ekstraksi Daun Jarak Pagar

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis hasil keluaran atau performansi DSSC yang telah di rancang. Pengujian dilakukan dengan variasi pada saat proses fabrikasi terhadap pasta TiO_2 dengan melakukan perbandingan pasta TiO_2 dan PVA. Setelah itu dilakukan pengujian dari perbedaan variasi *screen printing* pada proses deposisi TiO_2 dan dicari hasil keluaran DSSC. Sebelum melakukan pengujian hasil keluaran DSSC, dilakukan juga pengujian terhadap level penyerapan dari material *dye* yang digunakan untuk mengetahui pada konsentrasi berapa *dye* dapat menempel pada permukaan pasta TiO_2 dengan optimal.

5.1. Pengujian Tingkat Penyerapan *Dye*

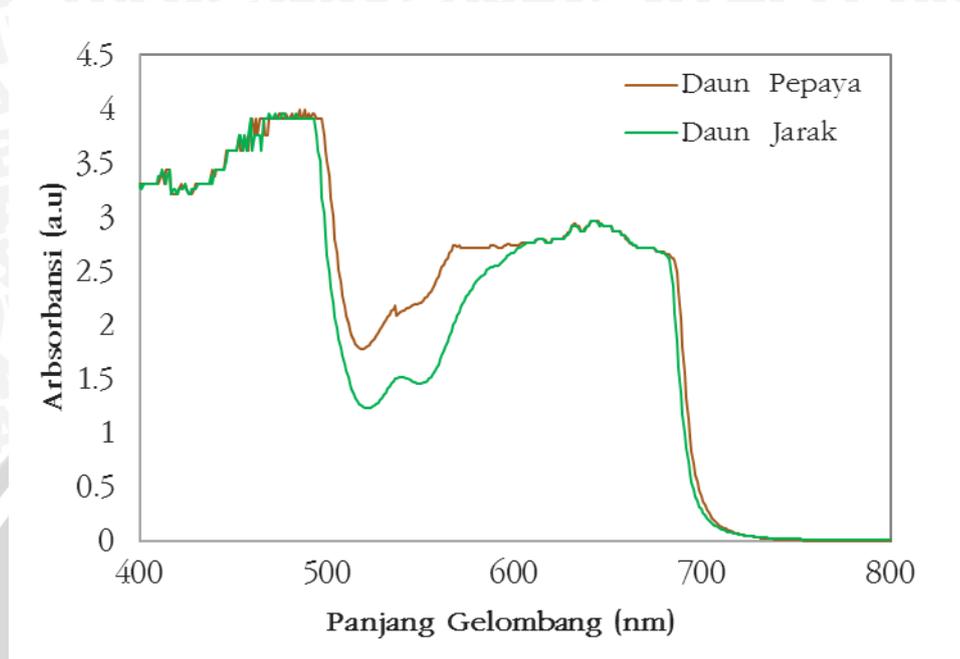
Dye yang digunakan berasal dari larutan hasil ekstraksi daun pepaya dan hasil ekstraksi daun jarak. Pengujian tingkat penyerapan larutan dianalisis menggunakan *UV-VIS Spectrophotometer (Shimadzu)* tipe *UV – 1601* dan dilakukan Laboratorium Instrumentasi dan Pengujian Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat penyerapan klorofil daun pada panjang gelombang cahaya 300 nm - 700 nm dan selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil keluaran DSSC berdasarkan perbedaan pada saat proses fabrikasi terhadap pasta TiO_2 .



Gambar 5. 1 :UV-VIS Spectrophotometer (Shimadzu) tipe UV – 1601.

Setelah pengujian tingkat penyerapan *dye* dilakukan, angka absorbansi akan muncul pada setiap panjang gelombang cahaya. Selanjutnya angka-angka tersebut diolah dalam bentuk grafik seperti dalam gambar di bawah ini. Gambar 5.2

menampilkan tingkat penyerapan dari larutan hasil ekstraksi daun pepaya dan hasil ekstraksi daun jarak.



Gambar 5. 2 : Grafik Tingkat Penyerapan Cahaya pada Hasil Ekstraksi Klorofil Daun Pepaya dan Daun Jarak. **Sholeh et al., 2013**

Berdasarkan pengujian tingkat penyerapan *dye* yang telah dilakukan, klorofil daun pepaya maupun klorofil daun jarak memiliki karakteristik tingkat penyerapan yang hampir sama yaitu tingkat penyerapan sebesar 4 (a.u.) pada panjang gelombang cahaya 450-500 nm dan sebesar 3 (a.u.) pada panjang gelombang 650 nm. Perbedaan tingkat penyerapan terjadi pada panjang gelombang antara 500–600 nm di mana klorofil daun pepaya memiliki penyerapan lebih tinggi.

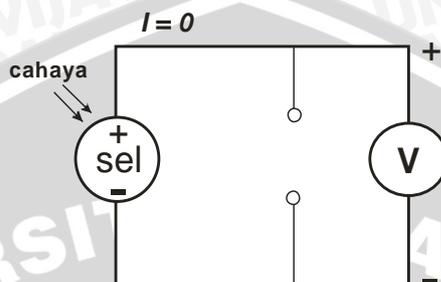
5.2. Pengujian Hasil Keluaran DSSC

Pengujian hasil keluaran DSSC dilakukan di bawah sinar lampu. Pengujian dilakukan dibawah sinar lampu untuk mengetahui pengaruh metode deposisi pada pasta TiO_2 terhadap hasil keluaran DSSC. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut

1. *Dye-Sensitized Solar Cell*
2. Rangkaian pengujian sel
3. Multimeter Sanwa *CD800a*
4. Multimeter analog ABB *MA3E*

5.2.1 Pengujian Tegangan Hubung Buka (Voc) DSSC

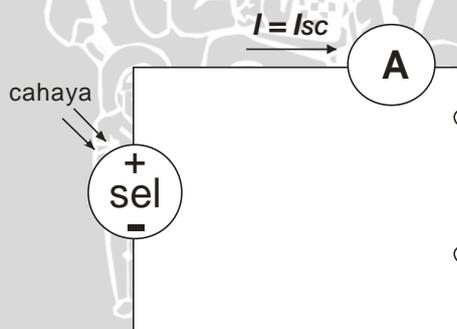
Alat ukur yang digunakan dalam proses pengukuran adalah multimeter digital *Sanwa® CD800a*. Pengukuran tegangan hubung buka dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif multimeter dengan substrat DSSC yang berperan sebagai katoda dan menghubungkan kutub negatif multimeter dengan substrat anoda DSSC. Gambar 5.3 menampilkan bagaimana cara menguji tegangan hubung buka (V_{oc}).



Gambar 5.3 : Rangkaian Pengukuran Tegangan Hubung Buka (V_{oc})

5.2.2 Pengukuran Arus Hubung Singkat (I_{sc}) DSSC

Alat ukur yang digunakan dalam proses pengukuran adalah multimeter analog *ABB MA3E*. Pengukuran arus hubung singkat dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif dan negatif multimeter dengan rangkaian rangkaian hubung singkat DSSC. Gambar 5.4 menampilkan bagaimana cara menguji arus hubung singkat (I_{sc}) DSSC.



Gambar 5.4 Rangkaian Pengukuran Arus Hubung Singkat (I_{sc})

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu merkuri sebagai sumber cahaya. Setelah V_{oc} dan I_{sc} diketahui, kemudian dicari luasan maksimum dengan menggunakan persamaan $y = m \cdot x + C$, dimana $m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$. Kemudian digunakan V_{max} dan I_{max} untuk mendapatkan FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}).

