TUGAS AKHIR - TF 141581

FABRIKASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) TERANGKAI SERI/PARALEL PADA FRAKSI VOLUME DAN UKURAN PARTIKEL TiO_2 ANATASE/RUTILE OPTIMUM

ALBERTUS RANDY
NRP. 2411 100 122

Dosen Pembimbing
Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

FINAL PROJECT – TF141581

FABRICATION OF DYE SENSITIZED SOLAR CELL USING OPTIMUM VOLUME FRACTION AND SIZE OF TiO_2 ANATASE/RUTILE PARTICLE CONNECTED IN SERIES-PARALLEL

ALBERTUS RANDY
NRP. 2411 100 122

Supervisor
Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

FABRIKASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) TERANGKAI SERI/PARALEL PADA FRAKSI VOLUME DAN UKURAN PARTIKEL TiO_2 ANATASE/RUTILE OPTIMUM

TUGAS AKHIR

Oleh:
Albertus Randy
NRP: 2411 100 122

Surabaya, 25 Agustus 2015
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I ,

Dr. Ing. Doty Dewi R., S.T., M.T.
NIPN. 19740903 199802 2 001

Pembimbing II ,

Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc
NIPN. 19840101 201212 1 002

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIPN. 19650309 199002 1 001

FABRIKASI *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) TERANGKAI SERI/PARALEL PADA FRAKSI VOLUME DAN UKURAN PARTIKEL TiO_2 ANATASE/RUTILE OPTIMUM

Nama Mahasiswa	**: Albertus Randy**
NRP	**: 2411 100 122**
Jurusan	**: Teknik Fisika FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.**
	Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.

Abstrak

DSSC yang dirangkai secara kombinasi seri dan paralel adalah salah satu cara untuk meningkatkan efisiensinya. TiO_2 dengan fraksi volume anatase-rutile 90%-10% dengan ukuran partikel optimum digunakan sebagai anoda foto DSSC ini. Metode co-precipitation dengan kalsinasi 400^oC selama 4 jam digunakan untuk mendapatkan fase anatase, mendapatkan ukuran partikel dengan rentang 10,062 nm sampai 24,068 nm, dan metode mineralisasi dengan kalsinasi 700^oC selama 4 jam untuk fase rutile, mendapatkan ukuran partikel 161,13 nm. Penelitian ini menggunakan pewarna alami anthocyanine dari kulit manggis diekstrak menggunakan ethanol pada magnetic strirrer. Dari hasil uji kurva I-V di bawah sinar matahari langsung, DSSC tunggal F yang mendapatkan efisiensi tertinggi sebesar 0,00786% dengan luxmeter sebagai alat ukur daya matahari dan 0,00542% dengan pyranometer. Berdasarkan pada penemuan sebelumnya, rangkaian kombinasi seri dan paralel menunjukkan efisiensi terbesar. Hal tersebut dikarenakan adanya ketidakidentikan performa masing-masing sel. Faktor pengali arus terbesar pada rangkaian 7 sebesar 5,84 dan faktor pengali tegangan terbesar pada rangkaian 6 sebesar 4,45.

Kata kunci: DSSC, anatase, rutile, rangkaian seri-paralel.

FABRICATION OF DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) USING OPTIMUM VOLUME FRACTION AND SIZE OF TiO_2 ANATASE/RUTILE PARTICLE CONNECTED IN SERIES-PARALLEL

Name	**: Albertus Randy**
NRP	**: 2411 100 122**
Department	**: Engineering Physics FTI-ITS**
Supervisory	**: Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.**
	Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.

Abstract

DSSC that are arranged in a combination of series and parallel is one way to increase the efficiency. TiO_2 with anatase-rutile volume fraction of 90%-10% with optimum particle size was used as photoanode of the DSSC. Co-precipitation method employing calcination at 400^{o}C for 4 hours was used for obtaining anatase phase, with particle size in the range of 10.062 - 24.068 nm, and mineralization methods with 700^{o}C calcination for obtaining rutile phase with particle size of 161.13 nm. This study uses anthocyanine as natural dyes from mangosteen peel extract. From the test results of IV curve under direct sunlight, the highest efficiency from a single DSSC is cell F, about 0.00786% by luxmeter as a measurement of solar power and 0.00542% by pyranometer. In accordance to the earlier findings, our result indicate that combination of series and parallel (circuit no. 8) shows the highest efficiency. This may be due to the non uniform performance of each cell. The largest current and voltage multiplication factor are 5.84 (circuit no. 7) and 4.45 (circuit no. 6), respectively.

Keywords: DSSC, anatase, rutile, series-parallel circuit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME atas tangan karunia dan mukjizat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Terangkai Seri/Paralel pada Fraksi Volume dan Ukuran Partikel TiO_2 Anatase/Rutile Optimum**". Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan Bapak Fitri Adi Iskandarianto, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis yang telah sabar memberikan petunjuk, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat.
2. Ibu Dr. Ing Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. dan Bapak Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan ilmu, pencerahan, semangat, dukungan, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Tutug Dhanardono, M.T. selaku Kasie Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS dan Bapak Basori yang telah memfasilitasi segala pemberitahuan kegiatan yang berkaitan dengan Tugas Akhir Teknik Fisika 2015
4. Bapak Ir. Zulkifli, MSc selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Bahan yang telah memberikan dukungan dan izin lab untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu dan wawasan selama kuliah.
6. Mas Ruri Agung Wahyuono, ST., MT. di Jerman yang telah memberi petunjuk kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
7. Bapak Effri, Ibu Erwiasri, adek Rio, dan seluruh keluarga rumah tercinta yang selalu memberi dukungan moral,

menjadi sponsor dana tunggal Tugas Akhir ini, dan mendoakan penulis dimanapun kapanpun.

8. Laboratorium Lingkungan LPPM ITS yang telah membantu melakukan pengujian dalam Tugas Akhir ini.
9. Mbak I'is yang telah membantu dalam pengujian XRD di Jurusan Material dan Metalurgi ITS.
10. Asisten Laboratorium Rekayasa Fotonik, Laboratorium Rekayasa Bahan, dan Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Sistem Kontrol Teknik Fisika ITS yang telah memberikan pinjaman alat dan dukungan moril untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Kawan-kawan kontrakan WPS Pandugo, Seno, Mupeng, Kencong, Fahmi, Baul, Eben, Rejak, Jakur, Imam
12. Itak, Mas Bob, Mbak Rista, Mas Karim, Mbak Ratna, Kintung, Uyun, Arum, Zuhar, Panji, Cip, Hendra, Arrafi, dan Tikus yang telah membantu banyak dalam pengerjaan Tugas Akhir dari awal sampai akhir.
13. Teman-teman seperjuangan TW 112 dalam mengerjakan Tugas Akhir bidang Rekayasa Bahan, Ayex, Zua, Say, Siddiq, Itak, Uyun, Nur Ika, Lugas.
14. Semua teman-teman angkatan 2011 yang telah membantu penulis untuk anti-wacana TW 112 yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 1 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Titanium Dioksida (TiO_2)	5
2.2 *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)	6
2.3 Cara Kerja DSSC	7
2.4 Performansi DSSC	8
2.5 Perhitungan Teoretis Rangkaian Satu Dioda	10
2.6 Konfigurasi DSSC	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Skema Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Persiapan Alat dan Bahan	16
3.3 Ekstraksi Pewarna Kulit Manggis	17
3.4 Sintesis TiO2	17
3.5 Pengujian XRD TiO2	18
3.6 Pelapisan TiO2 pada Kaca TCO	21
3.7 Perendaman Kaca TCO berlapis TiO2 di Larutan Pewarna	22
3.8 Perakitan DSSC	22

3.9 Pengujian Performansi DSSC 23
3.10 Spesifikasi Divais Pengukur Daya Matahari sebagai Daya Sumber 26
3.11 Skema Penelitian 28

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Hasil dan Analisa Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) TiO2 31
4.2 Hasil dan Analisa Pengujian Performansi Setiap DSSC 34
4.3 Hasil dan Analisa Pengujian Unjuk Kerja Rangkaian 40
4.4 Pembahasan 52

BAB V KESIMPULAN 55
5.1 Kesimpulan 55

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi *Luxmeter*	27
Tabel 3.2	Spesifikasi *Pyranometer*	28
Tabel 3.3	Rancangan Penelitian	29
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran dan Perhitungan J_{sc}, V_{oc}, *Fill Factor*, dan Daya Maksimal (P_{max}) pada Setiap DSSC	37
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan R_s Setiap DSSC	38
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Efisiensi Berdasarkan *Luxmeter* dan *Pyranometer* pada Setiap DSSC	40
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran dan Perhitungan J_{sc}, V_{oc}, *fill factor*, dan P_{max} Pada Setiap Rangkaian	42
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan R_s Setiap Rangkaian	43
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Efisiensi Berdasarkan *Luxmeter* dan *Pyranometer* pada Setiap Rangkaian	44
Tabel 4.7	Faktor Pengali Arus dan Tegangan Pada Setiap Rangkaian (cetak tebal menunjukkan standar acuan/pembagi)	45
Tabel 4.8	Faktor Pengali Arus dan Tegangan Pada Penelitian *Bilayer* Anatase dan Anatase-Rutile 90%-10%	46

Halaman ini memang dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Nanokristal TiO_2 (a) Anatase, (b) Rutile, (c) Brookite	5
Gambar 2.2	Komponen utama DSSC	7
Gambar 2.3	Dasar operasi DSSC	7
Gambar 2.4	Contoh kurva arus tegangan (I-V)	9
Gambar 2.5	Perbandingan pemodelan (Rs = 0) dengan pengukuran (Experimental) dalam kurva I-V	11
Gambar 2.6	Rangkaian teori satu dioda	11
Gambar 2.7	Pengaruh Rs (a) dan Rsh (b) pada *fill factor*	13
Gambar 2.8	Konfigurasi DSSC yang pernah dilakukan	14
Gambar 3.1	Skema diagram alir penelitian	15
Gambar 3.2	Hasil sintesis TiO_2 anatase	18
Gambar 3.3	Hukum Bragg	19
Gambar 3.4	Skema Kerja XRD	19
Gambar 3.5	XRD Philips X'pert MPD	20
Gambar 3.6	Pelapisan pasta TiO_2 pada kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) dengan menggunakan metode *doctor blade*	21
Gambar 3.7	Hasil kaca TCO yang telah dilapisi TiO_2 setelah dipanaskan 225^0 C	22
Gambar 3.8	Perakitan DSSC	23
Gambar 3.9	Hasil DSSC tunggal yang telah dirakit	23
Gambar 3.10	Skema Pengujian IPCE	24
Gambar 3.11	Rangkaian listrik ekivalen untuk mengukur nilai arus dan tegangan	24
Gambar 3.12	Skema Rangkaian DSSC yang Diujikan	25
Gambar 3.13	Pengukuran arus dan tegangan dari DSSC	26

Gambar 4.1	Hasil XRD TiO_2 Fase Anatase	31
Gambar 4.2	Hasil XRD TiO_2 Fase Rutile	32
Gambar 4.3	Hasil Spektrum IPCE DSSC TiO_2	35
Gambar 4.4	Kurva I-V DSSC: (a) Pengukuran sebenarnya dengan hambatan geser dan (b) Perhitungan teoretis dengan faktor idealitas n=1.	36
Gambar 4.5	Perbandingan kurva I-V teoretis dengan R_s dan kurva I-V pengukuran pada setiap DSSC	39
Gambar 4.6	Kurva I-V rangkaian (a) Pengukuran (b) Teori rangkaian satu diode	41
Gambar 4.7	Perbandingan efisiensi tertinggi, terendah, dan sebenarnya dari setiap rangkaian	47
Gambar 4.8	Kurva I-V DSSC terangkai seri	47
Gambar 4.9	Kurva linearisasi DSSC terangkai seri (a) arus maksimal (b) tegangan maksimal	48
Gambar 4.10	Kurva I-V DSSC terangkai paralel	51
Gambar 4.11	Kurva linearisasi DSSC terangkai paralel (a) tegangan maksimal (b) arus maksimal	

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan *dye-sensitized solar cell* (DSSC) atau sel surya berpewarna tersensitisasi semakin pesat seiring kebutuhan akan sel surya generasi ketiga. Fabrikasi DSSC tergolong lebih mudah dan lebih murah dibandingkan fabrikasi sel surya konvensional. Selain itu, penggunaan pewarna (*dye*) organik memberikan fitur yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena ketersediaan bahan pewarna alami dari keanekaragaman hayati yang sangat melimpah serta daya radiasi matahari tahunan yang relatif tinggi sebesar 4,8 kWh/m^2/hari, pengembangan teknologi DSSC cukup menjanjikan di Indonesia.

DSSC tersusun dari beberapa komponen antara lain: semikonduktor oksida sebagai anoda, lapisan pewarna, elektrolit, dan elektroda pembanding. Semikonduktor oksida memiliki peran cukup sentral sebagai anoda dan fotokatalis dimana molekul pewarna teradsorb secara kimiawi. Penggunaan semikonduktor oksida yang tepat merupakan salah satu cara meningkatkan efisiensi DSSC. Di antara berbagai semikonduktor oksida seperti ZnO, SnO_2, In_2O_3, Nb_2O_3 (Lee, 2011), TiO_2 merupakan salah satu semikonduktor oksida yang sering digunakan dalam fabrikasi DSSC dan mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Struktur kristal TiO_2 secara umum dibagi menjadi tiga fase (Yuwono, 2011) yaitu *rutile* (*tetragonal*, *space group* P42/mnm, E_g~3,05 eV), *brookite* (*orthorhombic*, Pcab, Eg~3,26 eV), dan *anatase* (*tetragonal*, 141/amd, Eg~3,23 eV). Di antara tiga fase tersebut, *rutile* adalah fase yang stabil secara termodinamik dengan pita celahnya sesuai dengan penyerapan spektrum cahaya matahari. Fase *anatase* memiliki konduktivitas listrik dan sifat fotokatalis yang lebih tinggi daripada fase *rutile* sehingga fase ini lebih sering digunakan pada DSSC (Lee, 2011). Terlebih, fotoanoda dengan nanopartikel TiO_2 *anatase* ini memiliki kemampuan mengadsorbsi pewarna yang lebih banyak dan koefisien difusi elektronnya juga lebih tinggi dibandingkan

fotoanoda nanopartikel *rutile*. Posisi pita konduksi TiO2 *anatase* lebih tinggi 0,1 eV dari fase *rutile* sehingga memungkinkan nilai maksimum tegangan pada kondisi *open circuit* yang lebih besar (Lee, 2011).

Pada studi terdahulu, fabrikasi DSSC dengan anoda TiO_2 tersensitisasi pewarna alami telah direalisasikan dengan efisiensi yang cukup baik. Modifikasi jumlah lapisan anoda TiO2 (Wahyuono, 2013) dan variasi fraksi volume *anatase*/*rutile* (Agustini, 2013 dan Lestari, 2014) telah dilakukan sebagai langkah optimasi struktur anoda untuk DSSC. Berdasarkan hasil yang diperoleh, DSSC menggunakan fotoanoda TiO_2 dengan fraksi volume *anatase*/*rutile* sebesar 90%:10% menghasilkan efisiensi yang terbesar. Namun demikian, hasil tersebut diperoleh untuk satu sel tunggal DSSC. Pada umumnya, performansi DSSC dalam bentuk modul sel surya akan mengalami penurunan dibandingkan performansi sel tunggal karena rugi-rugi Ohmik dari susunan setiap sel. Pada fabrikasi DSSC dalam bentuk modul, setiap sel akan dihubungkan secara seri dan paralel membentuk matrik sel surya. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan fabrikasi DSSC yang disusun dengan konfigurasi seri dan paralel tertentu menggunakan fotoanoda TiO_2 optimum berdasarkan penelitian sebelumnya.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh rangkaian seri dan paralel terhadap efisiensi DSSC dengan fraksi *anatase/rutile* 90:10 pada ukuran partikel optimum ?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah menganalisa pengaruh rangkaian seri dan paralel terhadap efisiensi DSSC dengan fraksi *anatase/rutile* 90:10 pada ukuran partikel optimum.

