



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH  
INTENSITAS CAHAYA TERHADAP  
PERFORMA DSSC (*DYE SENSITIZED SOLAR  
CELL*) DENGAN EKSTRAK BUAH DAN SAYUR  
SEBAGAI *DYE SENSITIZER***

**KHOIRUZ ZADIT TAQWA  
NRP 2209 100 702**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST, M.Eng**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TM 141585**

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF  
LIGHT-INTENSITY ON PERFORMANCE OF  
DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL) USING  
FRUIT AND VEGETABLE EXTRACT AS DYE  
SENSITIZER**

**KHOIRUZ ZADIT TAQWA  
NRP 2209 100 702**

**Supervisor  
Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST, M.Eng**

**MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH INTENSITAS  
CAHAYA TERHADAP PERFORMA DSSC (DYE  
SENSITIZED SOLAR CELL) DENGAN EKSTRAK  
BUAH DAN SAYUR SEBAGAI *DYE SENSITIZER***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Konversi Energi

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**KHOIRUZ ZADIT TAQWA**

NRP. 2109 100 702

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Bambang Arip D., ST, M.Eng  
(NIP. 197804012002121001) ..... (Pembimbing)
2. Dr. Bambang Sudarman, ST, MT  
(NIP. 197301161997021001) ..... (Penguji I)
3. Dr. Vivien Suphandani, ST, M.Eng  
(NIP. 198105292003122001) ..... (Penguji II)

**SURABAYA  
SEPTEMBER, 2014**

# **STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH INTENSITAS CAHAYA TERHADAP PERFORMA DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL) DENGAN EKSTRAK BUAH DAN SAYUR SEBAGAI DYE SENSITIZER**

Nama : Khoiruz Zadit Taqwa  
NRP : 2109 100 702  
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Bambang Arip D., ST., M.Eng.

## **Abstrak**

*Sel surya adalah peralatan yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek photovoltaic. Desain dan konstruksi dari solar cell mengalami perkembangan seiring dengan berkembangnya teknologi saat ini, hingga pada tahun 1991 ditemukan DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). Sampai saat ini bahan yang umum digunakan sebagai dye pada pembuatan DSSC adalah ruthenium complex yang berharga mahal dan sulit untuk disintesa. Karena itu perlu dilakukannya penelitian tentang penggunaan bahan lain yang murah dan mudah untuk disintesa sebagai bahan dye, karena itu perlu diadakan pengujian terhadap performa yang dihasilkan dari DSSC dengan bahan dye tersebut dan apa saja variabel yang mempengaruhinya.*

*Metode penelitian yang digunakan adalah studi eksperimental terhadap prototype DSSC dengan variasi bahan dye sensitizer dari ekstrak kulit manggis (*Garcinia Mangostana*), ekstrak buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*). Pengujian prototype DSSC dilakukan dengan cara menyinarinya menggunakan cahaya lampu halogen yang diatur tegangannya menggunakan sebuah dimmer untuk mengendalikan temperatur dari lampu, sehingga lampu tersebut menghasilkan variasi intensitas cahaya sebesar  $29W/m^2$ ,  $36W/m^2$  dan  $49W/m^2$ . Selanjutnya pengujian dilakukan*

*dengan cara yang sama, tetapi dengan ditambahkan pendingin berupa air yang mengalir dibawah permukaan prototype DSSC.*

*Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya, maka semakin tinggi  $P_{max}$  yang dihasilkan oleh prototype. Semakin bertambah temperatur pencahayaan maka semakin berkurang performa dari prototype DSSC. Efisiensi yang paling besar dihasilkan oleh prototype dengan bahan dye dari ekstrak kulit manggis pada intensitas  $29 \text{ W/m}^2$  sebesar 0,73%. Pendinginan yang diberikan kepada prototype mampu memperbaiki efisiensi dari prototype DSSC yang dibuat akan tetapi tidak signifikan.*

**Kata Kunci: Buah Naga Merah, Daun Bayam, DSSC, Kulit Manggis, Performa DSSC, Temperatur.**

# **EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF LIGHT INTENSITY ON PERFORMANCE OF DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL) USING FRUIT AND VEGETABLE EXTRACT AS DYE SENSITIZER**

Name : Khoiruz Zadit Taqwa  
NRP : 2109100702  
Supervisor : Dr. Bambang Arip D., ST, M.Eng