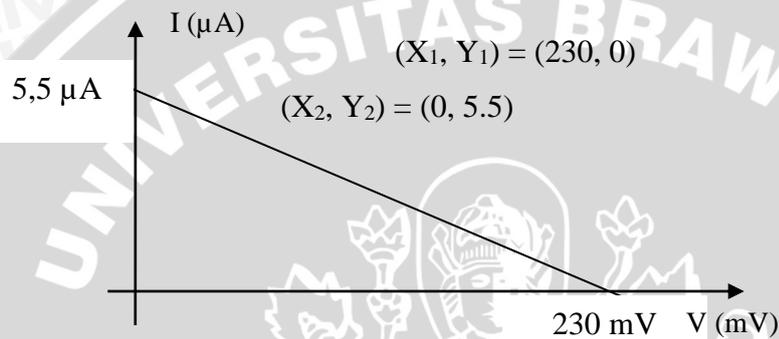
5.2.3 Hasil Pengujian Sel Variasi Perbandingan Pasta TiO₂ dan PVA (*polyvinyl alcohol*).

A. Pengujian Perbandingan Pasta TiO₂ Variasi Perbandingan 3:12

Pada sel dengan variasi perbandingan 3 : 12 , dengan intensitas cahaya 7500 Lux didapatkan hasil pengukuran Voc sebesar 230 mV dan Isc sebesar 5,5 μ A. Hasil pengukuran Voc dan Isc pada sel dengan pasta TiO₂ dan PVA variasi perbandingan 3 : 12.

Dari hasil tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.

$$Voc = 230 \text{ mV} \quad ; \quad Isc = 5,5 \text{ } \mu\text{A}$$



$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{5,5 - 0}{0 - 230} = -0,0239$$

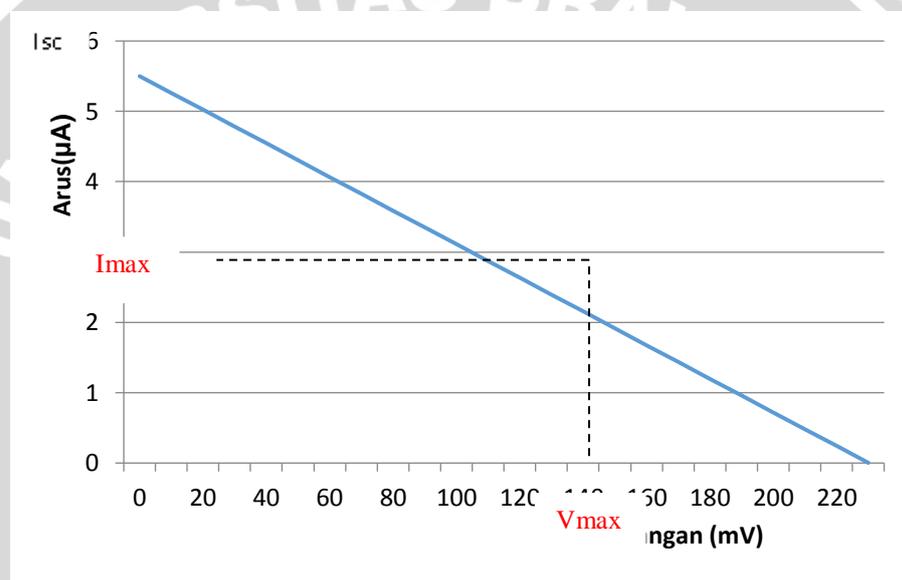
$$y = -0,0239x + 5,5$$

Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan Vmax dan Imax pada pasta TiO₂ dengan perbandingan 3 : 12 ditunjukkan dalam Tabel 5.1. Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.5.

Tabel 5. 1: Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada pasta TiO₂ dengan perbandingan 3 : 12

x(V)	y(I)	x.y
0	5.5	0
10	5.261	52.61
20	5.022	100.44
30	4.783	143.49
40	4.544	181.76
50	4.305	215.25
60	4.066	243.96
70	3.827	267.89
80	3.588	287.04
90	3.349	301.41
100	3.11	311

110	2.871	315.81
120	2.632	315.84
130	2.393	311.09
140	2.154	301.56
150	1.915	287.25
160	1.676	268.16
170	1.437	244.29
180	1.198	215.64
190	0.959	182.21
200	0.72	144
210	0.481	101.01
220	0.242	53.24
230	0.003	0.69



Gambar 5.5 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi perbandingan 3 : 12

Data hasil perhitungan V_{max} dan I_{max} pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 variasi perbandingan 3 : 12 yaitu V_{max} sebesar 120 mV dan I_{max} sebesar 2,632 μA . Kemudian dicari FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}) dengan cara sebagai berikut,

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{120 \times 2,632}{230 \times 5,5} = \frac{315,84}{1265} = 0,249$$

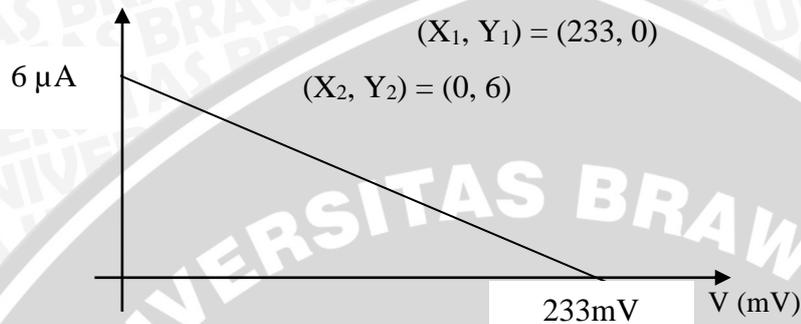
B. Pengujian Perbandingan Pasta TiO_2 Variasi Perbandingan 3:9

Pada sel dengan variasi perbandingan 3 : 9 , dengan intensitas cahaya 7500 Lux didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 233 mV dan I_{sc} sebesar 6 μA .

Hasil pengukuran Voc dan Isc pada sel dengan pasta TiO₂ dan PVA variasi perbandingan 3 : 9.

Dari hasil tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.

$$V_{oc} = 233 \text{ mV} \quad ; \quad I_{sc} = 6 \mu\text{A}$$



$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{6 - 0}{0 - 233} = -0,025$$

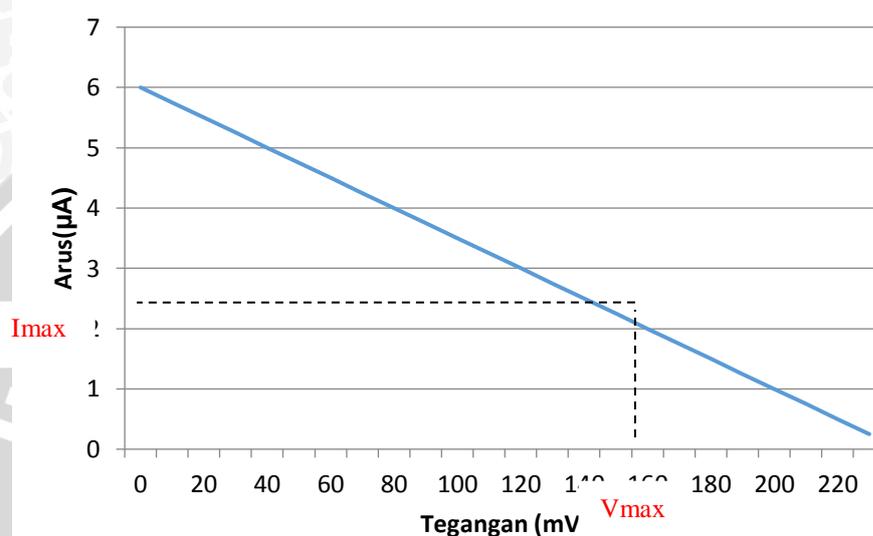
$$y = -0,025x + 6$$

Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan Vmax dan Imax pada pasta TiO₂ dengan perbandingan 3 : 9 ditunjukkan dalam Tabel 5.2. Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.6.