1.4 Batasan masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

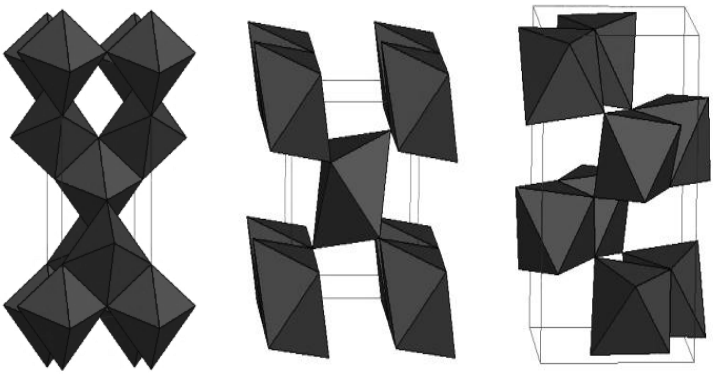
a. Temperatur ekstraksi pewarna antosianin yang digunakan adalah 60 ^{o}C dan pelarut yang digunakan adalah ethanol untuk kulit manggis.
b. Fraksi volume *anatase* dan *rutile* yang digunakan adalah 90% : 10%.
c. Pelapisan TiO_2 pada kaca TCO menggunakan metode *doctor blade*.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida, TiO_2, merupakan material semikonduktor yang tidak terdapat di alam secara alami, namun diekstrak dari *leuxocene* dan bijih *ilmenite* (Dewan dkk, 2010). Selain itu TiO_2 bisa didapatkan dengan menggunakan proses sintesis seperti metode sol gel yang menggunakan larutan *titanium alkoxides*, metode *hydrotermal*, metode sonokimia, metode *solvothermal*, metode oksidasi langsung, metode *microwave* (Bryanvand, dkk., 2013) dan metode *co-precipitation* (Wahyuono, 2013).



Gambar 2.1 Nanokristal TiO_2 (a) *Anatase*, (b) *Rutile*, (c) *Brookite* (*http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/tio2.htm*)

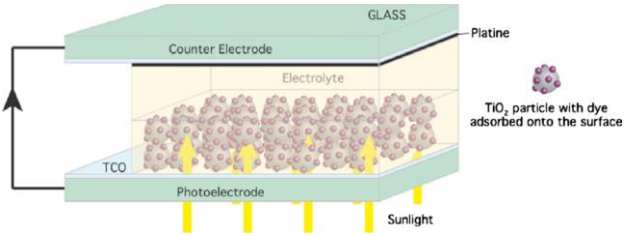
TiO_2 memilki tiga struktur kristal yaitu *anatase*, *rutile* dan *brookite* tampak pada Gambar 2.1. *Anatase* merupakan fase TiO_2 yang terbentuk ketika dikalsinasi pada suhu rendah. Fase ini memiliki struktur *tetragonal* dengan densitas sebesar 3830 kg/m^3. Untuk fase *rutile* didapatkan ketika dikalsinasi pada suhu tinggi, fase ini memiliki struktur *tetragonal* dengan densitas sebesar 4240 kg/m^3, sedangkan *brookite* merupakan fase yang sulit

ditemukan. Fase *brookite* memiliki struktur *rhombohendral* dengan densitas sebesar 4170 kg/m^3.

TiO_2 memilki memiliki pita celah sebesar >3,00 eV sehingga mampu menyerap energi foton sebagian besar spektrum cahaya matahari. Pita celah TiO_2 *rutile* adalah 3,0 eV setara dengan energi cahaya dengan panjang gelombang 413 nm, sedangkan pita celah dari TiO_2 *anatase* adalah 3,2 eV setara dengan energi cahaya dengan panjang gelombang 388 nm (Yuwono, dkk. 2011). Ketika fase *anatase* dan *rutile* dicampur maka pita celah yang dihasilkan berada pada rentang pita celah *rutile* dan *anatase*. Perbandingan fraksi *anatase* dan *rutile* 88%:12% mempunyai pita celah sebesar 3,15 eV sedangkan untuk fraksi 2%:98% mempunyai pita celah sebesar 3,03 eV. Semakin banyak fase *rutile* ditambahkan maka membuat pita celah yang dihasilkan mendekati pita celah *rutile* (Yuwono, dkk. 2011). Dari sisi biaya rendah, mudah diperoleh, dan tidak beracun, TiO_2 menjadi pilihan untuk semikonduktor untuk fotoelektroda (Nazeeruddin, dkk., 2011).

2.2 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

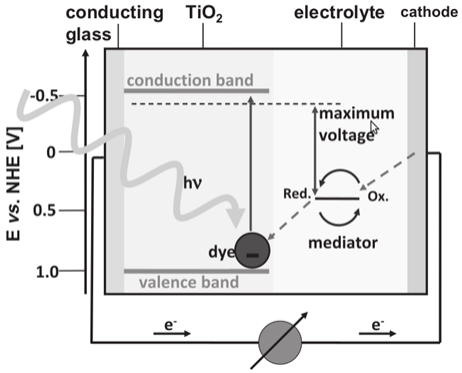
DSSC adalah sebuah divais pengubah energi foton menjadi energi listrik. Menggunakan semikonduktor oksida sebagai bagian utama dari DSSC, salah satu sel surya tahap perkembangan ini juga memanfaatkan adsorbsi pewarna tertentu untuk meningkatkan rentang serapan cahaya matahari. Pada Gambar 2.2 adalah komponen DSSC yang secara umum tersusun atas lima bagian utama, yaitu media sel kaca *Transparent Conductive Oxides* (TCO), lapisan semikonduktor oksida, biasanya TiO2, pewarna jenis *anthocyanine* yang diadsorbsikan pada permukaan semikonduktor, elektrolit sebagai media redoks, dan elektroda lawan dengan katalis platina atau karbon.



Gambar 2.2 Komponen DSSC (Nazeeruddin dkk.,2011)

2.3 Cara Kerja DSSC

DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia. Gambar 2.3 mengilustrasikan cara kerja dari DSSC.



Gambar 2.3 Dasar operasi DSSC (Nazeeruddin dkk., 2011)

Pertama, foton diserap pewarna S persamaan (2.1), menjadi pewarna yang tereksitasi S* yang akan meninjeksi elektron semikonduktor ke pita konduksi dan menjadi S^+ persamaan (2.2). Elektron yang terinjeksi mengalir keluar dari semikonduktor, menuju elektroda lawan melalui elektrolit untuk mereduksi media redoks persamaan (2.3) dan meregenerasi pewarna persamaan (2.4). Di bawah sinar matahari, divais ini menjadi sistem konversi energi cahaya ke listrik yang regeneratif stabil.

$$S_{(terserap)} + hv \rightarrow S^*_{(terserap)} \quad (2.1)$$

$$S^*_{(terserap)} \rightarrow S^+_{(terserap)} + e^-_{(terinjeksi)} \quad (2.2)$$

$$I_3^- + 2.e^-_{(katoda)} \rightarrow 3I^-_{(katoda)} \quad (2.3)$$

$$S^+_{(terserap)} + 3/2\ I^- \rightarrow S_{(terserap)} + 1/2\ I_3^- \quad (2.4)$$

Beberapa reaksi yang tidak diinginkan akan menurunkan efisiensi dari sel yaitu rekombinasi dari elektron yang terinjeksi dengan pewarna teroksidasi seperti pada persamaan (2.5) atau pasangan redox yang teoksidasi pada permukaan TiO_2 seperti pada persamaan (2.6) (Nazeeruddin dkk., 2011).

$$S^+_{(terserap)} + e^-_{(TiO2)} \rightarrow S_{(terserap)} \quad (2.5)$$

$$I3^- + 2.e^-_{(TiO2)} \rightarrow 3I^-_{(anoda)} \quad (2.6)$$

2.4 Performansi DSSC

Performansi dari *dye sensitized solar cell* dapat diketahui dengan menggunakan dua cara yaitu dengan IPCE untuk sel tunggal dan dengan kurva I-V dibawah sinar matahai langsung untuk sel tunggal dan rangkaian DSSC.

2.4.1 Uji Konversi Cahaya ke Arus Menggunakan IPCE

Incident Photon-to-Current Coversion Efficiency (IPCE) adalah karakteristik yang penting sebagai faktor performansi konversi energi cahaya ke listrik pada divais yang sama. Didefinisikan pada persamaan 2.7 sebagai jumlah elektron yang timbul pada rangkaian dalam dibagi dengan jumlah foton dari cahaya dalam panjang gelombang tertentu yang digunakan (Agustini, 2013).

$$IPCE\,[\%] = \frac{1240[eV.nm] \times J_{SC}[\mu A cm^{-2}]}{\lambda[nm] \times P_{cahaya}[\mu W\, cm^{-2}]} \quad (2.7)$$

Dengan:

1240 = Angka konversi cahaya ke arus

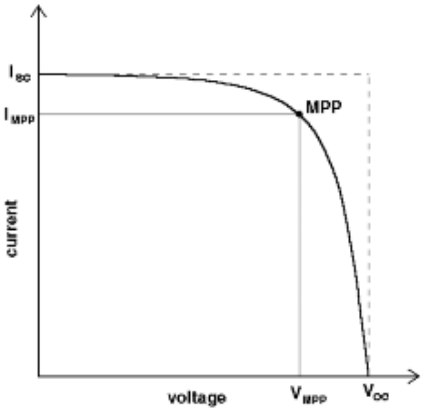
J_{SC} = Arus per satuan luas

λ = Panjang gelombang yang digunakan pada monokromator,

P_{cahaya} = Daya sumber setiap panjang gelombang.

2.4.2 Uji Arus dan Tegangan dengan Kurva I-V

DSSC adalah sel surya yang mengubah radiasi cahaya menjadi arus listrik dan tegangan. Kurva I-V seperti pada Gambar 2.4 berfungsi untuk mengetahui karakterisasi dari DSSC dengan iluminasi dan suhu tertentu, serta untuk menemukan faktor penting dalam perhitungan efisiensi seperti *fill factor*, arus ketika *short circuit* (I_{SC}) dan tegangan ketika *open circuit* (V_{OC}).



Gambar 2.4 Contoh Kurva (I-V) (Halme, 2002)

I_{SC} adalah arus yang timbul ketika tegangan bernilai nol (pada kondisi hubungan singkat), sedangkan V_{OC} adalah tegangan yang timbul ketika arus bernilai nol (pada kondisi rangkaian terbuka). *Fill factor* adalah perbandingan luasan segi empat dari arus-tegangan pembentuk daya maksimal dengan arus-tegangan maksimal. Untuk mengetahui nilai *fill factor* (FF) dapat menggunakan persamaan berikut (Halme, 2002),

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{OC} I_{SC}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dengan:

V_{MPP} = tegangan daya maksimal

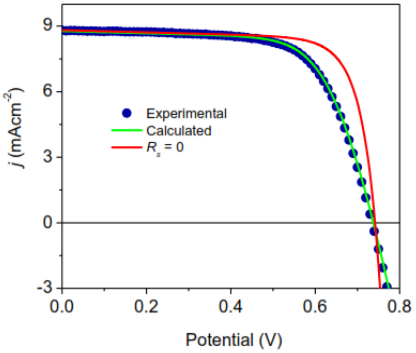
I_{MPP} = arus daya maksimal

Ketiga faktor tesebut digunakan untuk mengetahui efisiensi DSSC yang didefinisikan pada persamaan (2.9) dan untuk P_{cahaya} adalah daya cahaya yang masuk per satuan luas (Li, 2009).

$$\eta = \frac{I_{SC} \times fillfactor \times V_{OC}}{P_{cahaya}} \quad (2.9)$$

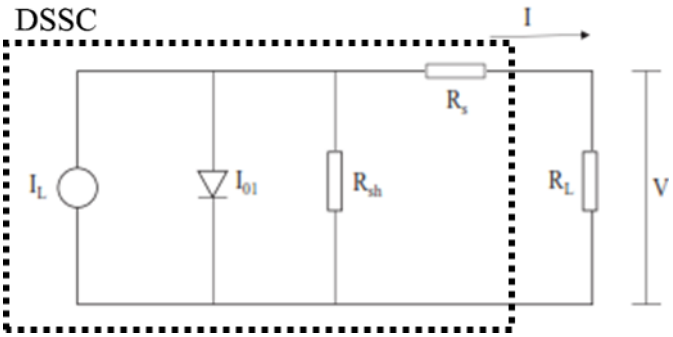
2.5 Perhitungan Teoretis Rangkaian Satu Dioda

Digunakan perhitungan ini untuk optimasi dari DSSC. Data yang digunakan menggunakan data pengukuran. Pemodelan menggunakan kondisi ideal pada operasi DSSC dimana R_s sebagai hambatan seri (*series resistance*) dan R_{sh} untuk hambatan paralel (*shunt resistance*) dianggap nol. Gambar 2.5 membandingkan grafik dari pemodelan dan dari pengukuran.



Gambar 2.5 Perbandingan pemodelan (R_s = 0) dengan pengukuran (*Experimental*) dalam kurva I-V (Sarker, 2014)

Pemodelan ini bertujuan untuk mencari nilai dari dua resistansi tersebut yang ada di dalam sel dengan menggunakan faktor idealitas dioda bernilai 1. Gambar 2.6 menjelaskan tentang teori rangkaian satu dioda dan persamaan matematisnya untuk mengestimasi R_s dan R_{sh} (Ciulla, 2014):



Gambar 2.6 Rangkaian teori satu dioda (Sarker, 2014)

$$I = I_{SC} - I_O\left(e^{\left[\frac{V+IR_S}{nT}\right]} - 1\right) - \frac{V+IR_S}{R_{sh}} \qquad (2.10)$$

Dengan:

I = arus pemodelan dari fungsi tegangan (ampere)
V = tegangan yang nilainya sama dengan Voc (volt)
I_{SC} = arus ketika tegangan pengukuran bernilai nol (ampere)
R_s = hambatan seri (Ω)
R_{sh} = hambatan paralel (Ω)
n = faktor idealitas dioda
T = suhu operasi DSSC (K).
I_o = arus jenuh balik (*reverse saturation*) dioda, dihitung ketika I pada persamaan (2.10) bernilai nol. Maka persamaan (2.10) menjadi:

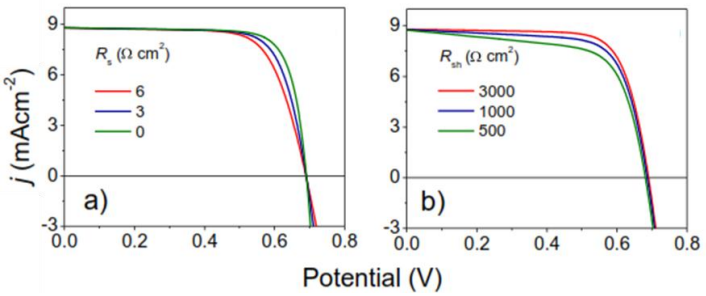
$$I_o = \frac{I_{SC}}{\exp\left(\frac{VQ}{nkT}-1\right)} \quad (2.11)$$

Q = muatan elektron (1,602x10^{-19} Coulomb)
k = konstanta Boltzmann (1,38x10^{-23} Joule/K)

Apabila pada persamaan (2.10) nilai R_s dan R_{sh} dibuat nol, menjadi persamaan (2.12) sebagai berikut:

$$I = I_{SC} - I_O\left[exp\left(\frac{VQ}{nkT}\right) - 1\right] \quad (2.12)$$

Tujuan untuk menghitung teori rangkaian satu dioda ini adalah untuk mencari nilai R_s dan R_{sh}. Karena kedua nilai tersebut berpengaruh pada hasil *fill factor* pada pengukuran. Gambar 2.7 menjelaskan efek dari R_s dan R_{sh}.