## **Abstract**

*Solar cells are tool that can convert solar energy into electrical energy using photovoltaic effect. The design and construction of the solar cell have evolved along with the development of technology today, until DSSC (Dye-sensitized Solar Cell) has been founded in 1991. ruthenium complex is commonly used material as an ingredient in the manufacture of DSSC but it's expensive and difficult to be synthesized. Because it is necessary to do research on the use of other materials are cheap and easy to be synthesized as a dye, and it is necessary to test the resulting performance of DSSC with the dye material and any variables that influence.*

*The method used is an experimental study on the prototype DSSC that fabricated using various dye sensitizer material such as mangosteen peel extract (*Garcinia mangostana*), extracts of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). DSSC prototype testing was done by using a halogen light shines regulated voltage using a dimmer to control the temperature of the lamp, so that the lamp produces light intensity variation of  $29 \text{ W/m}^2$ ,  $36 \text{ W/m}^2$  and  $49 \text{ W/m}^2$ . Further testing was done the same way, but with the addition of a cooling water flowing beneath the surface of the DSSC prototypes.*

*This research lead to the conclusion that the higher the light intensity, the higher  $P_{max}$  generated by the prototype. Increasing temperature the more diminished the lighting performance of the DSSC prototypes. The greatest efficiency produced by a prototype with dye material from mangosteen peel extract on the intensity of  $29 \text{ W/m}^2$  by 0.73%, which is given to the cooling prototype was able to improve the efficiency of DSSC prototypes were made but not significantly.*

***Keywords: DSSC performance, Leaf Spinach, Mangosteen, Red Dragon Fruit, Temperature.***

## **PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini di waktu yang tepat.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Bambang Arip D., ST, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar membimbing dan memberikan banyak masukan kepada penulis.
2. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, dan Dr. Vivien Suphandani, ST, M.Eng selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.
3. Prof. Dr. Ing. Ir. Herman Sasongko selaku dosen wali yang telah banyak membantu penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
4. Sulistiya Nengse yang selalu menemani dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS khususnya angkatan 2009 yang telah memberikan bantuan dan dukungan.
6. Teman-teman, adik-adik, dan segenap karyawan warga Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas atas dukungan, bantuan dan do'a kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
7. Teman-teman penghuni kontrakan E-80 Ferianto, Sholikin, Rangga, Imron, Hendra, Imron, Nandez, Darma, Arip, dan Nanang yang sudah menemani hari-hari penulis selama menjalani masa akhir perkuliahan di Teknik Mesin ITS.



8. Teman-teman kabinet Bersama Memberi Inspirasi BEM FTI ITS atas dukungan, do'a dan semangat yang tidak pernah putus diberikan kepada penulis.

Ucapan khusus penulis sampaikan untuk keluarga di rumah: ibu, bapak, kakak, kakak ipar dan keponakan tercinta yang telah memberikan dukungan serta doa kepada penulis.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penyusunan tugas akhir ini, akan tetapi penulis juga mengharapkan saran dan masukan agar tugas akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang memerlukan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Percobaan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 Energi Surya.....	5
2.1.2 Sel Surya.....	5
2.1.3 Prinsip Kerja Sel Surya.....	6
2.1.4 Performa Sel Surya.....	7
2.1.5 <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> .....	9
2.1.6 Prinsip Kerja <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> .....	10
2.1.7 Material DSSC.....	12
2.1.8 Ekstraksi <i>Dye</i> Alami.....	15
2.1.9 <i>Spin Coating</i> .....	16
2.1.10 <i>Doctor Blade</i> .....	17
2.2 Penelitian Terdahulu.....	18
2.2.1 Penggunaan Ekstrak Kulit Manggis sebagai <i>Dye</i> pada DSSC.....	18
2.2.2 Penggunaan Ekstrak Daun Bayam sebagai <i>Dye Sensitizer</i> pada DSSC.....	21

2.2.3	Penggunaan Buah Naga Merah sebagai Bahan <i>Dye Sensitizer</i> pada DSSC .....	22
2.2.4	Penelitian tentang Hubungan antara Temperatur dengan Performa dari <i>Solar Cell</i>	24
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	27
3.1	Diagram Kerja Penelitian .....	27
3.2	Peralatan dan Bahan .....	28
3.3	Prosedur Pembuatan <i>Prototype</i> DSSC .....	29
3.4	Prosedur Pengujian DSSC .....	35
3.4.1	Pengujian Karakteristik I-V pada <i>Prototype</i> ...	35
3.4.2	Pengujian dengan Perbedaan Intensitas Cahaya .....	36
3.5	Alur Pengambilan Data .....	37
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1	Hasil Uji Karakteristik I-V <i>Prototype</i> DSSC .....	41
4.2	Hasil Pengujian dengan Variasi Intensitas Cahaya Tanpa Pendinginan .....	43
4.2.1	Pembahasan Hasil Pengujian pada <i>Prototype</i> DSSC dengan Bahan <i>Dye</i> Ekstrak Kulit Manggis .....	45
4.2.2	Pembahasan Hasil Pengujian pada <i>Prototype</i> DSSC dengan Bahan <i>Dye</i> Ekstrak Daun Bayam .....	47
4.2.3	Pembahasan Hasil Pengujian pada <i>Prototype</i> DSSC dengan Bahan <i>Dye</i> dari Ekstrak Buah Naga Merah .....	50
4.2.4	Perbandingan Efisiensi Masing-masing <i>Prototype</i> .....	52
4.3	Hasil Uji dengan Menggunakan Pendingin dari Bawah <i>Prototype</i> DSSC .....	57