Tabel 5. 2 : Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada pasta TiO₂ dengan perbandingan 3 : 9

x(V)	y(I)	x.y
0	6	0
10	5.75	57.5
20	5.5	110
30	5.25	157.5
40	5	200
50	4.75	237.5
60	4.5	270
70	4.25	297.5
80	4	320
90	3.75	337.5
100	3.5	350
110	3.25	357.5
120	3	360
130	2.75	357.5
140	2.5	350
150	2.25	337.5
160	2	320
170	1.75	297.5

180	1.5	270
190	1.25	237.5
200	1	200
210	0.75	157.5
220	0.5	110
230	0.25	57.5



Gambar 5. 6 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi perbandingan 3 : 9

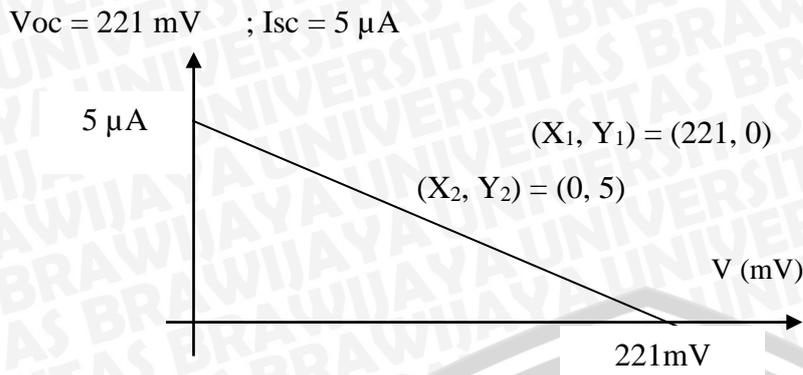
Data hasil perhitungan V_{max} dan I_{max} pada Tabel 5.2 menunjukkan bahwa V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 variasi perbandingan 3 : 9 yaitu V_{max} sebesar 120 mV dan I_{max} sebesar 3 μA . Kemudian dicari FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}) dengan cara sebagai berikut,

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{120 \times 3}{230 \times 6} = \frac{369}{1380} = 0,267$$

C. Pengujian Perbandingan Pasta TiO_2 Variasi Perbandingan 3:6

Pada sel dengan variasi perbandingan 3 : 6 , dengan intensitas cahaya 7500 Lux didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 221 mV dan I_{sc} sebesar 5 μA . Hasil pengukuran V_{oc} dan I_{sc} pada sel dengan pasta TiO_2 dan PVA variasi perbandingan 3 : 6.

Dari hasil tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.



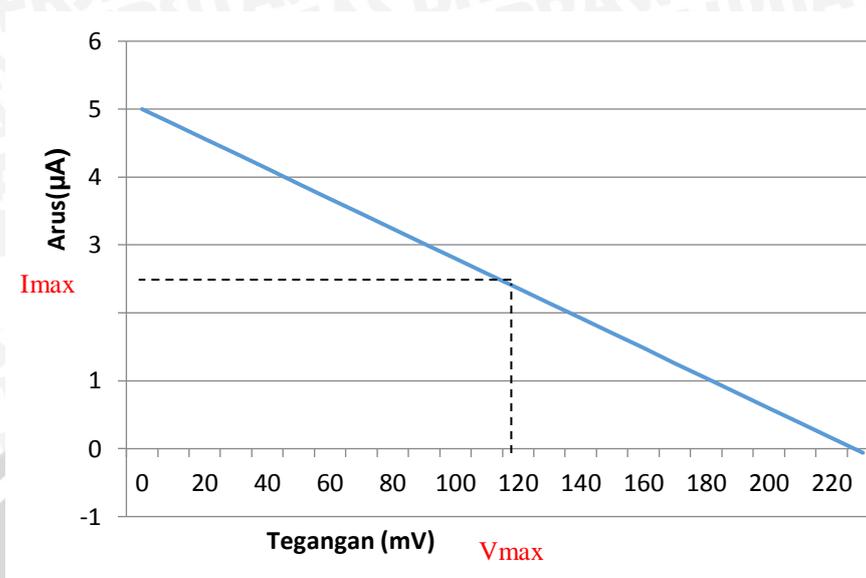
$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{5 - 0}{0 - 221} = -0,022$$

$$y = -0,022x + 5$$

Setelah didapatkan persamaan y , persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 dengan perbandingan 3 : 6 ditunjukkan dalam Tabel 5.3. Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.7.

Tabel 5. 3 : Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC pada pasta TiO_2 dengan perbandingan 3:6

x(V)	y(I)	x.y
0	5	0
10	4.78	47.8
20	4.56	91.2
30	4.34	130.2
40	4.12	164.8
50	3.9	195
60	3.68	220.8
70	3.46	242.2
80	3.24	259.2
90	3.02	271.8
100	2.8	280
110	2.58	283.8
120	2.36	283.2
130	2.14	278.2
140	1.92	268.8
150	1.7	255
160	1.48	236.8
170	1.26	214.2
180	1.04	187.2
190	0.82	155.8
200	0.6	120
210	0.38	79.8
220	0.16	35.2
230	-0.06	-13.8



Gambar 5. 7 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi perbandingan 3 : 6

Data hasil perhitungan V_{max} dan I_{max} pada Tabel 5.3 menunjukkan bahwa V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 variasi perbandingan 3 : 6 yaitu V_{max} sebesar 110 mV dan I_{max} sebesar 2.58 μA . Kemudian dicari FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}) dengan cara sebagai berikut,

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{110 \times 2.58}{221 \times 5} = \frac{283,8}{1105} = 0,256$$

5.2.4 Pengujian Tegangan terhadap Intensitas Cahaya

Pengujian tegangan terhadap intensitas cahaya yang menggunakan lampu merkuri 250W diuji menggunakan luxmeter dan voltmeter. Variasi intensitas cahaya yaitu : 7.500, 8.000, 10.000, 15.000, 20.000, 30.000 Lux. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian tegangan terhadap Intensitas cahaya.

Tabel 5. 4 : Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya

Intensitas Cahaya (Lux)	T60 Voc (mV)	T90 Voc (mV)	T120 Voc (mV)
7500	220	229	228
8000	233	235	234
10000	254	255	256
15000	280	280	285
20000	292	295	293
30000	309	313	310

5.2.5 Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya

Pengujian arus terhadap intensitas cahaya yang menggunakan lampu merkuri 250 W diuji menggunakan luxmeter dan ampermeter. Variasi intensitas cahaya yaitu: Variasi intensitas cahaya yaitu : 7.500, 8.000, 10.000, 15.000, 20.000, 30.000 Lux.. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian arus terhadap Intensitas cahaya.