Gambar 2.7 Pengaruh R_s (a) dan R_{sh} (b) pada *fill factor* (Sarker,2014)

Gambar 2.7 (a) menjelaskan bahwa tegangan daya maksimal turun seiring dengan naiknya R_s yang juga mengurangi *fill factor* sel ketika V_{oc} dan J_{sc} tetap sama. Akibatnya, efisiensi sel juga menurun. Efek R_s bisa diminimalkan dengan mengurangi *sheet resistance* dan mengentalkan larutan elektrolit. Gambar 2.7 (b) menjelaksan efek R_{sh} pada kurva I-V. Nilai *fill factor* akan

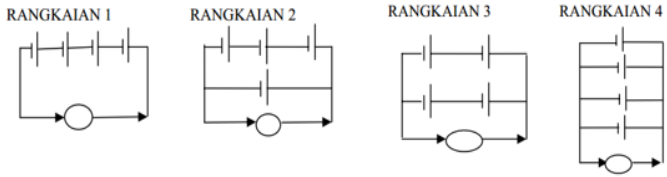
berkurang dengan berkurangnya R_{sh} yang juga mengurangi arus daya maksimal sehingga efisiensi juga berkurang. Diketahui secara umum, cara meminimalkan efek R_{sh} adalah dengan mempasifkan permukaan media kaca TCO atau FTO sebagai fotoelektroda pada DSSC (Sarker, 2014).

Dapat disimpulkan juga dari Gambar 2.7 yaitu perubahan nilai R_{sh} tidak berpengaruh besar dibanding R_s. Terlihat dari perubahan kurva I-V yang hampir sama, tetapi perubahan nilai R_s tidak jauh seperti nilai R_{sh}. Serta nilai R_s yang semakin besar akan menurunkan nilai *fill factor*. Sebaliknya, R_{sh} yang semakin besar membuat kurva I-V mendekati ideal. Maka dari itu menggunakan persamaan (2.13) untuk memperoleh nilai R_s dari *fill factor* teoretis dan pengukuran serta nilai R_{ch} (Ω), yaitu hambatan karakterisitik hasil bagi dari V_{oc} dan I_{sc}. Berikut persamaannya :

$$\frac{FF_S}{FF_0} = 1 - \frac{R_S}{R_{CH}} \tag{2.13}$$

2.6 Konfigurasi DSSC

Akibat kecilnya arus dan tegangan keluaran dari DSSC, menggabungkan beberapa DSSC menjadi susunan rangkaian DSSC yang dihubungkan secara seri, paralel, maupun gabungan keduanya mampu meningkatkan arus dan tegangan keluarannya. Pada penelitian sebelumnya, didapatkan nilai efisiensi yang dihasilkan pada rangkaian 1, rangkaian 2, rangkaian 3, rangkaian 4 masing-masing sebesar 0,1619%, 0,1285%, 0,2103%, dan 0,1325%. Rangkaian DSSC dari penelitian tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.8. (Ramadhani, 2009)



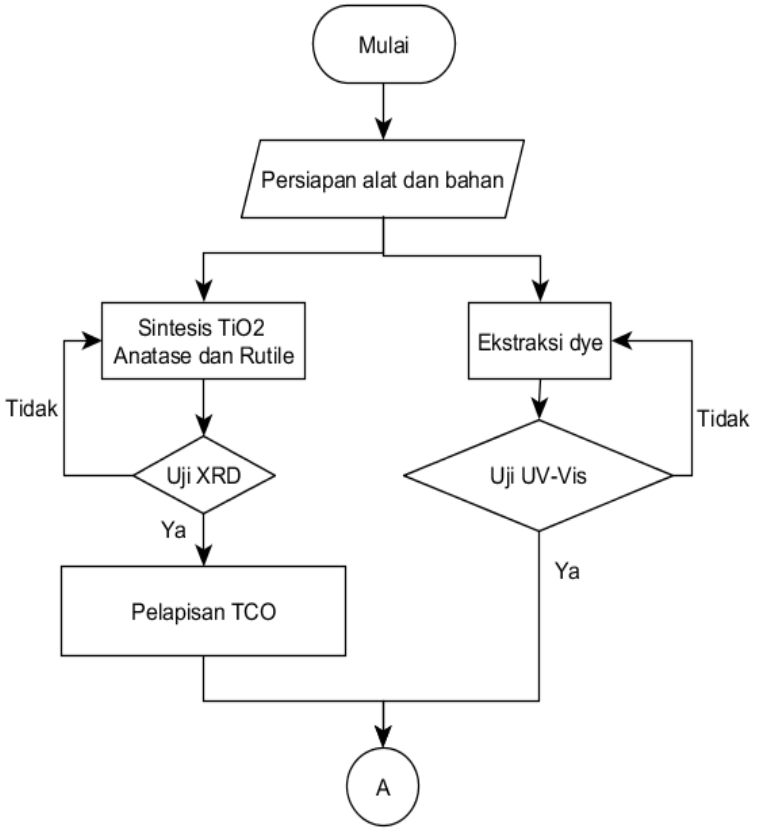
Gambar 2.8 Konfigurasi DSSC yang pernah dilakukan (Ramadhani, 2009)

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara umum tahap-tahap pengerjaan tugas akhir ini dirangkum pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian

Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian (Lanjutan)

3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat yang digunakan adalah *magnetic stirrer*, *hotplate*, gelas beker, gelas ukur 10 ml dan 5 ml, *crucible*, mortar, pipet, spatula, dan *furnace*. Bahan yang digunakan untuk ekstraksi pewarna kulit manggis adalah *ethanol* 98% dan bubuk kulit manggis. Bahan yang digunakan untuk sintesis TiO_2 adalah $TiCl_3$ sebagai prekursor, HCL, *aquades*, dan NH_4OH JT-Baker. Bahan yang digunakan untuk proses perakitan DSSC adalah hasil sintesis TiO_2, *aquades*, CH_3COOH 98%, Triton X-100, satu

pasang kaca TCO sebagai media TiO_2 dan elektroda lawan, karbon dari pensil sebagai katalis, dan *scotch tape*.

3.3 Ekstraksi Pewarna Kulit Manggis

Pada penelitian ini pewarna yang digunakan murni dari kulit manggis. Hal pertama yang dilakukan adalah kulit manggis dikeringkan dengan bantuan sinar matahari dan aliran angin alami sampai benar-benar kering, setelah itu kedua pewarna ditumbuk dan diblender sampai menjadi bubuk. Metode yang digunakan dalam mengekstrak pewarna adalah dengan *magnetic stirrer*. Bubuk pewarna yang digunakan sebanyak 20 gram sedangkan pelarutnya (ethanol) yang digunakan sebanyak 100 ml. Bubuk kulit manggis dan pelarutnya dimasukkan ke dalam satu gelas beker. Larutan kulit manggis diletakkan di atas *hotplate* dengan suhu 60 ^oC dan diaduk dengan kecepatan konstan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Larutan kemudian disaring dengan kertas saring dan hasilnya disimpan dalam botol kaca gelap.

3.4 Sintesis TiO_2

Metode yang digunakan dalam mensintesis nanopartikel TiO_2 ada 2, yaitu co-*precipitation* untuk fase anatase dan mineralisasi untuk fase rutile. Untuk anatase, sebanyak 10 ml $TiCl_3$ dicampur dengan 4,7 ml aqudes dan 0,3 ml HCl 37 % diaduk dengan kecepatan konstan menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 menit pada temperatur 45 ^0C. Kemudian ditambahkan HCl 37 % sebanyak 20 ml dengan posisi terus diaduk. Setelah larutan berwarna ungu encer kemudian ditambahkan NH_4OH 25% sebanyak 50 ml dan terus diaduk hingga mulai berwarna putih jenuh. Selanjutnya proses dapat dihentikan dan larutan tersebut dibiarkan hingga mengendap. Setelah mengendap, endapan dan larutan NH_4OH dipisahkan, kemudian endapan dicuci dengan aquades sampai larutan NH_4OH benar-benar hilang. Selanjutnya endapan dikalsinasi pada suhu 400^oC selama 4 jam. Setelah TiO_2 dikalsinasi, kemudian dihaluskan menggunakan mortar sampai teksturnya halus. Gambar 3.2 adalah hasil sintesis salah satu sampel TiO_2 *anatase* yang telah dihaluskan dengan mortar.

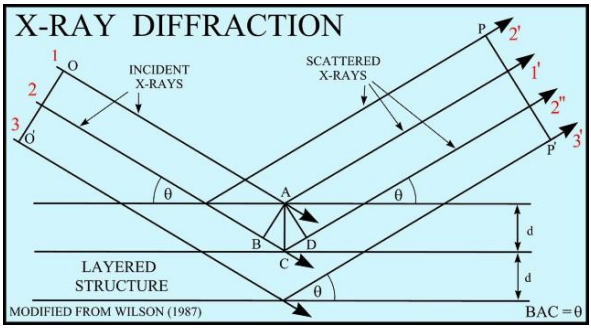
Gambar 3.2 Hasil sintesis TiO_2 anatase

Untuk sintesis *rutile*, 2 ml $TiCl_3$ dicampur dengan 98 ml *aquades*. Kemudian ditambahkan 11,7 gram NaCl dan 188,3 ml *aquades*, diaduk dengan kecepatan konstan selama 30 menit dengan *magnetic stirrer* di atas *hotplate* dengan suhu 45 ^oC. Kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 5 jam dengan suhu 200 ^oC. Lalu dikeluarkan dari oven, diberi NH_4OH 25% JT Baker sebanyak 200 ml diaduk dengan kecepatan konstan dengan *magnetic stirrer* diatas *hotplate* dengan suhu 45 ^oC sampai berwarna putih jenuh. Selanjutnya proses dapat dihentikan dan larutan tersebut dibiarkan hingga mengendap. Setelah mengendap, endapan dan larutan NH_4OH dipisahkan, kemudian endapan dicuci dengan aquades sampai larutan NH_4OH benar-benar hilang. Selanjutnya endapan dikalsinasi pada suhu 700 ^oC selama 4 jam. Setelah TiO_2 dikalsinasi, kemudian dihaluskan menggunakan mortar sampai teksturnya halus.

3.5 Pengujian XRD TiO_2

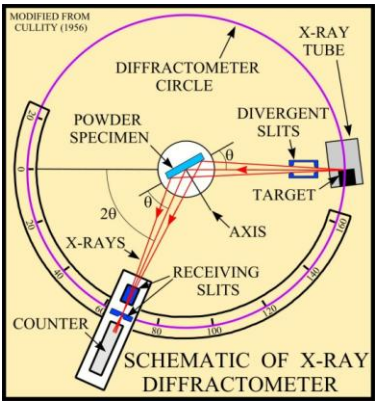
X-Ray Diffractometer adalah alat uji bahan yang menggunakan prinsip hukum Bragg yang dapat memberikan data kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi (2θ) tertentu dari suatu material. Gambar 3.3 adalah penjelasan dari hukum Bragg, yaitu berkas sinar-X yang ditembakkan menuju sebuah susunan atom pada kristal sampel akan mengalami difraksi.

Karena susunan antar atom pada kristal tersebut memiliki jarak yang mendekati panjang gelombang dari sinar-X.



Gambar 3.3 Hukum Bragg (*http://sgs.gov*)

Komponen XRD secara utama adalah tabung katoda sinar-X, tempat sampel bahan, dan detektor sinar X. Prinsip kerja XRD adalah merekam hasil tembakan elektron tabung katoda Sinar X terhadap sampel. Objek dan detektor berputar untuk merekam intensitas refleksi sinar X hasil refleksi dari tembakan, dan mengolahnya dalam bentuk grafik. Gambar 3.4 adalah skema secara sederhana bagaimana XRD bekerja.



Gambar 3.4 Skema Kerja XRD (*http://sgs.gov*)

Tujuan uji XRD adalah mengetahui ukuran partikel dan persentase fase dari TiO_2 yaitu fase *anatase* dan *rutile*. Grafik karateristik dari uji XRD berupa besar intensitas terhadap sudut difraksi (2θ). Pengujian XRD ini menggunakan alat Philips X'pert MPD (30 kV, 40 MA) di Laboratorium XRD Jurusan Teknik Material ITS (Gambar 3.5). Sudut yang digunakan pada pengujian XRD ini adalah sudut pendek (sudut 15^o hingga 65^o).

Gambar 3.5 XRD Philips X'pert MPD

Untuk mengetahui ukuran partikel, dapat menggunakan persamaan Scherrer (Cullity, 1956):

$$D = \frac{0{,}89\lambda}{\cos(\theta) * FWHM} \tag{3.1}$$

dengan:

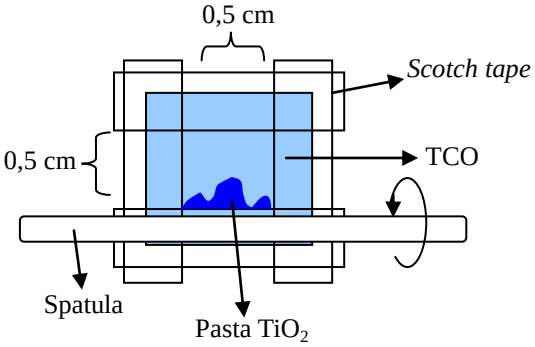
D = Ukuran kristal suatu bahan (nm)
λ = Panjang gelombang sinar-X (Cu Kα) yang bernilai 0,154 nm
FWHM = *Full Width Half Maximum* (dalam radian)
θ = Sudut difraksinya.

Untuk mengetahui fase yang terbentuk dapat menggunakan JCPDS 00-021-1272 untuk fase *anatase*, JCPDS 00-021-1276

untuk fase *rutile*, JCPDS 00-029-1360 untuk fase brookite, dan JCPDS 00-005-0628 untuk NaCl.

3.6 Pelapisan TiO_2 pada Kaca TCO

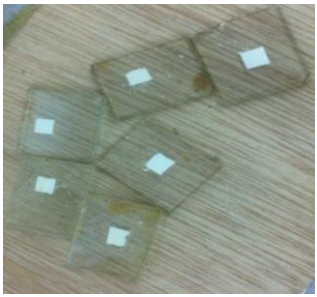
Langkah pertama yang diambil adalah menyiapkan sablon luasan untuk TiO_2 pada kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*). Setelah dibersihkan dengan ethanol 98%, digunakanlah *scotch tape* pada sisi-sisi kaca TCO dan membiarkan luasan bagian tengahnya seluas 0,5 cm x 0,5 cm. Sebelum TiO_2 dilapiskan pada kaca TCO, terlebih dahulu TiO_2 dibuat pasta agar mudah menempel pada kaca TCO. Sebanyak 1 gram bubuk TiO_2 yang terdiri dari 90% anatase dan 10% rutile (0,9 gram anatase dan 0,1 gram rutile) dilarutkan dalam 1 ml aquades sambil terus diaduk menggunakan spatula. Kemudian ditambahkan 1 ml CH_3COOH 98% dan 1 ml Triton X-100 sambil terus diaduk sampai rata.



Gambar 3.6 Pelapisan pasta TiO_2 pada kaca dengan menggunakan metode *doctor blade*

Metode *doctor blade* digunakan untuk pelapisan TiO_2 pada kaca TCO (Gambar 3.6). Prinsipnya adalah pasta TiO_2 diletakkan di tepi luasan tengah yang dibatasi olah *scotch tape*, kemudian diratakan sekali menggunakan spatula sebagai *roll*. Setelah tahap pelapisan, kaca TCO yang sudah terlapisi TiO_2 di*sintering* pada

temperatur 225^{o}C selama 2 menit dengan menggunakan *hot plate*. Gambar 3.7 adalah hasil setelah *sintering* selesai.



Gambar 3.7 Hasil Kaca TCO yang telah dilapisi TiO_2 setelah dipanaskan 225^{o} C

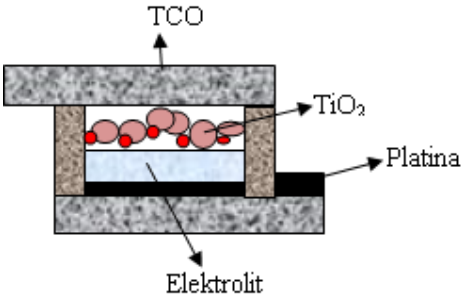
3.7 Perendaman Kaca TCO berlapis TiO_2 di Larutan Pewarna

Kemudian kaca TCO berlapis TiO_2 direndam dalam pewarna kulit manggis sampai seluruh bagian TiO_2 terendam pewarna selama 12 jam. Perendaman ini bertujuan agar TiO_2 dapat menyerap pewarna dengan baik, sehingga rentang panjang gelombang serapan cahaya pada DSSC menyerupai serapan pada pewarna kulit manggis.