4.3.1	Perbandingan Daya Maksimum dan Efisiensi yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> yang Diuji dengan Pendingin dan Tanpa Pendingin .....	61
4.3.2	Analisa Perpindahan Panas pada Sistem dengan Pendinginan .....	64
BAB V	PENUTUP .....	69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.1	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	.....	71
LAMPIRAN	.....	73

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Potensi Energi Terbarukan.....	1
Tabel 2.1	Data Absorpsi Ekstraksi Daun Bayam pada Puncak Panjang Gelombang.....	21
Tabel 2.2	Data Absorpsi Ekstrak Daging Buah Naga Merah pada Puncak Panjang Gelombang.....	22
Tabel 2.3	Data Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus dengan Sumber Cahaya Halogen 6 Volt 30 Watt dan Variasi Jarak 5 cm dan 10 cm.....	24
Tabel 3.1	Perbedaan Kandungan Kadar Zat dari Setiap Bahan <i>Dye</i> .....	34
Tabel L.1	Arus dan Tegangan Hasil Uji Karakteristik I-V pada <i>Prototype</i> .....	73
Tabel L.2	Arus dan Tegangan yang Dihasilkan <i>Prototype</i> DSSC dengan Bahan <i>Dye</i> Ekstrak Kulit Manggis...	74
Tabel L.3	Arus dan Tegangan yang Dihasilkan <i>Prototype</i> DSSC dengan Bahan <i>Dye</i> Ekstrak Buah Naga.....	77
Tabel L.4	Arus dan Tegangan yang Dihasilkan <i>Prototype</i> DSSC dengan Bahan <i>Dye</i> Ekstrak Daun Bayam.....	80

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya.....	7
Gambar 2.2	Komponen dan Struktur <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> .....	9
Gambar 2.3	Skema Kerja dari DSSC .....	11
Gambar 2.4	Proses Pelapisan dengan Metode <i>Spin Coating</i> ....	16
Gambar 2.5	Proses Pelapisan dengan Metode <i>Doctor Blade</i> ...	17
Gambar 2.6	Grafik Abs (OD) vs $\lambda$ (nm) dari Ekstrak Kulit Manggis .....	19
Gambar 2.7	Grafik Perbandingan Arus Terhadap Waktu dari Tiap Sample .....	20
Gambar 2.8	Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Waktu dari Tiap Sample.....	20
Gambar 2.9	Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Waktu pada Masing-masing Ketinggian Pencahayaan ...	22
Gambar 2.10	Grafik Perbandingan FF Terhadap Temperatur....	25
Gambar 2.11	Grafik Perbandingan Efisiensi Terhadap <i>Bandgap Energy</i> dari Setiap Temperatur .....	26
Gambar 3.1	Diagram Kerja Penelitian .....	27
Gambar 3.2	Pembersihan Kaca ITO Menggunakan <i>Ultrasonic Cleaner</i> .....	29
Gambar 3.3	Pembuatan Pasta TiO <sub>2</sub> Menggunakan Mortar .....	30
Gambar 3.4	(a) Pengetesan Sisi Konduktif dari Kaca ITO (b) Pelapisan TiO <sub>2</sub> Menggunakan Metode <i>Spin Coating</i> .....	31
Gambar 3.5	(a) Pensil 2B Digosokkan pada Sisi Kaca Konduktif (b) Lapisan Karbon Dibakar di Atas Lilin .....	31
Gambar 3.6	Kulit Manggis yang Sudah Halus .....	32
Gambar 3.7	Larutan <i>Dye</i> dari Ekstrak Buah Naga .....	33