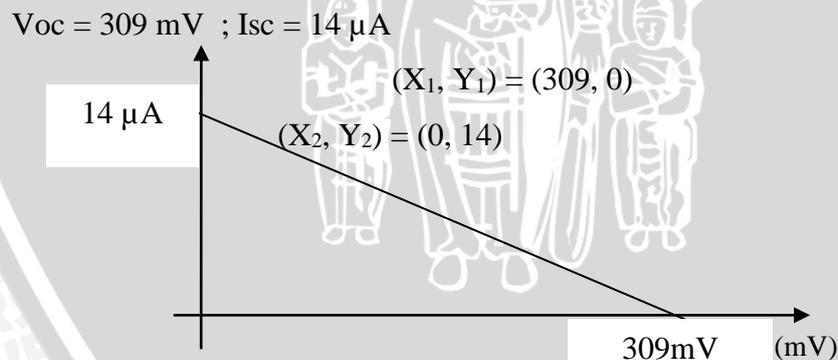
Tabel 5. 5 : Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya

Intensitas Cahaya (Lux)	T60 Isc (μ A)	T90 Isc (μ A)	T120 Isc (μ A)
7500	5.5	5	5
8000	6	5.5	5
10000	10	11	11
15000	12	12.5	12
20000	13	13	13
30000	14	15	14

5.2.6 Hasil Pengujian Dengan Perbandingan Variasi *Screen Printing*

1. Pengujian Variasi *Screen Printing* pada T60

Pada sel dengan variasi *Screen Printing* T60 , dengan intensitas cahaya 30000 Lux didapatkan hasil pengukuran Voc sebesar 309 mV dan Isc sebesar 14 μ A. Dari hasil tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.



$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{14 - 0}{0 - 309} = -0,045$$

$$y = -0,045x + 14$$

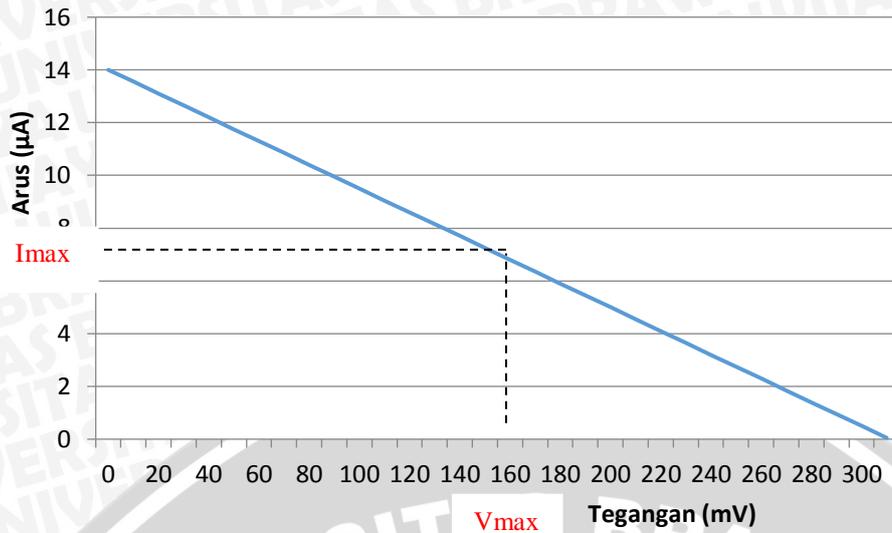
Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan Vmax dan Imax pada pasta TiO₂ dengan *screen* T60 ditunjukkan dalam Tabel 5.6.

Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.8

Tabel 5. 6 Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC pada Screen T60

x(V)	y(I)	x.y
0	14	0
10	13.55	135.5
20	13.1	262
30	12.65	379.5
40	12.2	488
50	11.75	587.5
60	11.3	678
70	10.85	759.5
80	10.4	832
90	9.95	895.5
100	9.5	950
110	9.05	995.5
120	8.6	1032
130	8.15	1059.5
140	7.7	1078
150	7.25	1087.5
160	6.8	1088
170	6.35	1079.5
180	5.9	1062
190	5.45	1035.5
200	5	1000
210	4.55	955.5
220	4.1	902
230	3.65	839.5
240	3.2	768
250	2.75	687.5
260	2.3	598
270	1.85	499.5
280	1.4	392
290	0.95	275.5
300	0.5	150
310	0.05	15.5





Gambar 5. 8 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi *screen* T60

Data hasil perhitungan V_{max} dan I_{max} pada Tabel 5.6 menunjukkan bahwa V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 variasi *screen* T60 yaitu V_{max} sebesar 160 mV dan I_{max} sebesar 6.8 μA . Kemudian dicari FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}) dengan cara sebagai berikut,

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{160 \times 6.8}{309 \times 14} = \frac{1088}{4326} = 0,251$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 4326 \times 0.251 \\ &= 1086 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

2. Pengujian Variasi *Screen Printing* pada T90

Pada sel dengan variasi *Screen Printing* T90, dengan intensitas cahaya 30000 Lux didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 313 mV dan I_{sc} sebesar 15 μA .

Dari hasil tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'

$$V_{oc} = 313 \text{ mV} ; I_{sc} = 15 \mu A$$

$$(X_1, Y_1) = (313, 0)$$

$$15 \mu A$$

$$(X_2, Y_2) = (0, 15)$$

$$313 \text{ mV} \quad V \text{ (mV)}$$

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{15 - 0}{0 - 313} = -0,047$$

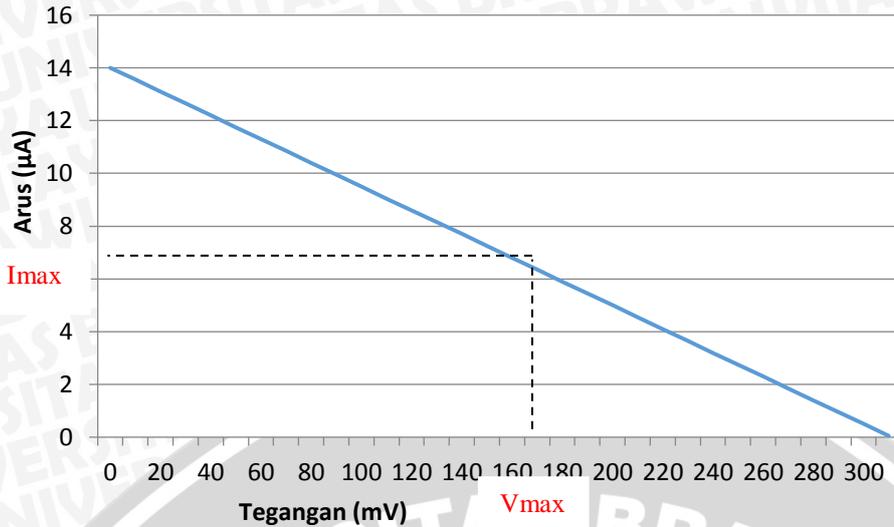
$$y = -0,047x + 15$$

Setelah didapatkan persamaan y , persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 dengan *screen* T90 ditunjukkan dalam Tabel 5.7.

Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.9

Tabel 5. 7 Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC pada *Screen* T90

x(mV)	y(I)	x.y
0	15	0
10	14.53	145.3
20	14.06	281.2
30	13.59	407.7
40	13.12	524.8
50	12.65	632.5
60	12.18	730.8
70	11.71	819.7
80	11.24	899.2
90	10.77	969.3
100	10.3	1030
110	9.83	1081.3
120	9.36	1123.2
130	8.89	1155.7
140	8.42	1178.8
150	7.95	1192.5
160	7.48	1196.8
170	7.01	1191.7
180	6.54	1177.2
190	6.07	1153.3
200	5.6	1120
210	5.13	1077.3
220	4.66	1025.2
230	4.19	963.7
240	3.72	892.8
250	3.25	812.5
260	2.78	722.8
270	2.31	623.7
280	1.84	515.2
290	1.37	397.3
300	0.9	270
310	0.43	133.3



Gambar 5. 9 : Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi *screen* T90

Data hasil perhitungan V_{max} dan I_{max} pada Tabel 5.6 menunjukkan bahwa V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 variasi *screen* T90 yaitu V_{max} sebesar 160 mV dan I_{max} sebesar 7.48 μA . Kemudian dicari FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}) dengan cara sebagai berikut,

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{160 \times 7.48}{313 \times 15} = \frac{1198.8}{4695} = 0,255$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 4695 \times 0.255 \\ &= 1197 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

3. Pengujian Variasi *Screen Printing* pada T120

Pada sel dengan variasi *Screen Printing* T120, dengan intensitas cahaya 30000 Lux didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 310 mV dan I_{sc} sebesar 14 μA .