3.8 Perakitan DSSC

DSSC dirakit dengan struktur *sandwich* seperti pada Gambar 3.8, (Agustini, 2013). Kaca TCO yang sudah dilapisi TiO_2 dan pewarna direkatkan dengan TCO lawan yang diberi grafit dari pensil sebagai katalis pengganti platina dengan menggunakan penjepit, kemudian di antara celah kedua kaca diberi elektrolit perantara transfer elektron antara kaca TCO yang berlapis TiO_2 dengan kaca TCO sebagai elektroda lawan. Elektrolit yang digunakan adalah elektrolit gel. Elektrolit ini dibuat dengan melarutkan 0,8 gram KI (0,5M) ke dalam *acetonitril* kemudian ditambahkan 0,127 gram I_2 (0,05M). Larutan tersebut diaduk bersama dengan gel yang terbuat dari 7 gram PEG (Polietilene glikol) dan 25 ml *kloroform* pada temperatur 80^{o}C selama satu

jam (Wahyuono, 2013). Gambar 3.9 adalah DSSC tunggal yang telah dirakit dan siap diuji coba.



Gambar 3.8 Perakitan DSSC (Agustini, 2013)

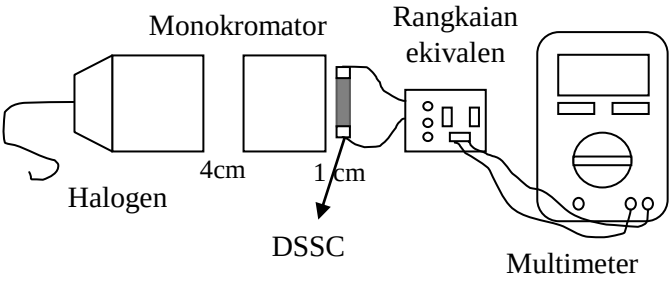
Gambar 3.9 Hasil DSSC tunggal yang telah dirakit

3.9 Pengujian Performansi DSSC

3.9.1 Pengukuran Efisiensi Konversi Cahaya dengan IPCE

Untuk mengukur nilai arus dalam panjang gelombang tertentu, digunakanlah uji IPCE. Digunakan monokromator (CT-10T, JASCO), lampu halogen (GR-150), multimeter, dan rangkaian ekivalen. Nilai arus yang diambil adalah nilai arus tepat keluar pada multimeter. Hasilnya adalah mengetahui rentang serapan cahaya pada panjang gelombang tertentu dalam bentuk grafik. Pengukuran daya lampu halogen menggunakan *Optical Power Meter* (Thorlab S-120C). Semua alat yang disebutkan pada

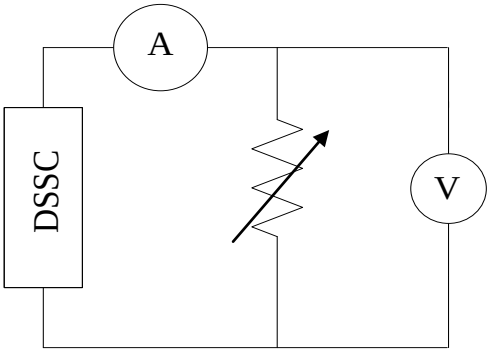
uji IPCE milik Laboratorium Rekayasa Fotonika Teknik Fisika ITS. Secara skematis dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Skema Pengujian IPCE (Agustini, 2013)

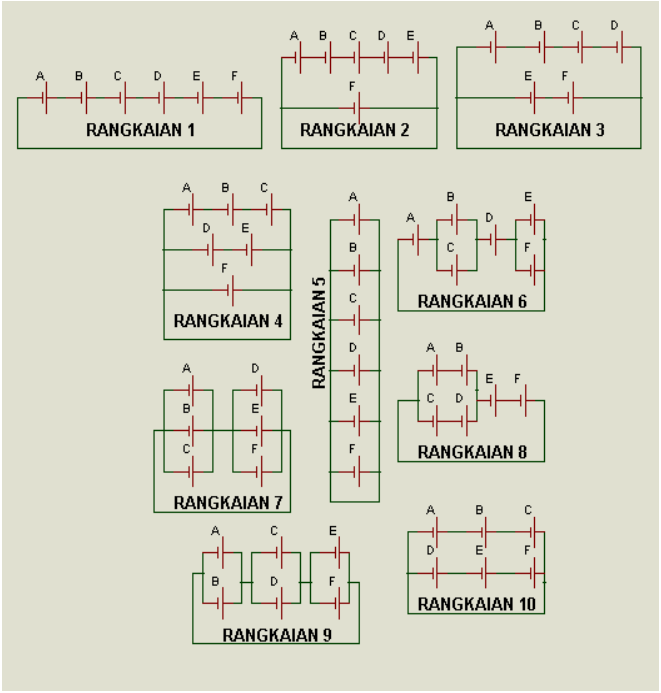
3.9.2 Pengukuran Arus dan Tegangan

Pengukuran arus dan tegangan ini bertujuan untuk mengetahui bentuk kurva I-V untuk setiap sel DSSC dan setiap skema rangkaian dengan pewarna kulit manggis. Dari kurva I-V dapat diketahui nilai *fill factor* (FF) dan nilai efisiensi dari DSSC. Gambar 3.11 adalah rangkaian ekuivalen yang digunakan untuk pengambilan data kurva I-V.



Gambar 3.11 Rangkaian listrik ekivalen untuk mengukur nilai arus dan tegangan

Pada pengujian I-V untuk rangkaian DSSC, digunakan skema rangkaian seperti pada gambar 3.12. Adapun pada gambar tersebut disertakan juga posisi tiap sel tunggal saat uji IV rangkaian 1-10.



Gambar 3.12 Skema rangkaian DSSC yang diujikan

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, pengukuran arus dan tegangan dilakukan pada pukul 10.00 WIB - 14.00 WIB tepat di bawah sinar matahari langsung. Saat pengukuran, nilai hambatan pada resistor variabel diubah-ubah. Ketika hambatan yang diberikan maksimum maka diharapkan nilai arusnya mendekati 0 dan tegangannya bernilai besar/maksimal, dan berlaku juga untuk sebaliknya. Gambar 3.13 merupakan proses pengukuran arus dan tegangan dari DSSC.

Gambar 3.13 Pengukuran arus dan tegangan dari DSSC

3.10 Spesifikasi Divais Pengukur Daya Matahari sebagai Daya Sumber

Pada penelitian ini digunakan dua divais sebagai pengukur daya sumber yaitu pada *luxmeter* (LX-103 Lutron) dan *pyranometer* (Star Pyranometer 240-8101 Novalinx Corp.). Berikut adalah spesifikasi dari *luxmeter* pada tabel 3.1 dan *pyranometer* pada tabel 3.2.

Hampir semua luxmeter terdiri dari rangka, sebuah sensor dengan sel foto, dan layar panel. Sensor diletakkan pada sumber cahaya. Cahaya akan menyinari sel foto sebagai energi yang diteruskan oleh sel foto menjadi arus listrik. Makin banyak cahaya yang diserap oleh sel, arus yang dihasilkan semankin besar. Kunci untuk mengingat tentang cahaya adalah selalu membuat beberapa jenis perbedaan warna pada panjang gelombang yang berbeda. Oleh karena itu pembacaan merupakan kombinasi efek dari semua panjang gelombang (Affandi, 2011).

Secara garis besar, *prinsip kerja luxmeter* adalah mengubah intensitas cahaya yang ditangkap oleh sel foto dan dikonversi menjadi arus listrik berdasarkan jumlah dan perbedaan panjang gelombang pada cahaya (Affandi, 2011).

Tabel 3.1 Spesifikasi *Luxmeter*

Display	LCD 13 mm (0.5”), 3 ½ angka
Satuan dan *range* pengukuran	Lux : 0-50000 lux, 3 *ranges*
	Foot-candle (FC) : 0-5000 FC, 3 *ranges*
Sensor	Fotodioda eksklusif dan *Color Correction Filter* Spektrum dengan C.I.E *Cosine Correction Factor* dengan standar
Over Input Indicator	1
Suhu operasi	32-122^{o}C
Kelembaban operasi	Kurang dari 80% RH
Catu daya	Baterai kering 9V, 006P MN1604 (PP3) atau sejenisnya
Konsumsi daya	Mendekati 2,7 mA DC
Berat	195 g/0,43 LB (dengan baterai)
Dimensi	Instrumen utama : 131 x 70 x 25 mm (5,2 x 2.8 x 1 inch)
	Instrumen sensor : 82 x 55 x 7 mm (3,2 x 2,2 x 0,3 inch)
Standar aksesoris	Instruksi Manual……. 1 Sensor *Probe* ……...1

Star *pyranometer* 240-8101 Novalinx instrumen pengukur radiasi matahari baik secara langsung maupun baur (*diffuse*). Elemen penginderaan terdiri dari 12 tembaga tipis yang diatur melingkar, dengan 6 warna putih dan 6 warna hitam . Enam termokopel jenis Chromel - constantan ditanam di setiap tembaga tipis untuk menghasilkan 72 persimpangan thermopile. Output

thermopile sekitar 15μV / W / m². Warna putih pada tembaga tipis pada elemen penginderaan dicat dengan Kodak Paint yang menghasilkan permukaan reflektif hampir sempurna, dan warna hitam pada tembaga tipis dicat hitam yang memiliki daya serap tinggi. Ketika elemen penginderaan terkena radiasi matahari, terjadi perbedaan suhu antara tembaga hitam dan tembaga putih. Perbedaan suhu ini sebanding dengan intensitas radiasi dan tidak terpengaruh oleh lingkungan suhu.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Pyranometer*

Sensor	12 segmen tembaga hitam-putih dengan 6 termokopel diantaranya
Impedansi	20-200 Ω
Ekspektasi range keluaran (0-1500 W/m^2)	0-30 mV
Iradiansi operasi maksimum	2000 W/m^2
Stabilitas sensor (/tahun)	< 1 %
Tipe sensor	Termokopel
Sensitivitas	5-200 μV/W/m^2
Non linearitas (0-1000 W/m^2)	< 1,5 %
Spectral Selectivity (350-1500 nm)	< 3 %
Akurasi	< 2 %
Lingkungan	-40 - 80^{o}C

3.11 Skema Penelitian

Skema/rancang penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian

		***FF* (%)**	J_{sc}	V_{oc}	η
			(mA/cm^2)	**(mV)**	**(%)**
Sel Tunggal	Sel A				
	Sel B				
	Sel C				
	Sel D				
	Sel E				
	Sel F				
Rangkaian DSSC	Rangkaian1				
	Rangkaian 2				
	Rangkaian 3				
	Rangkaian 4				
	Rangkaian 5				
	Rangkaian 6				
	Rangkaian 7				
	Rangkaian 8				
	Rangkaian 9				
	Rangkaian 10				

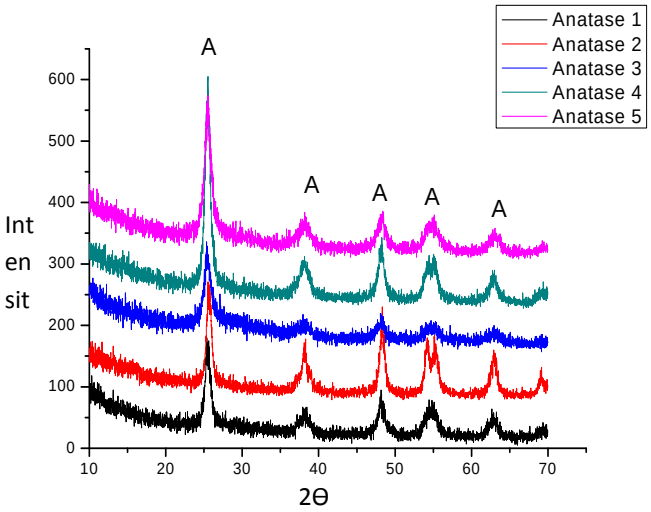
“Halaman ini memang dikosogkan”

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

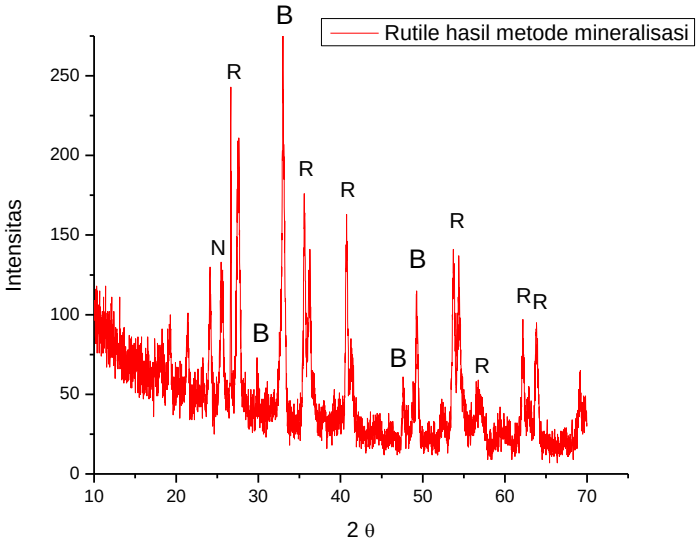
Pada bab ini dilakukan analisa dan pembahasan hasil pengujian XRD, dengan persamaan *Schererr*, unjuk kerja tiap DSSC dengan fraksi volume 90% : 10%, dan unjuk kerja DSSC terangkai secara seri dan paralel serta gabungan keduanya. Analisa hasil uji IPCE dilakukan pada DSSC sel tunggal karena keterbatasan pengukuran.

4.1 Hasil dan Analisa Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) TiO_2

Pengujian XRD serbuk TiO_2 bertujuan untuk mengetahui fase TiO_2 yang terbentuk dan ukuran partikel (kristal) TiO_2. Gambar 4.1 merupakan pola difraksi hasil pengujian XRD serbuk TiO_2 fase anatase yang disintesis. Penggolongan fase TiO_2 didasarkan pada *peak* yang terbentuk pada nilai 2θ, nilai 2θ tersebut dicocokkan dengan JCPDS 84-1286 (Lampiran A) untuk fase anatase dan JCPDS 88-1175 (Lampiran A) untuk fase rutile.



Gambar 4.1 Hasil XRD TiO_2 Fase Anatase



Gambar 4.2 Hasil XRD TiO_2 Fase Rutile

Pada penelitian ini, fase TiO_2 yang diinginkan adalah fase anatase dengan ukuran partikel sekecil mungkin dan fase rutile dengan ukuran partikel sebesar mungkin. Berdasarkan hasil XRD serbuk TiO_2 yang disintesis dengan metode *co-preciptation*, semua *peak* yang terbentuk pada 2θ adalah fase anatase untuk anatase 1 hingga anatase 5 (Gambar 4.1). Sudut yang memiliki intensitas tertinggi terletak pada $25{,}3365^0$, $25{,}6489^0$, $25{,}3233^0$, $25{,}4992^0$, dan $25{,}5555^0$ secara berurutan. Karena mendekati bidang (101), digunakanlah sudut-sudut tersebut beserta nilai FWHM sebagai acuan untuk perhitungan ukuran partikel anatase. Sedangkan serbuk TiO_2 yang disintesis dengan metode mineralisasi berada pada kondisi transisi, dimana masih terdapat fasa brookite beserta pengotor NaCl, dikarenakan pada saat proses pencucian menggunakan aquades kurang bersih, sehingga menunjukkan puncak difraksi penanda NaCl (menggunakan JCPDS 00-005-0628 pada lampiran A) pada $27{,}4716^0$ bidang

(111), anatase pada $25{,}5681^0$ pada bidang (101), dan brookite pada $29{,}8218^0$ pada bidang (121) (Gambar 4.2). Menggunakan JCPDS 00-029-1360 (Lampiran A) untuk fase brookite. Maka, menggunakan persamaan untuk mengetahui fraksi volume tiap fasa (Zhu, 2005):

$$X_A = \frac{0{,}884\ I_A}{0{,}884\ I_A + I_R + 2{,}721\ I_B} \quad (4.1)$$

$$X_R = \frac{I_R}{0{,}884\ I_A + I_R + 2{,}721\ I_B} \quad (4.2)$$

$$X_B = \frac{2{,}721\ I_B}{0{,}884\ I_A + I_R + 2{,}721\ I_B} \quad (4.3)$$

Dengan:

X_A = Fraksi fase anatase
X_R = Fraksi fase rutile
X_B = Fraksi fase brookite
I_A = Intensitas fase anatase
I_R = Intensitas fase rutile
I_B = Intensitas fase brooktie

Dengan demikian dari ketiga persamaan diatas, diperoleh fraksi tiap fasa pada hasil sintesis TiO_2 dengan metode mineralisasi yaitu fraksi anatase sebesar 24,54%, fase rutile sebesar 60,11%, dan fase brookite sebesar 15,34%. Namun, sudut beserta nilai FWHM-nya yang digunakan sebagai acuan untuk perhitungan ukuran partikel ini adalah pada fasa rutile.