Gambar 3.8	Daun Bayam Kering yang Sudah Dihaluskan .....	33
Gambar 3.9	Kaca yang Sudah Dilapisi Larutan $TiO_2$ Direndam dalam Larutan Dye.....	34
Gambar 3.10	(a) Pelapisan Elektrolit pada Lapisan Elektroda Kerja (b) Lapisan <i>Sandwich</i> DSSC yang Sudah Jadi.....	35
Gambar 3.11	Skema Rangkaian Pengujian Karakteristik I-V <i>Prototype</i> DSSC .....	35
Gambar 3.12	Susunan Alat Pengujian Karakteristik I-V <i>Prototype</i> DSSC .....	36
Gambar 3.13	Skema Susunan Alat Uji.....	37
Gambar 3.14	Flowchart Percobaan .....	39
Gambar 4.1	Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya.....	41
Gambar 4.2	Grafik Karakteristik I-V pada Setiap <i>Prototype</i> DSSC .....	42
Gambar 4.3	Output yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Kulit Manggis dengan Variasi Intensitas Cahaya Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan .....	45
Gambar 4.4	Arus yang Dihasilkan Oleh <i>Prototype</i> DSSC Daun Bayam Dengan Variasi Intensitas Cahaya ..	47
Gambar 4.5	Tegangan yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Daun Bayam dengan Variasi Intensitas Cahaya ...	48
Gambar 4.6	Output yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Buah Naga Merah dengan Variasi Intensitas Cahaya Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan .....	50
Gambar 4.7	Grafik Daya vs Temperatur yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Ekstrak Kulit Manggis .....	53
Gambar 4.8	Grafik Daya vs Temperatur yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Ekstrak Daun Bayam .....	53
Gambar 4.9	Grafik Daya vs Temperatur yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Ekstrak Buah Naga Merah .....	54

Gambar 4.10	Contoh Grafik I-V dari <i>Prototype</i> dengan Bahan <i>Dye</i> dari Ekstrak Kulit Manggis dengan Perbedaan Intensitas Cahaya .....	54
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Daya Maksimum yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC pada Setiap Intensitas Cahaya.....	55
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Efisiensi Masing-masing <i>Prototype</i> DSSC pada Setiap Intensitas Cahaya...	56
Gambar 4.13	Output yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Kulit Manggis pada $49 \text{ W/m}^2$ dengan Pendingin Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan .....	58
Gambar 4.14	Output yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Daun Bayam pada $49 \text{ W/m}^2$ dengan Pendingin Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan .....	59
Gambar 4.15	Output yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Buah Naga Merah pada $49 \text{ W/m}^2$ dengan Pendingin Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan .....	60
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Daya Maksimum yang Dihasilkan oleh <i>Prototype</i> DSSC Tanpa Pendinginan dan dengan Pendinginan pada Intensitas $49 \text{ W/m}^2$ .....	62
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Efisiensi yang Dihasilkan oleh <i>prototype</i> DSSC Tanpa Pendinginan dan dengan Pendinginan pada Intensitas $49 \text{ W/m}^2$ .....	63
Gambar 4.18	<i>Free Body Diagram</i> Rangkaian Sistem <i>Prototype</i> dengan Pendingin .....	65
Gambar 4.19	(a) <i>Free Body Diagram</i> Sistem saat $t = 0$ , (b) <i>Free Body Diagram</i> Sistem saat $t = t$ (s) .....	66

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Energi adalah salah satu tantangan yang kita hadapi pada abad 21 ini. Berdasarkan survey yang dilakukan oleh Professor Ricards Smalley dari Rice University mengenai masalah terbesar yang akan dihadapi manusia untuk 50 tahun mendatang, ternyata energi menduduki peringkat pertama. Cadangan sumber energi fosil di seluruh dunia terhitung sejak 2002 yaitu 40 tahun untuk minyak, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil tersebut, di dunia sekarang ini terjadi pergeseran dari penggunaan sumber energi tak terbaharui menuju sumber energi yang terbaharui. Dari sekian banyak sumber energi terbaharui seperti angin, biomass dan *hydro power*, 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.

Tabel 1.1 Potensi Energi Terbarukan

<b>Energi Terbarukan</b>	<b>Potensi</b>	<b>Kapasitas Terpasang</b>
Tenaga Air	75,67 GW	4200 MW
Panas Bumi	27 GW	807 MW
Mini/Mikrohydro	712 MW	206 MW
Biomassa	49,81 GW	445 MW
Energi Surya	4,8 kWh/m <sup>2</sup> /hari	8 MW
Energi Angin	3 – 6 m/det.	0,6 MW

*Sumber: "Statistik Ekonomi Energi Indonesia 2004", Pusat Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2004*