Dari hasil tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'

$$V_{oc} = 310 \text{ mV} ; I_{sc} = 14 \mu A$$

$$(X_1, Y_1) = (310, 0)$$

$$14 \mu A$$

$$(X_2, Y_2) = (0, 14)$$

$$310 \text{ mV} \quad V \text{ (mV)}$$

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{14 - 0}{0 - 310} = -0,045$$

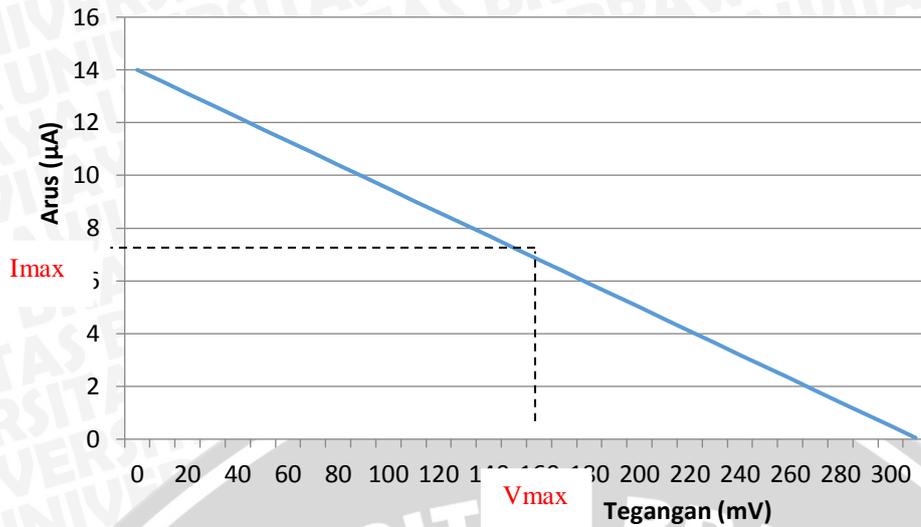
$$y = -0,045x + 14$$

Setelah didapatkan persamaan y , persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 dengan *screen* T90 ditunjukkan dalam Tabel 5.8.

Grafik karakteristik I-V ditunjukkan dalam Gambar 5.10

Tabel 5. 8 : Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC pada *Screen* T120

x(V)	y(I)	x.y
0	14	0
10	13.55	135.5
20	13.1	262
30	12.65	379.5
40	12.2	488
50	11.75	587.5
60	11.3	678
70	10.85	759.5
80	10.4	832
90	9.95	895.5
100	9.5	950
110	9.05	995.5
120	8.6	1032
130	8.15	1059.5
140	7.7	1078
150	7.25	1087.5
160	6.8	1088
170	6.35	1079.5
180	5.9	1062
190	5.45	1035.5
200	5	1000
210	4.55	955.5
220	4.1	902
230	3.65	839.5
240	3.2	768
250	2.75	687.5
260	2.3	598
270	1.85	499.5
280	1.4	392
290	0.95	275.5
300	0.5	150
310	0.05	15.5



Gambar 5. 10 Grafik Karakteristik I-V Sel dengan variasi *screen* T120

Data hasil perhitungan V_{max} dan I_{max} pada Tabel 5.6 menunjukkan bahwa V_{max} dan I_{max} pada pasta TiO_2 variasi *screen* T120 yaitu V_{max} sebesar 160 mV dan I_{max} sebesar 6.8 μA . Kemudian dicari FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}) dengan cara sebagai berikut,

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{160 \times 6.8}{310 \times 14} = \frac{1088}{4340} = 0,25$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 4340 \times 0.25 \\ &= 1085 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian DSSC Variasi Screen Printing

Screen Printing	Voc (mV)	Isc (μA)	Pmax (W)
T60	309	14	1086×10^{-9}
T90	313	15	1197×10^{-9}
T120	310	14	1085×10^{-9}

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dan pengujian sistem dapat disimpulkan dan dihasilkan data sebagai berikut:

- 1) Perancangan DSSC yang telah dilakukan dengan metode *doctor blading* menggunakan *screen printing* saat proses deposisi TiO_2 pada substrat, jelaga karbon yang berasal dari hasil pembakaran substrat berperan sebagai *counter electrode*, serta *dye* berasal dari klorofil hasil ekstraksi 10 gram daun pepaya untuk DSSC 1 dan 10 gram daun jarak untuk DSSC 2 di mana masing-masing menggunakan pelarut ethanol sebanyak 50 ml.
- 2) Pengujian menggunakan DSSC berdasarkan tingkat kepadatan TiO_2 yang telah dilakukan. Di dapatkan hasil lebih besar dengan perbandingan 3:12 dibandingkan dengan ketika menggunakan perbandingan 3:9 dan 3:6.
- 3) Hasil dari pengujian sel menunjukkan bahwa sel dengan menggunakan *screen printing* T90 menghasilkan I_{sc} dan P_{max} paling baik yaitu $15 \mu\text{A}$ dan 1197×10^{-9} watt.
- 4) Proses fabrikasi menggunakan variasi *screen printing* pada pasta TiO_2 pada DSSC mempengaruhi hasil keluaran yang di peroleh.

5.2. Saran

Dalam perancangan dan pembuatan sistem ini masih terdapat kelemahan. Agar tercapai sautu perbaikan kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan.

- Disarankan untuk perancangan selanjutnya diberikan hasil dari Lab. SEM untuk mengetahui kerapatan pasta TiO_2



DAFTAR PUSTAKA

- A. P. Uthirakumar. 2011. *Fabrication of ZnO Based Dye Sensitized Solar Cells*. Nanoscience Centre for Optoelectronics and Energy Devices, Sona College of Technology.
- Anh, Quan Vo. 2006. *Degradation of the Solar Cell Dye Sensitizer N719 Preliminary Building of Dye-Sensitized Solar Cell. Thesis*. Denmark : Roskilde University.
- B. Paul, B. Sørensen, Y. Shang-Tian, R. Sukanta. 2009. *Renewable Energy Focus Handbook*. Elsevier Inc. San Diego, CA.
- G. Phani, G. Tulloch, D. Vittorio, dan I. Skyrabin. 2001. *Titania solar cells: new photovoltaic technology*. Renewable Energy.
- H. Zhang, J.F. Banfield. 2000. *Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from TiO₂*. J-Phys Chem B, vol. 104.
- Hardianto, Toto. 2009. *Kuliah Pembangkitan : Opsi Nuklir Dalam Kebijakan Energi Nasional*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- J. Halme, 2002, *Dye Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : technical review and preeliminary test*. Master Thesis of Helsinki University of Technology.
- Kay, A. Grätzel, M.. 1996. *Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder*. Solar Energy Materials & Solar Cells.
- Maulana, E., Pramono, S., Fanditya, D., Julius, M. 2014. *Effect of Chlorophyll Concentration Variations from Extract of Papaya Leaves on DyeSensitized Solar Cell*. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, Electrical Engineering. 2(10): 388
- Manan, S. 2009. *Energi Matahari Sumber Energi Alternatif yang Effisien, handal dan ramah lingkungan di Indonesia*, Program Diploma III Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang : tidak diterbitkan.
- P. Sholeh, E. Maulana, M. Julius, T. Utomo. 2013. *Laporan Penelitian:Solar Sel Organik dengan Pewarna Klorofil Pada DSSC (dye-sensitized solar cell) Dari Ekstraksi Daun Jarak Pagar Dan Daun Pepaya*. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

P. Sholeh, E. Maulana, M. Julius, T. 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 Conference on Education, Technology and Science 2013. UMP (2013).

pp 248 - 251

S.Wilman, D. Fajarisandi, M. Aditia. 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik- Inorganik*. Penghargaan PT. Rekayasa Industri Penelitian Bidang Energi. Jakarta : tidak diterbitkan.