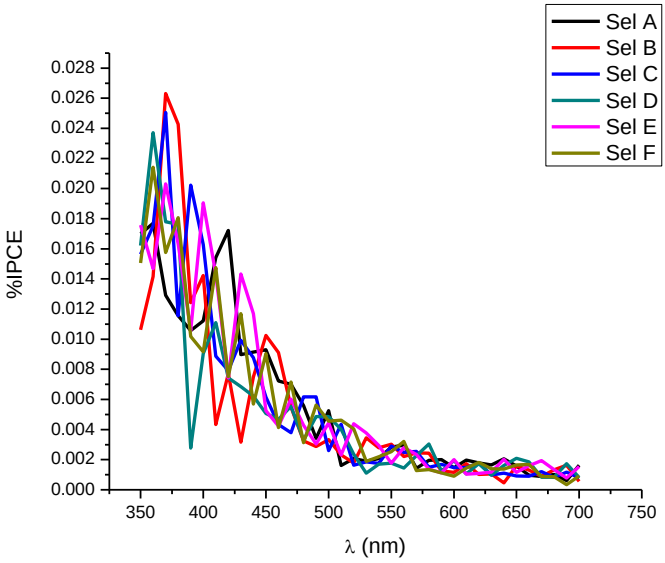
Ukuran partikel dihitung berdasarkan persamaan (3.2). Ukuran partikel TiO_2 anatase 1 hingga TiO_2 anatase 5 berturut-turut adalah 24,07 nm, 10,03 nm, 10,95 nm, 17,19 nm, dan 13,38 nm. TiO_2 anatase yang terbentuk bersifat kristalin dikarenakan tingginya intensitas pada *peak* penanda fasenya. Sedangkan pada TiO_2 rutile, ukuran kristal yang terbentuk sebesar 161,13 nm dan

bersifat kristalin. Dari hasil sintesis TiO_2, DSSC sel tunggal difabrikasi dengan fraksi anatase-rutile 90%:10% sebanyak 6 sel. Terdiri dari sel A, B, C, D, E, dan F sebagai penanda masing-masing sel.

4.2 Hasil dan Analisa Pengujian Performansi Setiap DSSC

4.2.1 Pengujian IPCE

Uji IPCE bertujuan untuk menentukan efisiensi konversi cahaya (*photon-to-current*) pada DSSC secara sel tunggal. Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian IPCE DSSC dengan fraksi TiO_2 anatase-rutile 90%:10% dengan pewarna kulit manggis. Enam DSSC yang telah difabrikasi menunjukkan spektrum IPCE yang berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan oleh *fabrication defect*, yaitu ketidakidentikan dari proses fabrikasi. Mulai dari hasil sintesis TiO_2 sampai proses pencampuran fase anatase dengan rutile. Serta metode *doctor blade* masih belum mampu mengatur ketebalan dan luasan TiO_2 pada kaca TCO secara presisi dan identik. Gambar 4.3 menunjukkan nilai IPCE yang berbeda-beda tiap sel, namun nilai %IPCE yang tinggi berada pada rentang panjang gelombang cahaya 350-500 nm. Nilai %IPCE tertinggi adalah 0,026 % di panjang gelombang 375 nm pada DSSC B.

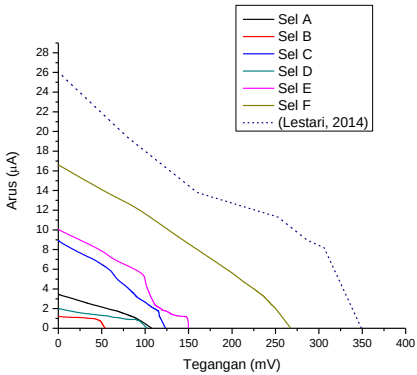


Gambar 4.3 Hasil Spektrum IPCE DSSC TiO_2

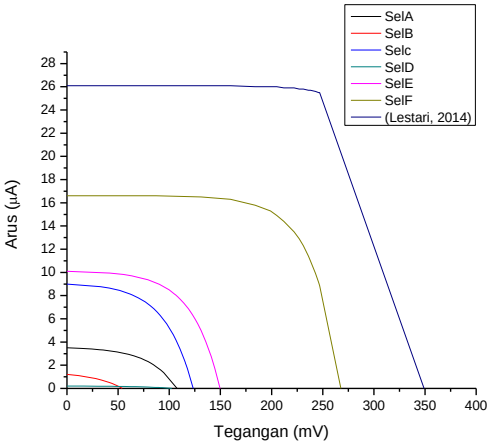
Spektrum nilai IPCE ini disebabkan oleh rentang absorbansi *anthocyanin* yaitu sekitar 350 nm – 500 nm, pada kulit manggis berdasarkan uji UV-Vis yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya pada pewarna kulit manggis yang sama.

4.2.2 Pengujian arus dan tegangan tiap DSSC

Gambar 4.4a adalah kurva I-V yang merupakan hasil pengujian arus-tegangan dari 6 DSSC TiO_2 denga fraksi volume anatase-rutile 90%:10% dengan ukuran rutile yang besar, yang dibandingkan dengan hasil penelitian Bibit Lestari dengan variasi yang sama namun ukuran rutile lebih kecil (Lestari, 2014). Nilai arus dan tegangan tersebut diperoleh dengan. Apabila diterapkan pemodelan DSSC menggunakan rangkaian ekuivalen satu dioda, maka kurva I-V ideal untuk kondisi yang sama ditunjukkan seperti Gambar 4.4b.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Kurva I-V DSSC: (a) Pengukuran sebenarnya dengan hambatan geser dan (b) Perhitungan teoretis dengan faktor idealitas n=1.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran dan Perhitungan J_{sc}, V_{oc}, *Fill Factor*, dan Daya Maksimal (P_{max}) pada Setiap DSSC

Sel	J_{sc}	V_{oc}	*Fill Factor*		P_{max} ($mWcm^{-2}$)	
	(mA/cm^2)	(mV)	Pengu-kuran	Teo-retis	Pengu-kuran	Teo-retis
Sel A	0,014	107,7	0,315	0,497	0,119	0,749
Sel B	0,005	54,1	0,639	0,379	0,042	0,098
Sel C	0,036	123,4	0,321	0,525	0,3567	2,332
Sel D	0,008	102,4	0,393	0,486	0,081	0,398
Sel E	0,04	149,7	0,355	0,566	0,537	3,425
Sel F	0,066	267,8	0,287	0,689	1,28	12,253

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa masing-masing sel memiliki perbedaan nilai pengukuran dan perhitungan J_{sc}, V_{oc}, *FF* dan daya maksimal. Beberapa ada yang berbeda sangat jauh. Hal tersebut dapat disebabkan oleh *fabrication defect* seperti pada diskusi sebelumnya. Tabel 4.1 juga menunjukkan bahwa Sel F memiliki nilai P_{max} yang tertinggi baik secara pengukuran dan teoretis, sedangkan Sel B memiliki performansi yang terendah. Nilai *fill factor* antara metode pengukuran dan metode teoretis menunjukkan tidak adanya korelasi. Nilai *fill factor* tertinggi secara pengukuran diperoleh pada Sel B sebesar 0.639 dan terendah pada Sel F sebesar 0,287, sedangkan tertinggi secara teoretis diperoleh pada Sel F sebesar 0,689 dan terendah pada Sel B sebesar 0,379. Demikian dapat diperoleh bahwa nilai daya maksimal (P_{max}) lebih dipengaruhi oleh nilai V_{oc} dan I_{sc} dibandingkan nilai FF.

Perbedaan nilai P_{max} dan *fill factor* antara pengukuran dan teoretis disebabkan oleh adanya hambatan seri (R_s) dan hambatan

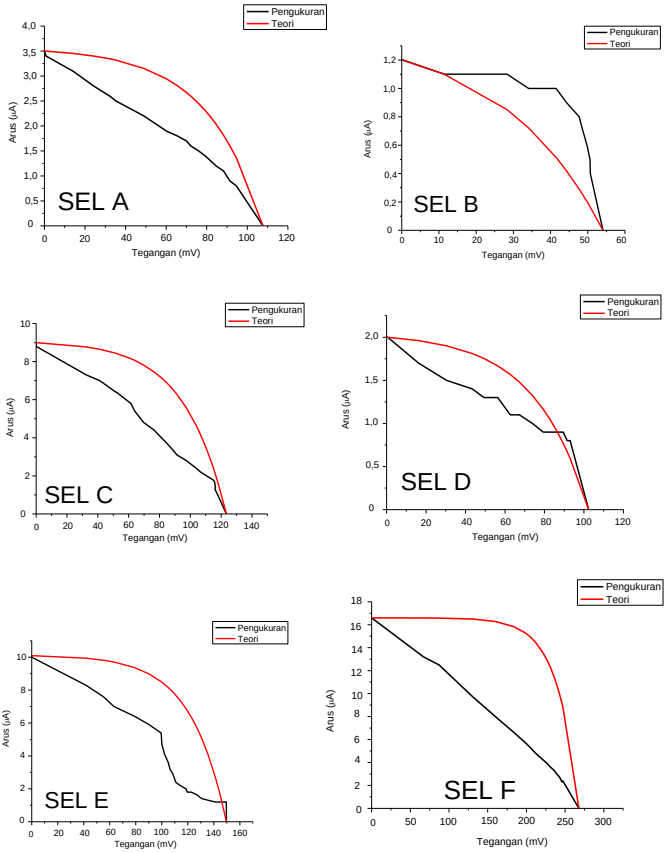
paralel (R_{sh}) yang tidak diabaikan. Namun hambatan paralel tidak berpengaruh sangat jauh terhadap kurva I-V. Oleh karena itu hambatan seri yang menyebabkan nilai P_{max} dan *fill factor* antara metode pengukuran dan teoretis memiliki perbedaan. Besarnya R_S masing-masing sel ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan R_s Setiap DSSC

Sel	**R_{CH} (kΩ)**	**$FF_{Teoretis}$**	**FF_{Asli}**	**R_s (kΩ)**
Sel A	30,771	0,497	0,315	11,268
Sel B	45,083	0,379	0,639	-30,928
Sel C	13,711	0,525	0,321	5,328
Sel D	51,200	0,486	0,393	9,798
Sel E	14,822	0,566	0,355	5,525
Sel F	16,133	0,689	0,287	9,413

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai R_S yang terbesar positif terdapat pada Sel A, sedangkan nilai R_s terkecil positif terdapat pada Sel C. Pada Sel B terjadi nilai negatif, artinya nilai Rs pada Sel B dianggap nol, atau tidak memiliki Rs. Dikarenakan nilai $FF_{Teoretis}$, yaitu nilai *fill factor* dari permodelan teoretis satu diode, lebih kecil dibanding nilai FF_{Asli}, yaitu nilai *fillfactor* dari pengukuran asli. Apabila nilai R_s yang diperoleh pada Tabel 4.3 dimasukkan ke dalam persamaan pemodelan rangkaian ekuivalen satu dioda, maka perbandingan antara kurva I-V teoretis dengan kurva I-V pengukuran (DSSC) ditunjukkan oleh Gambar 4.5.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa kurva I-V DSSC yang dimodelkan dengan rangkaian ekuivalen satu dioda dan memiliki nilai hambatan seri (R_s) yang selanjutnya disebut kurva I-V teoretis bersinggungan dengan kurva I-V hasil pengukuran. Terlihat bahwa kurva perbandingan Sel B teoretis dengan pengukuran berbeda dibanding sel lainnya. Hal ini dikarenakan nilai R_S pada Sel B bernilai nol.



Gambar 4.5 Perbandingan kurva I-V teoretis dengan R_s dan kurva I-V pengukuran pada setiap DSSC

Hasil perhitungan efisiensi DSSC tunggal menggunakan persamaan (2.9) ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Efisiensi Berdasarkan *Luxmeter* dan *Pyranometer* pada Setiap DSSC

Sel	*Luxmeter*		*Pyranometer*	
	Φ (W/cm^2)	**Η (%)**	**Φ (W/cm^2)**	**Η (%)**
Sel A	0,015791667	0,000753000	0,022195	0,000536157
Sel B	0,015770833	0,000263144	0,0212975	0,000194859
Sel C	0,015687500	0,002273785	0,0230525	0,001547338
Sel D	0,016145833	0,000498890	0,0235375	0,000342220
Sel E	0,016229167	0,003310706	0,0232700	0,002310000
Sel F	0,016270833	0,007866837	0,0235975	0,005424330

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa efisiensi DSSC yang terbesar secara perhitungan menggunakan intensitas *luxmeter* dan *pyranometer* adalah sel F, sedangkan yang terkecil adalah sel B. Khusus *luxmeter*, konversi daya sumber dari lumen ke daya dapat dilihat pada lampiran C. Secara teori, semakin besar nilai R_s maka efisiensinya menjadi semakin mengecil. Namun, hal tersebut tidak berkorelasi dengan hasil perhitungan efisiensi setiap DSSC pada Tabel 4.3. Sel A memiliki nilai R_S terbesar sedangkan sel C memiliki nilai Rs terkecil.

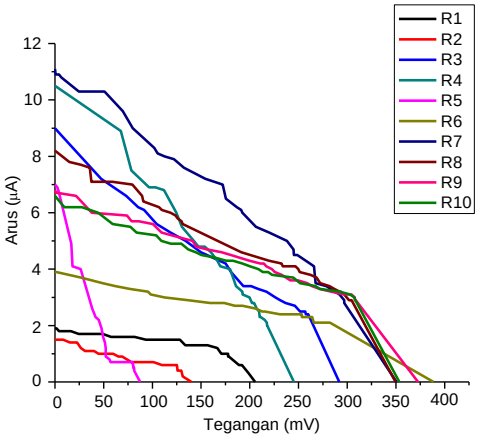
Pada mulanya, nilai daya *pyranometer* sebagai daya sumber yang digunakan untuk perhitungan efisiensi DSSC didapat dari MOLINA dan BKMG dalam satuan $Watt/m^2$. Kedua data tersebut terdapat pada lampiran D. Akan tetapi dari kedua data tersebut nilai efisiensi tertinggi dan terendah tidak ada perubahan. Maka dari itu hanya data dari MOLINA yang digunakan pada laporan ini.