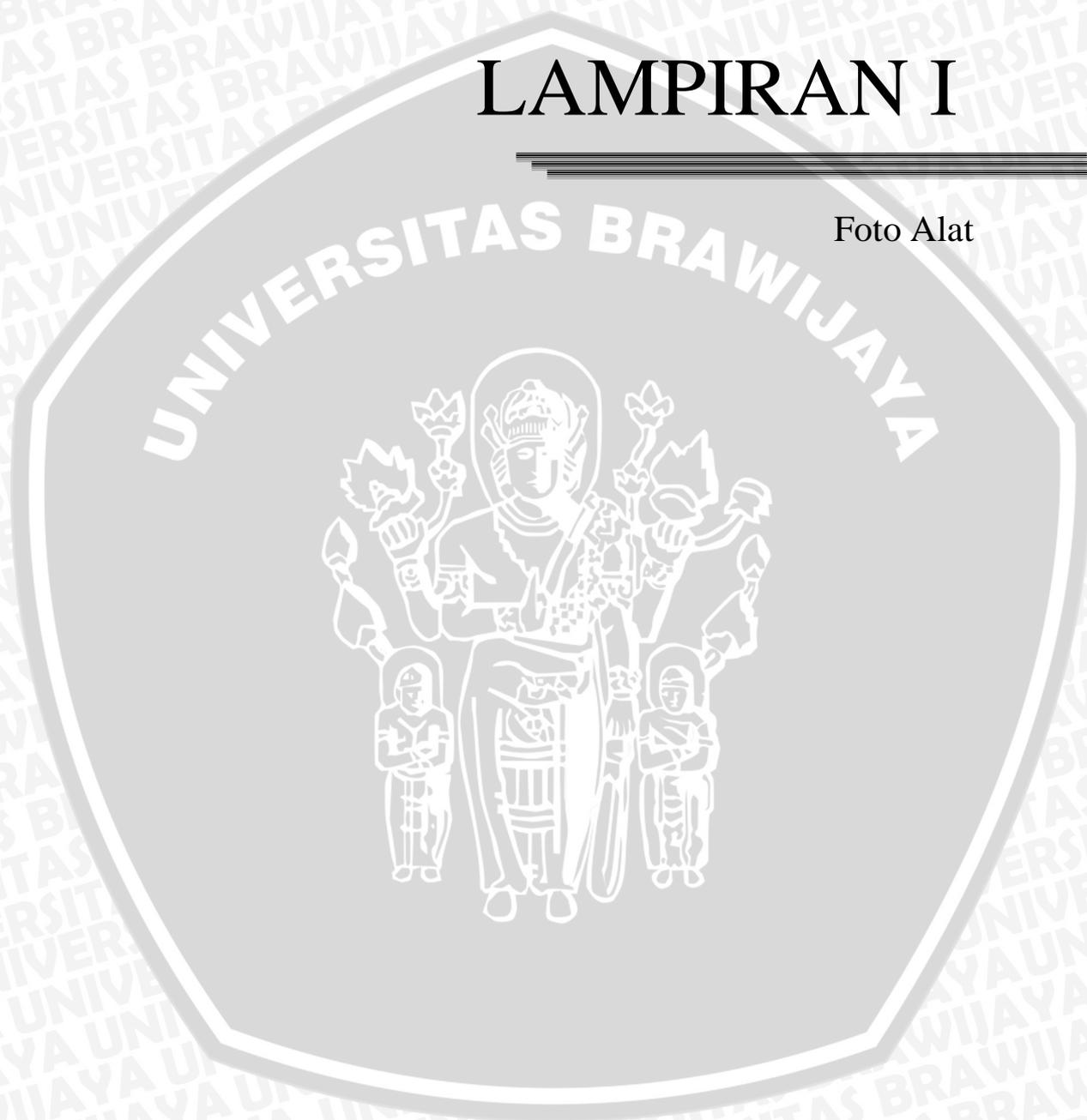
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



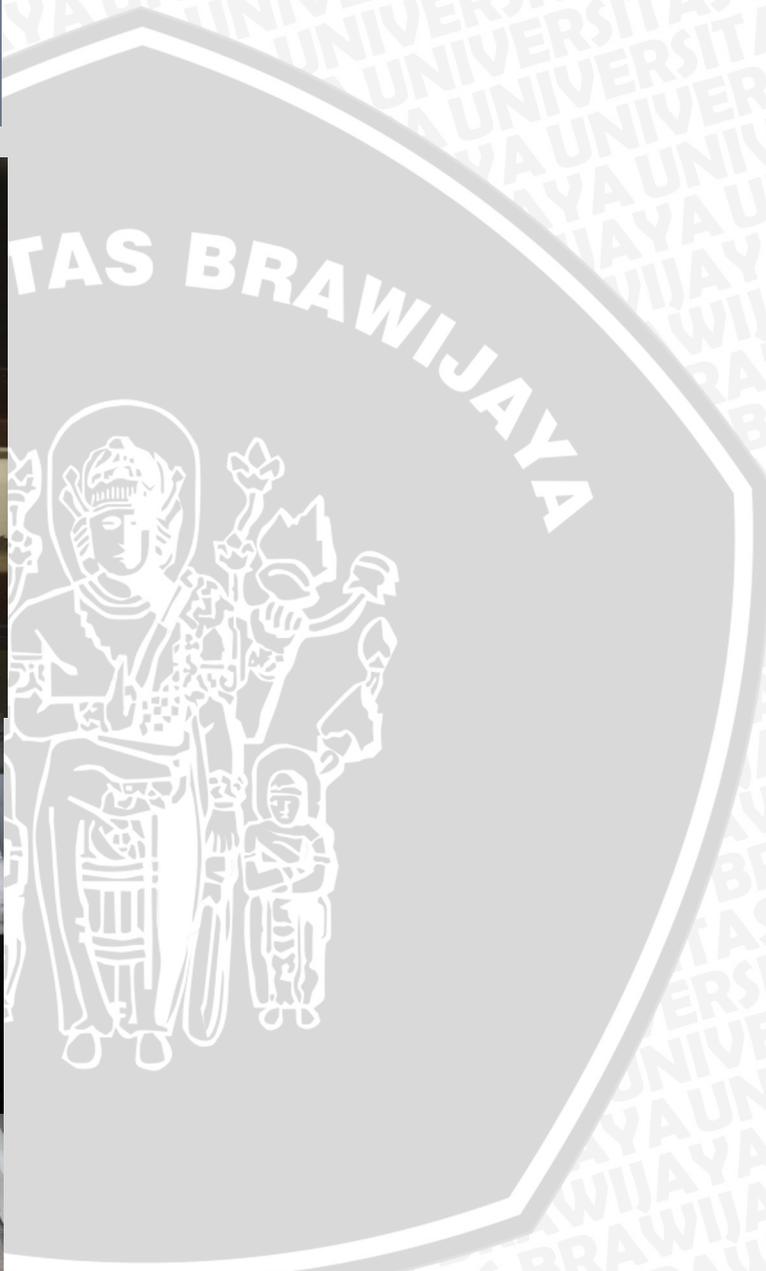
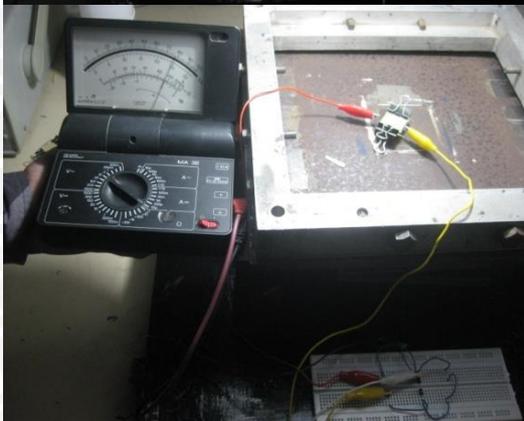


LAMPIRAN I

Foto Alat







LAMPIRAN II

Data Sheet

MATERIAL SAFETY DATA SHEET (MSDS)
TRANSPARENT CONDUCTIVE OXIDE (TCO)



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
SINGAPORE

Telephone : +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

H319

H335

Causes skin irritation.

Causes serious eye irritation.

May cause respiratory irritation.

Precautionary statement(s)

P261

P305 + P351 + P338

Avoid breathing dust.

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

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: Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

Splash contact

Material: Nitrile rubber

Minimum layer thickness: 0,11 mm

Break through time: 480 min

Material tested: Dermatril® (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

Page 5 of 7

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates EC50 - Daphnia magna (Water flea) - > 1.000 mg/l - 48 h

EC0 - Daphnia magna (Water flea) - 1.000 mg/l - 48 h

12.2 Persistence and degradability

no data available

12.3 Bioaccumulative potential

no data available

12.4 Mobility in soil

no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted

12.6 Other adverse effects

no data available

SECTION 13: Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product

Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

SECTION 14: Transport information

14.1 UN number

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.2 UN proper shipping name

ADR/RID: Not dangerous goods

IMDG: Not dangerous goods

IATA: Not dangerous goods

14.3 Transport hazard class(es)

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.4 Packaging group

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.5 Environmental hazards

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

14.6 Special precautions for user

no data available

SECTION 15: Regulatory information

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

no data available

15.2 Chemical Safety Assessment

For this product a chemical safety assessment was not carried out

SECTION 16: Other information**Further information**

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

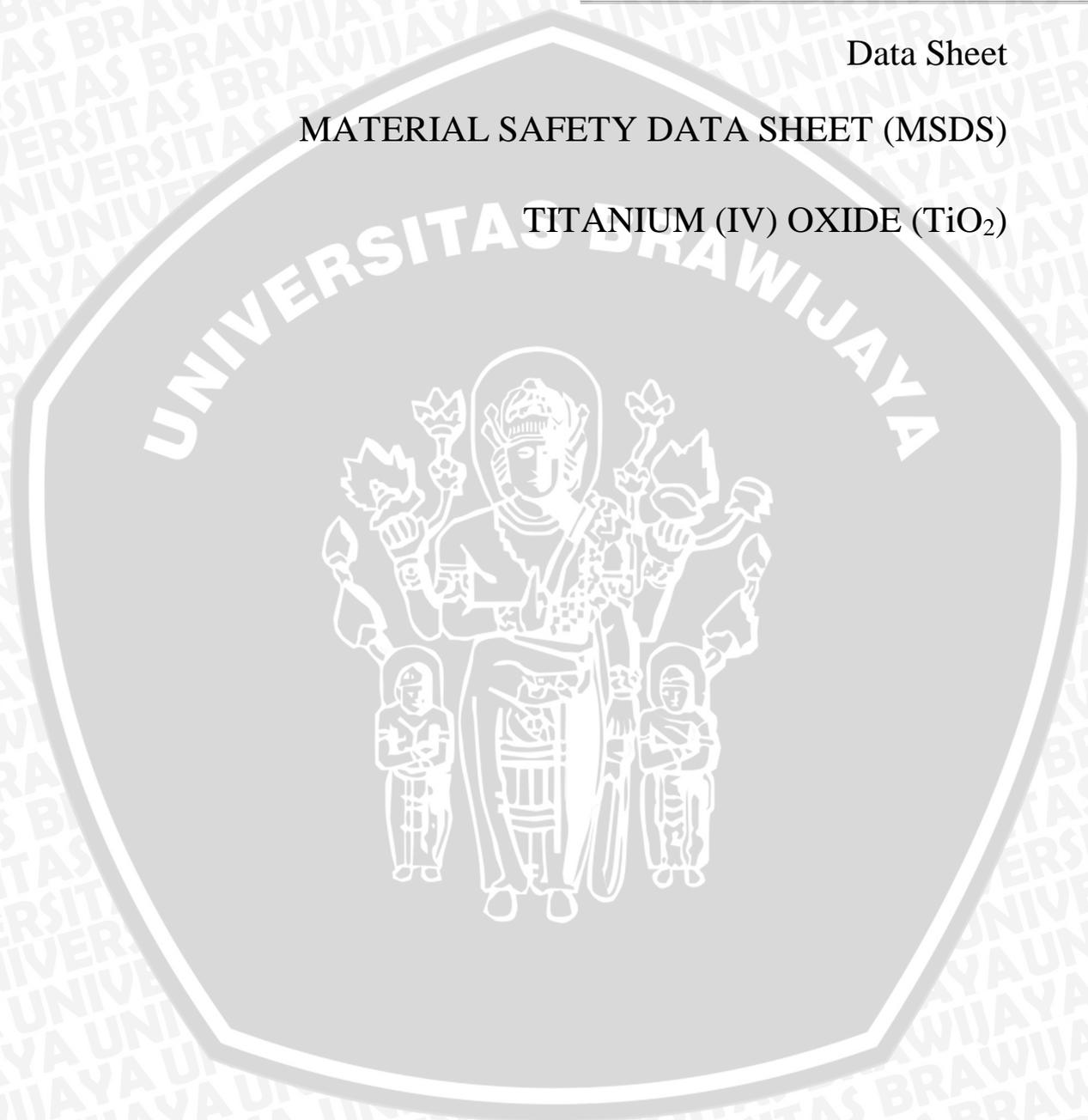
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent 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.

LAMPIRAN III

Data Sheet

MATERIAL SAFETY DATA SHEET (MSDS)

TITANIUM (IV) OXIDE (TiO_2)



SIGMA-ALDRICH

sigma-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: Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

Splash contact

Material: Nitrile rubber

Minimum layer thickness: 0,11 mm

Break through time: 480 min

Material tested: Dermatril® (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

Page 5 of 7

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates EC50 - Daphnia magna (Water flea) - > 1.000 mg/l - 48 h

EC0 - Daphnia magna (Water flea) - 1.000 mg/l - 48 h

12.2 Persistence and degradability

no data available

12.3 Bioaccumulative potential

no data available

12.4 Mobility in soil

no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted

12.6 Other adverse effects

no data available

SECTION 13: Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product

Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

SECTION 14: Transport information

14.1 UN number

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.2 UN proper shipping name

ADR/RID: Not dangerous goods

IMDG: Not dangerous goods

IATA: Not dangerous goods

14.3 Transport hazard class(es)

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.4 Packaging group

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.5 Environmental hazards

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

14.6 Special precautions for user

no data available

SECTION 15: Regulatory information

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

no data available

15.2 Chemical Safety Assessment

For this product a chemical safety assessment was not carried out

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.