4.3 Hasil dan Analisa Pengujian Unjuk Kerja Rangkaian

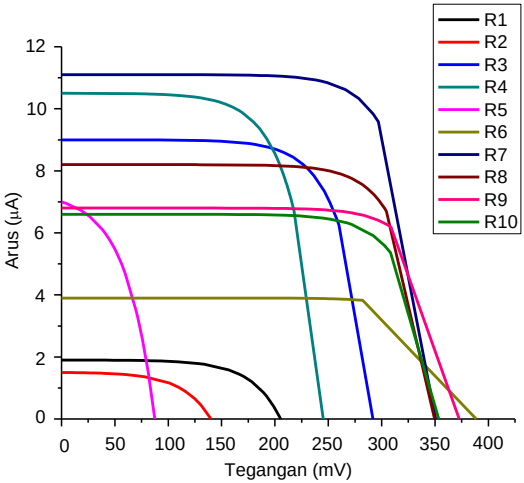
4.3.1 Pengujian Arus dan Tegangan Setiap Rangkaian

Pada Gambar 4.6 ditunjukkan hasil pengujian arus-tegangan 6 DSSC dengan variasi 10 rangkaian yang telah dijelaskan pada Gambar 3.12. Gambar 4.6a merupakan hasil pengukuran dan

Gambar 4.6b merupakan hasil teori rangkaian satu dioda. Untuk perhitungan Jsc, luas permukaan rangkaian berubah menjadi 1,5 cm^2 karena setiap sel mempunyai luasan 0,25 cm^2.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Kurva I-V rangkaian (a) Pengukuran (b) Teori rangkaian satu dioda

Nilai J_{sc}, V_{oc}, *fill factor*, dan P_{max} dari setiap rangkaian ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran dan Perhitungan J_{sc}, V_{oc}, *fill factor*, dan P_{max} pada Setiap Rangkaian

Rangkaian	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (mV)	*Fill Factor*		P_{max} (mWcm^{-2})	
			Pengukuran	Teoretis	Pengukuran	Teoretis
Rang. 1	0,00076	205,5	0,521	0,636	0,08143	0,099
Rang. 2	0,0006	140,1	0,359	0,557	0,03022	0,047
Rang. 3	0,0036	291,9	0,28	0,609	0,29434	0,64
Rang. 4	0,0042	245,2	0,296	0,675	0,30437	0,695
Rang. 5	0,0028	87,4	0,173	0,46	0,04224	0,112
Rang. 6	0,00156	388,6	0,401	0,712	0,24307	0,432
Rang. 7	0,00444	350,6	0,31	0,478	0,48216	0,745
Rang. 8	0,00328	349,6	0,353	0,743	0,40492	0,852
Rang. 9	0,00272	372,7	0,372	0,754	0,37733	0,765
Rang. 10	0,00264	353,6	0,402	0,74	0,3756	0,691

Nilai R_S setiap rangkaian dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.15) yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan R_s Setiap Rangkaian

Rangkaian	**I_{sc} (μA)**	**V_{oc} (V)**	**R_{ch} (kΩ)**	**FF_0**	**FF_s**	**R_s (kΩ)**
Rang.1	1,9	0,206	108,158	0,636	0,521	19,454
Rang. 2	1,5	0,14	93,4	0,557	0,359	33,131
Rang. 3	9	0,292	32,433	0,609	0,28	17,517
Rang. 4	10,5	0,245	23,352	0,675	0,296	13,126
Rang. 5	7	0,087	12,486	0,46	0,173	7,797
Rang. 6	3,9	0,389	99,641	0,712	0,401	43,561
Rang. 7	11,1	0,351	31,586	0,478	0,31	11,134
Rang. 8	8,2	0,35	42,634	0,743	0,353	22,376
Rang. 9	6,8	0,373	54,809	0,754	0,372	27,759
Rang. 10	6,6	0,354	53,576	0,74	0,402	24,463

Juga dilakukan perhitungan secara manual untuk rangkaian 1-10 dengan hukum Kirchoff 2 sebagai pembanding hasil I-V yang didapat dengan nilai resistansi yang sama pada *variable resistor* saat pengukuran maupun perhitungan (tabel pada lampiran B).

Berdasarkan data pada Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa rangkaian 5 memiliki Rs terkecil dan rangkaian 6 memiliki Rs terbesar. Perhitungan efisiensi setiap rangkaian menggunakan persamaan (2.9) dan hasil perhitungan efisiensi ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Efisiensi Berdasarkan *Luxmeter* dan *Pyranometer* pada Setiap Rangkaian

Rangkaian	***Luxmeter***		***Pyranometer***	
	Φ (W/cm^2)	**η (%)**	**Φ (W/cm^2)**	**η (%)**
Rang.1	0,0161	0,00127	0,004	0,00096
Rang. 2	0,0159	0,00047	0,0038	0,00037
Rang. 3	0,016	0,0046	0,0038	0,00336
Rang. 4	0,016	0,00477	0,0042	0,00341
Rang. 5	0,0158	0,00067	0,0047	0,00048
Rang. 6	0,0158	0,00385	0,0047	0,00285
Rang. 7	0,0158	0,00203	0,0053	0,00203
Rang. 8	0,0158	0,00639	0,0047	0,00533
Rang. 9	0,0151	0,00625	0,0045	0,00458
Rang. 10	0,0151	0,00623	0,004	0,00431

Melalui Tabel 4.6, dapat diketahui faktor pengali arus dan tegangan pada setiap rangkaian. Rangkaian 1 adalah rangkaian yang berfungsi sebagai standar acuan dalam pengali arus, karena pada rangkaian 1 adalah rangkaian seri, arus yang dihasilkan dari rangkaian seri adalah sama pada setiap titiknya. Sedangkan untuk acuan dalam pengali tegangan adalah rangkaian 5, adalah rangkaian paralel, dimana tegangan yang dihasilkan dari rangkaian paralel adalah sama pada setiap titiknya. Faktor pengali arus dan tegangan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Faktor Pengali Arus dan Tegangan Pada Setiap Rangkaian (cetak tebal menunjukkan standar acuan/pembagi)

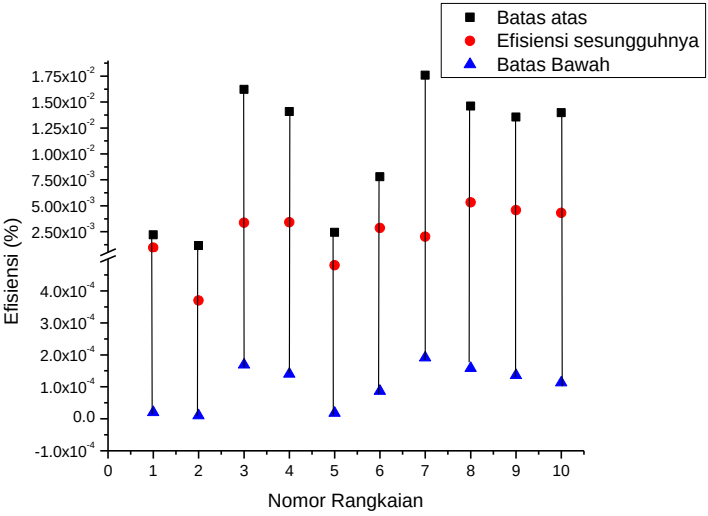
Nama Rangkaian	**J_{sc} (mA/cm^2)**	**V_{oc} (mV)**	**Faktor Pengali Arus**	**Faktor Pengali Tegangan**
Rangkaian 1	**0,00076**	205,5	1	2,35
Rangkaian 2	0,0006	140,1	0,79	1,6
Rangkaian 3	0,0036	291,9	4,74	3,34
Rangkaian 4	0,0042	245,2	5,53	2,81
Rangkaian 5	0,0028	**87,4**	3,68	1
Rangkaian 6	0,00156	388,6	2,05	4,45
Rangkaian 7	0,00444	350,6	5,84	4,01
Rangkaian 8	0,00328	349,6	4,32	4
Rangkaian 9	0,00272	372,7	3,58	4,26
Rangkaian 10	0,00264	353,6	3,47	4,05

Pada tabel 4.7 dapat diperoleh pula nilai efisiensi tertinggi dan terendah sebagai batas atas dan bawah. Pada penelitian yang dilakukan bersamaan namun beda variasi dari fotoanoda, yaitu *bilayer* anatase, mendapatkan faktor pengali arus dan tegangan yang berbeda. Perbedaan itu bisa dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Faktor Pengali Arus dan Tegangan Pada Penelitian *Bilayer* Anatase dan Anatase-Rutile 90%-10%

Rangkaian	Bilayer Anatase		Anatase-Rutile 90-10	
	Faktor Pengali Arus	**Faktor Pengali Tegangan**	**Faktor Pengali Arus**	**Faktor Pengali Tegangan**
1	**1,00**	6,32	**1,00**	2,35
2	3,16	1,00	0,79	1,6
3	3,26	2,07	4,74	3,34
4	4,95	1,33	5,53	2,81
5	7,79	**1,00**	3,68	**1,00**
6	1,89	2,73	2,05	4,45
7	5,05	2,04	5,84	4,01
8	2,11	3,99	4,32	4,00
9	2,89	3,66	3,58	4,26
10	1,30	4,37	3,47	4,05

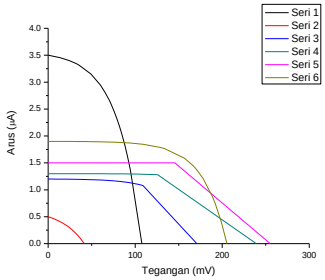
Apabila sel dengan nilai I_{sc} dan V_{oc} terbesar dikalikan dengan faktor pengali arus dan tegangan sebagai pengganti konfigurasi rangkaian 1-10 untuk mendapatkan parameter pembentuk batas atas, dan sebaliknya untuk parameter pembentuk batas bawah. Kemudian dimasukkan pada persamaan teoretis rangkaian satu dioda untuk mendapatkan efisiensi batas atas (dari sel terbesar) dan batas bawah (dari sel terkecil). Maka apabila kedua batas digabungkan dengan nilai efisiensi asli dari rangkaian 1-10 menggunakan daya sumber dari *pyranometer*, akan didapatkan gambar 4.7 sebagai berikut :



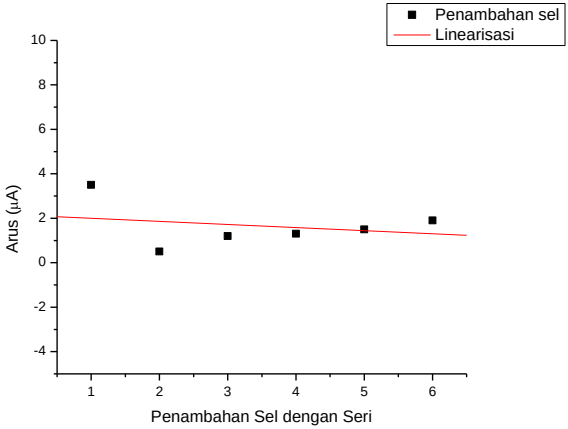
Gambar 4.7 Perbandingan efisiensi tertinggi, terendah, dan sebenarnya dari setiap rangkaian dari *pyranometer*

4.3.2 Pengujian arus dan tegangan rangkaian seri dan paralel

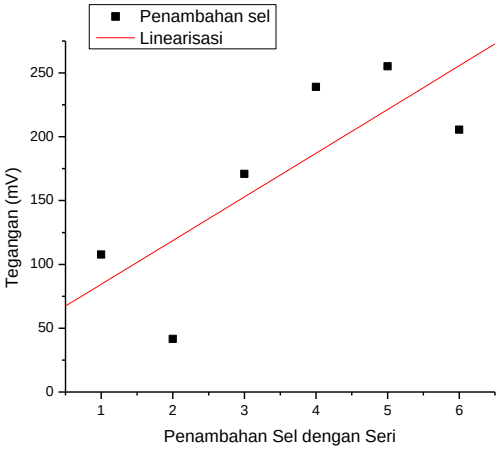
Gambar 4.8 merupakan kurva I-V penambahan sel secara seri dengan pemodelan teori satu dioda.



Gambar 4.8 Kurva I-V DSSC terangkai seri



(a)



(b)

Gambar 4.9 Kurva Linearisasi DSSC terangkai seri (a) arus maksimal (b) tegangan maksimal

Rangkaian seri tersebut dimulai dari sel A tunggal, kemudian ditambah sel-sel yang lain yang dirangkai secara seri, secara berurutan dari sel B hingga sel F hingga terangkai 6 sel secara seri. Dari kurva I-V pada Gambar 4.8, dibuat grafik

linearisasi dari V_{oc} dan I_{sc} masing-masing penambahan sel, seperti pada Gambar 4.9 untuk mengetahui kecenderungan peningkatan nilai arus, seperti pada gambar 4.9(a) dan tegangan seperti pada Gambar 4.9(b). Dari linearisasi pada gambar 4.9 disimpulkan bahwa rangkaian seri merupakan pengali tegangan. Penambahan setiap sel menyebabkan kecenderungan nilai tegangan menjadi tegangan sel awal ditambah dengan tegangan sel tambahan (gambar 4.9b), sedangkan nilai arus mengikuti nilai arus menurun (gambar 4.9a). Secara matematis hal tersebut dapat dirumuskan menjadi:

$$V_{seri} = V_1 + V_2 + \cdots + V_n \quad (4.4)$$

$$I_{seri} = I_1 = I_2 = \cdots = I_n \quad (4.5)$$

Linearisasi penambahan tegangan pada rangkaian seri berdasarkan gambar 4.9b memenuhi persamaan regresi:

$$V(n) = 50{,}186 + 34{,}23114\mathrm{n}_S \quad (4.6)$$

dengan n_s adalah banyaknya sel yang terangkai seri dan V(n) adalah V_{oc} hasil penambahan sel (mV).

Gambar 4.10 merupakan kurva I-V penambahan sel secara paralel dengan pemodelan teori satu dioda. Rangkaian paralel tersebut dimulai dari sel A tunggal, kemudian ditambah sel-sel yang lain yang dirangkai secara paralel, secara berurutan dari sel B hingga sel F hingga terangkai 6 sel secara paralel. Dari kurva I-V pada Gambar 4.10, dibuat grafik linearisasi dari V_{oc} dan I_{sc} masing-masing penambahan sel, seperti pada Gambar 4.11 untuk mengetahui kecenderungan peningkatan nilai arus, seperti pada gambar 4.11(a) dan tegangan seperti pada Gambar 4.11(b). Dari linearisasi pada gambar 4.11 disimpulkan bahwa rangkaian paralel merupakan pengali arus. Penambahan setiap sel menyebabkan kecenderungan nilai arus menjadi arus sel awal ditambah dengan arus sel tambahan (gambar 4.9b), sedangkan nilai tegangan mengikuti nilai arus menurun (gambar 4.9a). Secara matematis hal tersebut dapat dirumuskan menjadi:

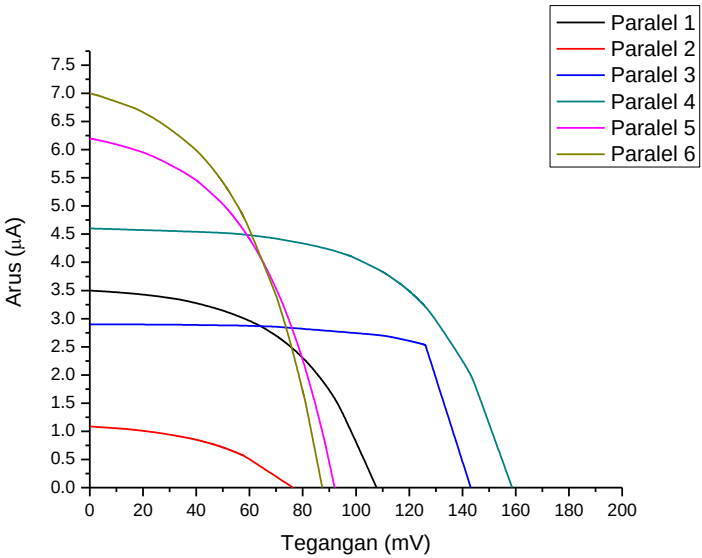
$$I_{paralel} = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (4.7)$$

$$V_{paralel} = V_1 = V_2 = \cdots = V_n \quad (4.8)$$

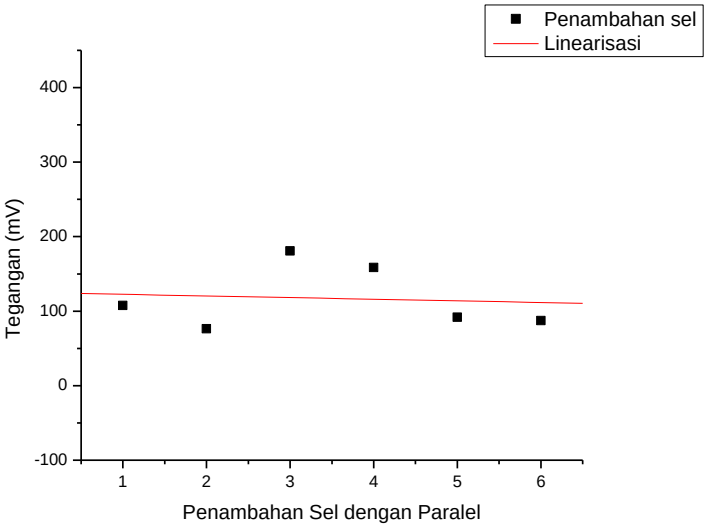
Linearisasi penambahan tegangan pada rangkaian seri berdasarkan gambar 4.11b memenuhi persamaan regresi:

$$V(n) = 0{,}760131 + 0{,}98691\,n_S \qquad (4.9)$$

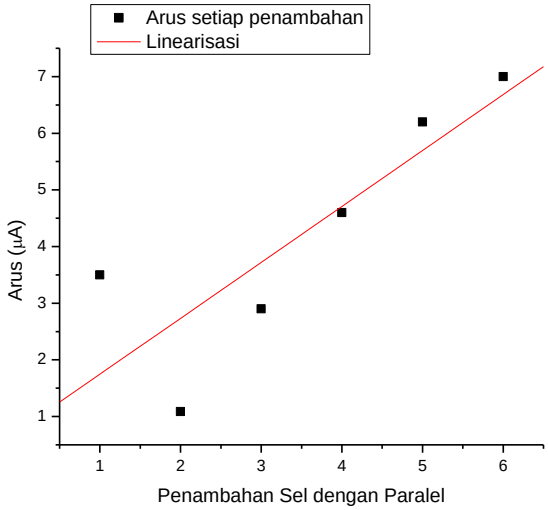
dengan n_s adalah banyaknya sel yang terangkai seri dan V(n) adalah V_{oc} hasil penambahan sel (mV).