LAMPIRAN IV

Data Sheet

MATERIAL SAFETY DATA SHEET (MSDS)

ACETONITRILE

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





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

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

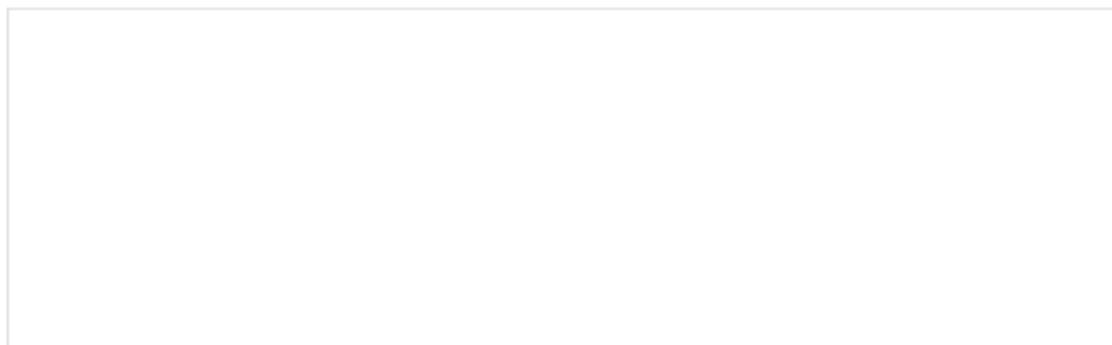
R Phrase	R 11-20/21/22-36 Highly flammable. Harmful by inhalation, in contact with skin and if swallowed. Irritating to eyes.
S Phrase	S 16-36/37 Keep away from sources of ignition - No smoking. Wear suitable protective clothing and gloves.
Categories of danger	highly flammable, harmful, irritant
Hazard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

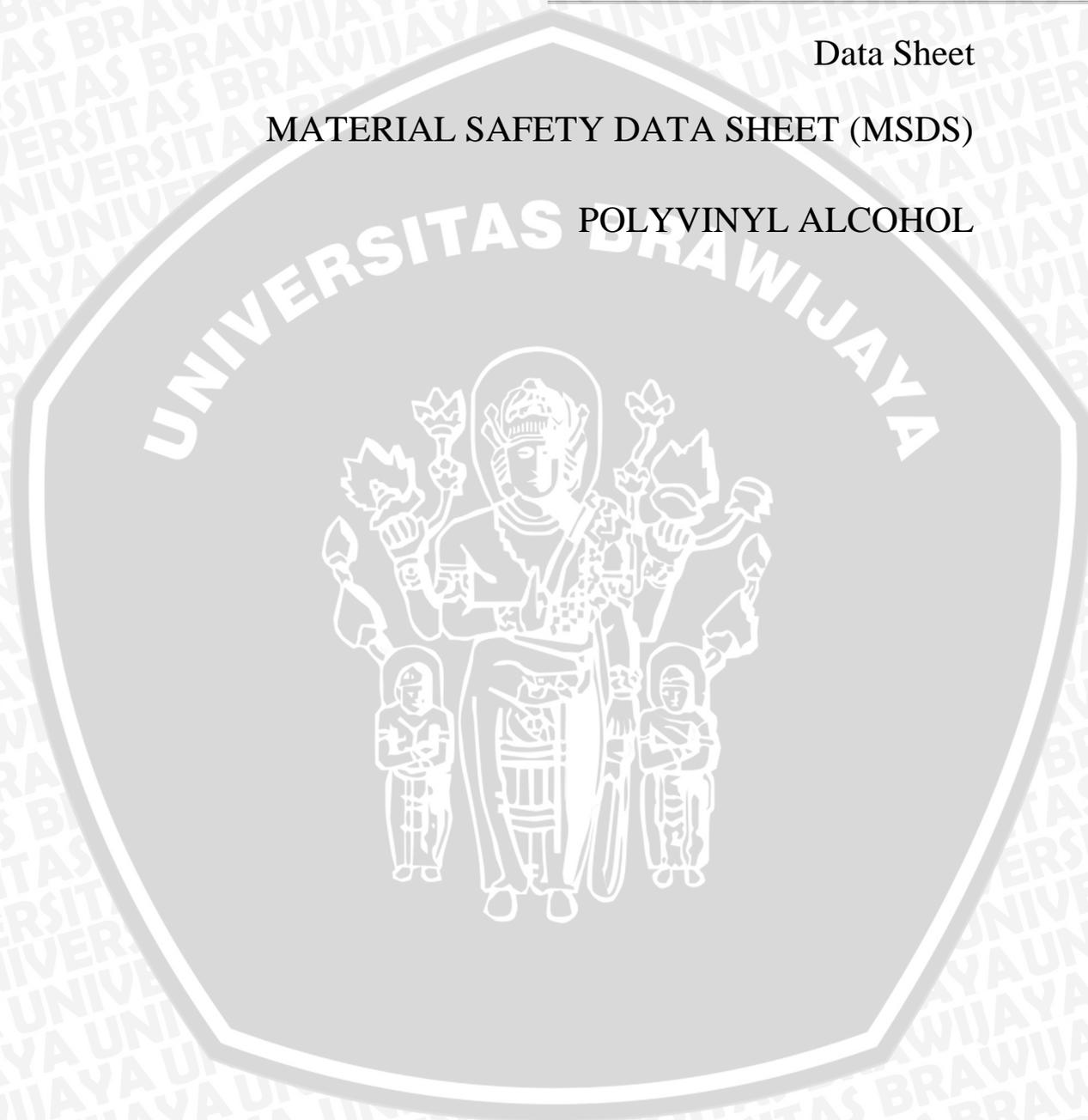


LAMPIRAN V

Data Sheet

MATERIAL SAFETY DATA SHEET (MSDS)

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 VI

Data Sheet

MATERIAL SAFETY DATA SHEET (MSDS)

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, resublimed 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 VII

Data Sheet

MATERIAL SAFETY DATA SHEET (MSDS)

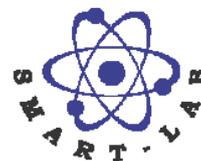
ETHANOL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



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 ABSORPT ION 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/EMESI S. ADMINSTRATION OF GASTRIC LAVAGE, OXYGEN/CPR SHOULD BE PERFORMED BY QUALIFIED MEDICAL PERSONNEL.

3) FIRE FIGHTING MEASURES

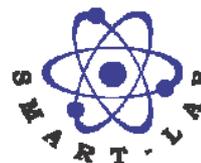
Flash Point Text: 55.0F,12.8C
 Auto Ignition Temperature Text:
 Lower Limits: 3.3 Upper Limits: 19
 Extinguishing Media: USE WATER SPRAY, CARBON DIOXIDE (CO2), ALCOHOL FOAM OR DRY CHEMICAL. USE WATER SPRAY TO COOL FIRE EXPOSED CONTAINERS.

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

Unusal 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

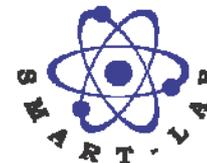
Appearance and Odor: CLEAR, COLORLESS LIQUID - PLEASANT ODOR WITH A BURNING TASTE

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