Gambar 4.10 Kurva I-V DSSC terangkai paralel



(a)



(b)

Gambar 4.9 Kurva Linearisasi DSSC terangkai paralel (a) tegangan maksimal (b) arus maksimal

4.4 Pembahasan

Efisiensi terbesar dari sel tunggal yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 0,00786%. Nilai efisiensi tersebut didasarkan pada metode pengukuran menggunakan hambatan variabel dan P_{cahaya} diukur dari *luxmeter*. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, Wahyuono (2013) $\eta = 0{,}45\%$ dan Lestari (2014) $\eta = 0{,}076\%$, maka nilai efisiensi pada penelitian ini paling kecil. Secara teori, fraksi volume *anatase/rutile* 90%:10% dengan ukuran rutile 161,13 nm yang digunakan sebagai *dye sensitized solar cell* (DSSC) berjumlah 6 sel yang dirangkai secara seri-paralel menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding penelitian Ramadhani, yang menggunakan fase anatase sebagai anoda foto DSSC, yaitu sebesar 0,2103% (Ramadhani, 2009). Namun pada penelitian ini hanya dihasilkan efisiensi terbaik dari rangkaian 8 sebesar 0,00639%.

Hal tersebut dikarenakan pada penelitian ini timbulnya fase brookite pada proses sintesis fase rutile dengan metode mineralisasi. Menurut penelitian sebelumnya yang meneliti tentang perbandingan DSSC dari anatase dengan brookite, keberadaan brookite mengurangi daya serap pewarna pada fotoanoda sel dan memperbesar laju rekombinasi, yaitu pertemuan elektron bebas dengan hole pada fotoanoda dibandingkan dengan sel dari anatase murni (Kusumawati, dkk, 2014).

Untuk efisiensi sel yang dirangkai seri dan paralel, rangkaian yang memiliki efisiensi tiga terendah adalah rangkaian 5 (0,00067%), rangkaian 2 (0,00047%), dan rangkaian 1 (0,00127%). Sama dengan penelitian Ramadhani (2009), efisiensi terkecil didapat pada rangkaian 2 (Gambar 2.6) dimana rangkaian yang tidak simetris memiliki efisiensi paling kecil dibanding rangkaian 1, 3, dan 5. Selain itu, rangkaian murni seri atau paralel tidak memberikan efisiensi lebih besar dibanding rangkaian kombinasi seri-paralel. Efisiensi rendah tersebut disebabkan rangkaian DSSC yang tidak simetris, sehingga terdapat perbedaan nilai arus dan tegangan di setiap titik rangkaiannya yang mengakibatkan ketidakcocokan arus dan ketidakcocokan tegangan. Selain itu, perbedaan nilai arus dan tegangan keluaran

pada masing-masing DSSC juga menyebabkan ketidakcocokan arus dan ketidakcocokan tegangan. Ketidakcocokan arus dan ketidakcocokan tegangan pada rangkaian adalah nilai arus dan tegangan yang keluar mengikuti nilai arus dan tegangan keluaran DSSC yang terendah (*pveducation.org*).

Efisiensi tiga terbesar dari DSSC yang dirangkai seri dan paralel yang dihasilkan dari penelitian ini adalah rangkaian 8 (0,00639%), rangkaian 9 (0,00625%), dan rangkaian 10 (0,00623%). Ketiga rangkaian ini merupakan rangkaian kombinasi seri-paralel yang simetris untuk rangkaian 9 dan 10. Rangkaian yang simetris mengurangi ketidakcocokan arus dan ketidakcocokan tegangan.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Fraksi volume *anatase/rutile* 90%:10% yang digunakan sebagai *dye sensitized solar cell* (DSSC) tunggal menghasilkan efisiensi paling tinggi sebesar 0,00786% dan apabila dirangkai seperti pada skema rangkaian 1-10 menghasilkan efisiensi terbesar pada rangkaian 8 (0,00639%).
- Dihasilkan faktor pengali arus terbesar pada rangkaian 7 sebesar 5,84 dan faktor pengali tegangan terbesar pada rangkaian 6 sebesar 4,45.
- Munculnya fase *brookite* menurunkan efisiensi sel.

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN A
Kumpulan JCPDS

(JCPDS 00-021-1272)
TiO_2 Fase Anatase

Name and formula

Reference code:	00-021-1272
Mineral name:	Anatase, syn
Compound name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O_2Ti
Chemical formula:	TiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	I41/amd
Space group number:	141
a (Å):	3.7852
b (Å):	3.7852
c (Å):	9.5139
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	3.89
Volume of cell (10^6 pm^3):	136.31
Z:	4.00
RIR:	3.30

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetalic
	Common Phase
	Educational pattern
	Excipient
	Forensic
	Inorganic

	Mineral
	NBS pattern
	Pharmaceutical
	Pigment/Dye
Quality:	Star (S)

Comments

Color:	Colorless
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/11/2011
Additional Patterns:	See PDF 01-071-1166. Validated by calculated pattern
Color:	Colorless
General Comments:	Pattern reviewed by Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns
Polymorphism/Phase Transition:	Anatase and another polymorph, brookite (orthorhombic), are converted to rutile (tetragonal) by heating above 700 C
Sample Source or Locality:	Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA
Temperature of Data Collection:	Pattern taken at 298 K
Unit Cell Data Source:	Powder Diffraction.

References

Primary reference:	*Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr. 25*, **7**, 82, (1969)

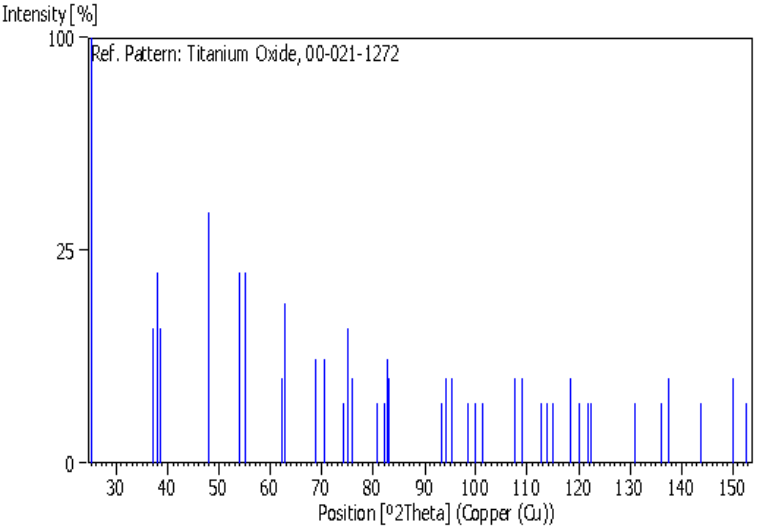
Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]

1	1	0	1	3.52000	25.281	100.0
2	1	0	3	2.43100	36.947	10.0
3	0	0	4	2.37800	37.801	20.0
4	1	1	2	2.33200	38.576	10.0
5	2	0	0	1.89200	48.050	35.0
6	1	0	5	1.69990	53.891	20.0
7	2	1	1	1.66650	55.062	20.0
8	2	1	3	1.49300	62.121	4.0
9	2	0	4	1.48080	62.690	14.0
10	1	1	6	1.36410	68.762	6.0
11	2	2	0	1.33780	70.311	6.0
12	1	0	7	1.27950	74.031	2.0
13	2	1	5	1.26490	75.032	10.0
14	3	0	1	1.25090	76.020	4.0
15	0	0	8	1.18940	80.727	2.0
16	3	0	3	1.17250	82.139	2.0
17	2	2	4	1.16640	82.662	6.0
18	3	1	2	1.16080	83.149	4.0
19	2	1	7	1.06000	93.221	2.0
20	3	0	5	1.05170	94.182	4.0
21	3	2	1	1.04360	95.143	4.0
22	1	0	9	1.01820	98.319	2.0
23	2	0	8	1.00700	99.804	2.0
24	3	2	3	0.99670	101.221	2.0
25	3	1	6	0.95550	107.448	4.0
26	4	0	0	0.94640	108.963	4.0
27	3	0	7	0.92460	112.841	2.0
28	3	2	5	0.91920	113.861	2.0
29	4	1	1	0.91380	114.909	2.0
30	2	1	9	0.89660	118.439	4.0
31	2	2	8	0.88900	120.104	2.0
32	4	1	3	0.88190	121.725	2.0
33	4	0	4	0.87930	122.336	2.0
34	4	2	0	0.84640	131.036	2.0
35	3	2	7	0.83080	135.998	2.0
36	4	1	5	0.82680	137.391	4.0

37	3	0	9	0.81020	143.888	2.0
38	4	2	4	0.79740	150.039	4.0
39	0	0	12	0.79280	152.634	2.0

Stick Pattern



(JCPDS 00-021-1276)
TiO_2 Fase Rutile

Name and formula

Reference code:	00-021-1276
Mineral name:	Rutile, syn
Compound name:	Titanium Oxide
Common name:	titania
Empirical formula:	O_2Ti
Chemical formula:	TiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	P42/mnm
Space group number:	136
a (Å):	4.5933
b (Å):	4.5933
c (Å):	2.9592
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	4.25
Measured density (g/cm^3):	4.23
Volume of cell (10^6 pm^3):	62.43
Z:	2.00
RIR:	3.40

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetalic
	Common Phase
	Educational pattern
	Excipient
	Forensic
	Inorganic
	Mineral

	NBS pattern
	Pharmaceutical
	Pigment/Dye
Quality:	Star (S)

Comments

Color:	White
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/11/2011
Additional Patterns:	Validated by calculated pattern
Analysis:	No impurity over 0.001%
Color:	White
General Comments:	Pattern reviewed by Syvinski, W., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns. Additional weak reflections (indicated by brackets) were observed. Naturally occurring material may be reddish brown
Optical Data Specimen location:	Optical data on specimen from Dana`s System of Mineralogy, 7th Ed., I 555
Polymorphism/Phase Transition:	Two other polymorphs, anatase (tetragonal) and brookite (orthorhombic), converted to rutile on heating above 700 C
Reflectance:	Opaque mineral optical data on specimen from Sweden: R3R%=20.3, Disp.=Std. Sample Source or Locality: Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey,

USA. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K. Vickers Hardness Number: VHN100=1132-1187. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr. 25*, **7**, 83, (1969)

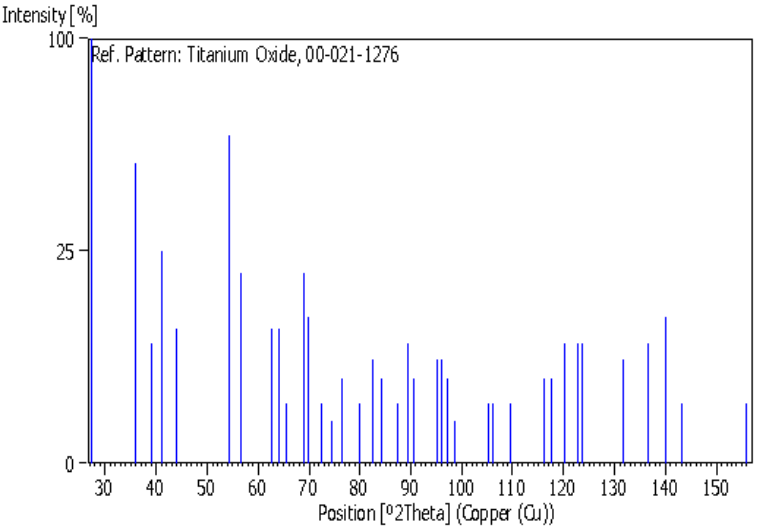
Optical data: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.*, **I**, 575

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.24700	27.447	100.0
2	1	0	1	2.48700	36.086	50.0
3	2	0	0	2.29700	39.188	8.0
4	1	1	1	2.18800	41.226	25.0
5	2	1	0	2.05400	44.052	10.0
6	2	1	1	1.68740	54.323	60.0
7	2	2	0	1.62370	56.642	20.0
8	0	0	2	1.47970	62.742	10.0
9	3	1	0	1.45280	64.040	10.0
10	2	2	1	1.42430	65.480	2.0
11	3	0	1	1.35980	69.010	20.0
12	1	1	2	1.34650	69.790	12.0
13	3	1	1	1.30410	72.410	2.0
14	3	2	0	1.27390	74.411	1.0
15	2	0	2	1.24410	76.510	4.0
16	2	1	2	1.20060	79.822	2.0
17	3	2	1	1.17020	82.335	6.0
18	4	0	0	1.14830	84.260	4.0
19	4	1	0	1.11430	87.464	2.0
20	2	2	2	1.09360	89.557	8.0

21	3	3	0	1.08270	90.708	4.0
22	4	1	1	1.04250	95.275	6.0
23	3	1	2	1.03640	96.017	6.0
24	4	2	0	1.02710	97.177	4.0
25	3	3	1	1.01670	98.514	1.0
26	4	2	1	0.97030	105.099	2.0
27	1	0	3	0.96440	106.019	2.0
28	1	1	3	0.94380	109.406	2.0
29	4	0	2	0.90720	116.227	4.0
30	5	1	0	0.90090	117.527	4.0
31	2	1	3	0.88920	120.059	8.0
32	4	3	1	0.87740	122.788	8.0
33	3	3	2	0.87380	123.660	8.0
34	4	2	2	0.84370	131.847	6.0
35	3	0	3	0.82920	136.549	8.0
36	5	2	1	0.81960	140.052	12.0
37	4	4	0	0.81200	143.116	2.0
38	5	3	0	0.78770	155.870	2.0

Stick Pattern



(JCPDS 00-029-1360)
TiO_2 Fase Brookite

Name and formula

Reference code:	00-029-1360
Mineral name:	Brookite
Compound name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O_2Ti
Chemical formula:	TiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Pcab
Space group number:	61
a (Å):	5.4558
b (Å):	9.1819
c (Å):	5.1429
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	4.12
Measured density (g/cm^3):	4.14
Volume of cell (10^6 pm^3):	257.63
Z:	8.00
RIR:	-

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetalic
	Common Phase
	Educational pattern
	Excipient
	Forensic
	Inorganic
	Mineral
	NBS pattern
	Pharmaceutical

Quality:	Star (S)

Comments

Color:	Black
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/11/2011
Additional Patterns:	To replace 00-016-0617 and validated by calculated pattern. See PDF 01-076-1934
Analysis:	Spectrographic analysis: 0.1-1.0% Si; 0.01-0.1% each of Al, Fe, and V; 0.001-0.01% Mg. Niobian brookite from Mozambique (Chemical analysis (wt.%): "Ti O2" 80.7, "Nb2 O5" 14.1, FeO 5.53); Carvalho et al., Rev. Cien. Geol. Ser. A, 7 61 (1974) reports an identical pattern. Color: Black. General Comments: Intensities verified by calculated pattern. Sample Source or Locality: Specimen from Magnet Cove, Arkansas, USA (USNM 97661). Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

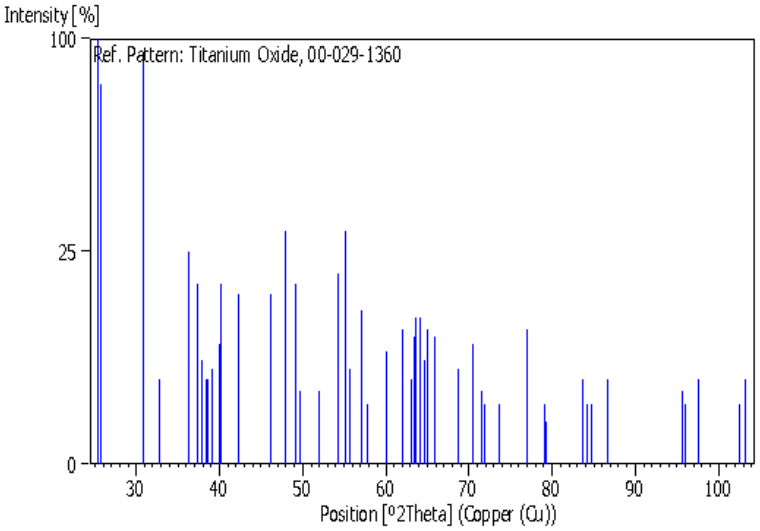
Primary reference:	*Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr. 25*, **3**, 57, (1964)
Optical data:	*Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.*, **I**, 588, (1944)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	2	0	3.51200	25.340	100.0
2	1	1	1	3.46500	25.689	80.0
3	1	2	1	2.90000	30.808	90.0
4	2	0	0	2.72900	32.791	4.0
5	0	1	2	2.47600	36.252	25.0
6	2	0	1	2.40900	37.297	18.0
7	1	3	1	2.37000	37.934	6.0
8	2	2	0	2.34400	38.371	4.0
9	2	1	1	2.33200	38.576	4.0
10	0	4	0	2.29600	39.205	5.0
11	1	1	2	2.25400	39.967	8.0
12	0	2	2	2.24400	40.153	18.0
13	2	2	1	2.13300	42.340	16.0
14	0	3	2	1.96850	46.072	16.0
15	2	3	1	1.89340	48.012	30.0
16	1	3	2	1.85140	49.173	18.0
17	2	1	2	1.83320	49.694	3.0
18	2	4	0	1.75680	52.012	3.0
19	3	2	0	1.69080	54.205	20.0
20	2	4	1	1.66170	55.234	30.0
21	1	5	1	1.64860	55.711	5.0
22	1	1	3	1.60980	57.176	13.0
23	2	3	2	1.59680	57.685	2.0
24	1	2	3	1.54080	59.991	7.0
25	0	5	2	1.49420	62.065	10.0
26	1	6	0	1.47290	63.065	4.0
27	3	1	2	1.46560	63.416	9.0
28	2	5	1	1.46090	63.643	12.0
29	2	0	3	1.45150	64.104	12.0
30	1	3	3	1.44150	64.603	6.0
31	2	1	3	1.43360	65.003	10.0
32	1	6	1	1.41670	65.876	9.0
33	4	0	0	1.36400	68.768	5.0
34	3	3	2	1.33580	70.432	8.0

35	4	0	1	1.31860	71.490	3.0
36	2	3	3	1.31160	71.931	2.0
37	0	0	4	1.28520	73.648	2.0
38	0	2	4	1.23810	76.949	10.0
39	4	3	1	1.21070	79.025	2.0
40	1	2	4	1.20740	79.283	1.0
41	3	3	3	1.15520	83.643	4.0
42	0	8	0	1.14800	84.288	2.0
43	4	4	1	1.14320	84.724	2.0
44	0	4	4	1.12170	86.743	4.0
45	5	2	1	1.03990	95.590	3.0
46	4	2	3	1.03990	95.590	3.0
47	2	8	1	1.03660	95.993	2.0
48	3	2	4	1.02370	97.609	4.0
49	1	2	5	0.98730	102.559	2.0
50	3	7	2	0.98290	103.201	4.0
51	2	5	4	0.98290	103.201	4.0

Stick Pattern



(JCPDS 00-005-0628)
NaCl

Name and formula

Reference code:	00-005-0628
Mineral name:	Halite, syn
Compound name:	Sodium Chloride
Empirical formula:	ClNa
Chemical formula:	NaCl

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	5.6402
b (Å):	5.6402
c (Å):	5.6402
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	2.16
Measured density (g/cm^3):	2.17
Volume of cell (10^6 pm^3):	179.43
Z:	4.00
RIR:	4.40

Subfiles and quality

Subfiles:	Common Phase
	Educational pattern
	Excipient
	Forensic
	Inorganic
	Mineral
	NBS pattern
	Pharmaceutical

Quality: Star (S)

Comments

Color: Colorless
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Additional Patterns: See PDF 01-072-1668
Color: Colorless
General Comments: An ACS reagent grade sample recrystallized twice from hydrochloric acid
Melting Point: 1077 K
Temperature of Data Collection: Pattern taken at 299 K
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

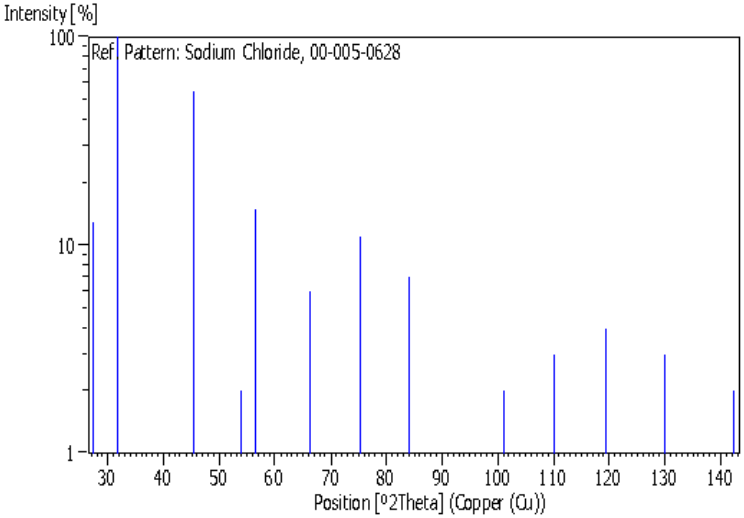
Primary reference: Swanson, Fuyat., *Natl. Bur. Stand. (U. S.), Circ. 539*, **II**, 41, (1953)
Optical data: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.*, **II**, 4

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3.26000	27.335	13.0
2	2	0	0	2.82100	31.693	100.0
3	2	2	0	1.99400	45.450	55.0
4	3	1	1	1.70100	53.854	2.0
5	2	2	2	1.62800	56.479	15.0
6	4	0	0	1.41000	66.229	6.0
7	3	3	1	1.29400	73.066	1.0
8	4	2	0	1.26100	75.304	11.0
9	4	2	2	1.15150	83.973	7.0
10	5	1	1	1.08550	90.409	1.0
11	4	4	0	0.99690	101.193	2.0
12	5	3	1	0.95330	107.809	1.0

13	6	0	0	0.94010	110.046	3.0
14	6	2	0	0.89170	119.505	4.0
15	5	3	3	0.86010	127.170	1.0
16	6	2	2	0.85030	129.894	3.0
17	4	4	4	0.81410	142.240	2.0

Stick Pattern



LAMPIRAN B

Tabel perbandingan pengukuran asli dengan perhitungan HK. Kirchoff 2 secara manual

Rangkaian	Hasil Pengukuran		Hitung Manual	
	V (mV)	I (μA)	V (mV)	I (μA)
1	199	0.3	147	14.7
2	131.2	0.2	177	17.7
3	259.9	2.4	195	19.5
4	217.9	2	249	24.9
5	81.2	0.4	50.7	5.07
6	282.2	2.1	123	12.3
7	297	2.8	166	16.6
8	304.6	2.9	181	18.1
9	308.8	2.9	204	20.4
10	308.3	2.9	178	17.8

LAMPIRAN C

Proses konversi dari lumen (lx/m^2) ke daya (watt/m^2) untuk pengukuran daya sumber dari *luxmeter* pada rentang PAR 400-700nm (Thimijan, 1983):

$$\frac{W}{m^2} = \frac{lx.m^{-1} \times 4.56\ mW.lx^{-1}}{1000\ mW.W^{-1}}$$

Dimana angka 4.56 adalah koefisien konversi lumen ke daya

LAMPIRAN D

Dibawah ini adalah tabel data hasil pengukuran pada *luxmeter* (LX-103 Lutron) dan *pyranometer* MOLINA (Star Pyranometer 240-8101 Novalinx Corp.) dan BMKG setiap pengambilan data I-V sel tunggal maupun rangkaian pada tanggal 22 Juni 2015 dimulai pada pukul 10.31 WIB sampai pukul 14.29 WIB untuk sel tunggal dan rangkaian dan tanggal 23 Juni 2015 dari pukul 10.11 WIB sampai 12.32 WIB untuk penambahan tiap sel secara seri dan paralel.

Tabel 22 Juni 2015

Pengukuran	Pyranometer (W/m^2)	Luxmeter (x 100 lux)
Sel A	319.1	771
Sel B	299.6	765
Sel C	312.9	767
Sel D	314.8	766
Sel E	290.2	759
Sel F	298.3	758
Rangkaian 1	273.1	771
Rangkaian 2	292.3	765
Rangkaian 3	212.9	767
Rangkaian 4	223.8	766
Rangkaian 5	249.5	759
Rangkaian 6	247.2	758
Rangkaian 7	210.3	759
Rangkaian 8	283.8	760
Rangkaian 9	284	725
Rangkaian 10	252.6	724

Tabel 23 Juni 2015

Pengukuran	Pyranometer (W/m^2)	Luxmeter (x 100 lux)
Seri A	180.9	775
Seri AB	210.9	774
Seri ABC	305.3	773
Seri ABCD	250.6	772
Seri ABCDE	216.1	754
Seri ABCDEF	252.3	775
Paralel A	195.1	751
Paralel AB	243.3	746
Paralel ABC	217.2	744
Paralel ABCD	229.4	761
Paralel ABCDE	164.7	783
Paralel ABCDEF	214.7	751

BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN METEOROLOGI PERAK I SURABAYA
Jl. Tanjung Sadari Colombo No.78 Surabaya Telepon (031) 3557801, 3541430
Fax (031) 3557801 Kode Pos 60177

DATA INTENSITAS MATAHARI BULAN JUNI 2015
(Satuan : Watt / M²)

JAM/TGL	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	JUMLAH
22	0	2	18	80	117	135	167	166	155	125	39	10	3	0	1017
23	0	1	31	79	119	147	169	166	150	129	76	6	4	0	1077

Kepala Stasiun Meteorologi
Perak I Surabaya

DESINDRA DEDDY KURNIAWAN, S.P
NIP. 197912312000031001

DAFTAR PUSTAKA

Agustini, S., 2013.“ Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell Berdasarkan Fraksi Volume TiO_2 Anatase-Rutile Dengan Garcinia mangostana Dan Rhoeo spatachea sebagai Dye Fotozensitizer”. **Tugas Akhir**, **ITS**

Biancardo, M., 2006.”Incorporation of Gel Electrolyte in Dye-Sensitized Solar Cells could Widen Application.” **SPIE Newsroom**

Byranvand, M.M., Kharat, A.N., Fatholahi, L., Beiranvand, Z.M., 2013. “A Review on Synthesis of Nano-TiO2 via Different Methods”**. JNS** Vol 3, hal 1-9

Ciulla, G., Lo Brano, V., Di Dio, V., Cipriani, G., 2014.”A Comparison of Different One-Diode Models for the Representation of I-V Characteristic of a PV Cell”. **Elsevier Renewable and Sustainable Energy Review 32**, hal 684-696

Cullity, B.D., 1956. “Elements Of X-Ray Diffraction”. **Indiana**,University of Notre Dame

Dewan, M.A.R., Zhang, G., Ostrovski, O., 2010. “Phase Development in Carbothermal Reduction of Ilmenite Concentrates and Synthetic Rutile”. **ISIJ International**, Vol. 50, No. 5, hal. 647–653

Halme, Janne., 2002. “Dye-sensitized Nanostrctured and Organic Photovoltaic Cells”. Technical review and Preliminary Tests. **Master Thesis**, **Helsinki University of Technology**

Holmberg, S., Prebikovsky, A., Kulinsky, L., Madou, M., 2014.”3-D Micro and Nano Technologies for Improvements in Electrochemical Power Devices.” Review. **Micromachines**

Lee, J.K., Yang, M., 2011.” Progress in Light Harvesting and Charge Injection of Dye Sensitized Solar Cells”. **Materials Science and Engineering,** vol B 176, hal 1142– 1160

Lestari, B., Sawitri D., Risanti D.D., 2013."Optimalisasi Fraksi Volume TiO_2 Terhadap Efisiensi DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*)". **Tugas Akhir**, **ITS**

Li, G., Richter, C.P., Milot,R.L., Cai, L., Schmuttenmaer, C.A., Crabtree, R.H., Brudvig, G.W., Batista, V.S., 2009. "Synergistic Effect Between Anatase and Rutile Tio2 Nanoparticles in Dye-Sensitized Solar Cells". ***Dalton Trans***, hal 10078–10085

Jae Lee, W., Ramasamy, E., Lee, D.,Y., Song, J.,S., 2007."Dye-Sensitized Solar Cells: Scale Up and Current-Voltage Characterization." **Elsevier Solar Energy Material and Solar Cell**

Nazeeruddin, Md. K., Baranoff, E., Gratzel, M., 2011."Dye-Sensitized Solar Cell: A brief overview". **Elsevier Solar Energy 85**, hal 1172-1178

Ramadhani, K., Akhlus, S., 2009."Pengaruh Hubungan Seri-Paralel pada Rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik". **Prosiding Tugas Akhir Semester Genap, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Ramasamy, E., Jae Lee, W., Lee, D.,Y., Song, J.,S., 2007."Portable, Parallel Grid Dye-Sensitzed Solar Cell Module Prepared by Screen Printing." **Elsevier Journal of Power Sources**

Sarker, S.,Woo Seo, H., Min Kim, D., 2014."Calculating Current Density-Voltage Curves of Dye-Sensitized Solar Cells: A Straight-Forward Approach". **Elsevier Journal of Power Source 248**, hal 739-744

Thimijan, R., W., 1983."Photometric, Radiometric, and Quantum Light Units of Measure : A Review of Procedures for Interconversion". **HortScience**, Vol 18(6)

Wahyuono, R.A.. 2013. "Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Fabrication with TiO_2 and ZnO Nanoparticle for High Conversion Efficiency". **Master Thesis, ITS**

Yu, H., Zhang, S., Zhao, H., Will, G., Liu, P., 2009."An Efficient and Low-Cost TiO_2 Compact Layer for Performance

Improvement of Dye-Sensitized Solar Cells." **Queensland University of Technology**

Yuwono, H.A., Dhaneswara, D., Ferdiansyah, A., Rahman, A., 2011."Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna Berbasis Nanopartikel Tio2 Hasil Proses Sol-Gel Dan Perlakuan Pasca-Hidrotermal". **Jurnal Material dan Energi Indonesia** Vol. 01, No. 03, hal 127 – 140

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Gresik pada tanggal 14 Oktober 1992. Penulis merupakan sulung dari dua bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Lamongan 1/12 GKB, Gresik. Pada tahun 2005, penulis menyelesaikan pendidikannya di SDN Sidokumpul 2. Kemudian pada tahun 2008, telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 1 Gresik. Tahun 2011 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Gresik dan melanjutkan studi di Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS melalui jalur Ujian Mandiri. Pada bulan Agustus 2015 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "**Fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (Dssc) Terangkai Seri/Paralel Pada Fraksi Volume Dan Ukuran Partikel TiO_2 Anatase/Rutile Optimum**". Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email randy.albertus@gmail.com.