Sel surya adalah peralatan yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* merupakan fenomena munculnya tegangan listrik akibat adanya kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan dibawah paparan energi cahaya. Sel surya berdasarkan perkembangan teknologi saat ini dan bahan pembuatannya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pertama, sel surya yang terbuat dari silikon tunggal, dan silikon multi kristal. Kedua, sel surya tipe lapis tipis (*thin film solar cell*) dan yang ketiga sel surya organik (*Dye Sensitized Solar Cell*). Sel surya konvensional berupa sambungan *p-n junction* yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, masih mahal untuk dikembangkan karena menggunakan teknologi yang canggih untuk memproduksinya. Hingga sampai ditemukan oleh Gratzel yaitu sel surya organik, DSSC (*Dye Sensitizer Solar Cell*) sebagai sel surya yang menggunakan dye sensitizer dari bahan organik yang banyak ditemukan di lingkungan sekitar yang dapat secara langsung dikembangkan dengan biaya murah serta mudah fabrikasinya.

Performa dari sebuah *solar cell* mempengaruhi besar tidaknya arus listrik yang dihasilkan, performa tersebut bisa ditentukan dari beberapa hal, yang utama adalah efisiensi dan *fill factor* dari *solar cell* tersebut, dimana kedua parameter ini bisa dipengaruhi oleh banyak faktor, dari konstruksi *solar cell* itu sendiri maupun faktor dari luar. Pada penelitian sebelumnya belum diketahui secara jelas faktor –faktor apa saja yang bisa mempengaruhi performa dari DSSC, terutama faktor dari luar seperti intensitas cahaya, temperatur dan faktor lainnya. Perlu dilakukannya penelitian atau percobaan untuk bisa mengetahui faktor-faktor apa saja yang bisa mempengaruhi performa dari sebuah DSSC, supaya bisa dilakukan karakterisasi terhadap DSSC menyesuaikan dengan performanya dan bisa dilakukan pengembangan dan pengoptimalan terhadap desain dan fabrikasinya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

- a) Bagaimana cara membuat *prototype* DSSC yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik dengan  $\text{TiO}_2$  sebagai bahan semikonduktor menggunakan hasil ekstraksi kulit manggis (*Garcinia mangostana L.*), ekstraksi daun Bayam (*Amaranthus hybridus L.*) dan ekstraksi buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*), sebagai *dye sensitizer*.
- b) Bagaimana pengaruh dari variasi temperatur pencahayaan terhadap performa dari *prototype* DSSC.
- c) Bagaimana perbandingan performa dari tiap DSSC dengan bahan *dye sensitizer* yang berbeda terhadap variasi temperatur pencahayaan.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

- a) Metode yang digunakan dalam pelapisan  $\text{TiO}_2$  pada kaca preparat adalah *spin coating* dengan kecepatan putaran 1000 rpm dan lama tunggu 3 menit.
- b) Percobaan menggunakan cahaya dari lampu halogen sebagai pengganti cahaya matahari.
- c) Cahaya yang dikonversikan menjadi energi listrik hanya berasal dari lampu halogen.
- d) Panas yang diterima oleh *prototype* hanya dari lampu halogen.
- e) Variasi yang dilakukan hanya pada perbedaan temperatur pencahayaan.
- f) Suhu ruang dianggap konstan  $20^\circ\text{C}$ .

## 1.4 Tujuan Percobaan

Tujuan dari dilakukannya percobaan ini adalah:

- a) Mengetahui cara pembuatan *prototype* DSSC dengan metode pelapisan TiO<sub>2</sub> menggunakan metode spin coating.
- b) Mengetahui pengaruh dari suhu pencahayaan terhadap performa dari DSSC.
- c) Mengetahui perbandingan performa dari tiap *prototype* DSSC dengan bahan *dye sensitizer* yang berbeda.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

- a) Memberikan informasi tentang pengaruh dari temperatur pencahayaan terhadap performa dari DSSC.
- b) Memberikan informasi tentang bahan *dye sensitizer* yang memiliki performa paling baik diantara tiga bahan yang diteliti.
- c) Memberikan referensi untuk pengembangan rancangan dari DSSC.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar Teori**

##### **2.1.1 Energi Surya**

Energi surya adalah radiasi yang diproduksi oleh reaksi fusi nuklir pada inti matahari. Matahari mensuplai hampir semua panas dan cahaya yang diterima bumi untuk digunakan makhluk hidup. Energi surya sampai kebumi dalam bentuk paket-paket energi yang disebut foton.

Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang terserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik [1].

##### **2.1.2 Sel Surya**

Sel surya umumnya disebut juga dengan *Photovoltaic* yang merupakan sebuah peralatan yang mengubah energi matahari menjadi listrik oleh efek *Photovoltaic*. Photovoltaic (PV) adalah suatu sistem atau cara langsung (*direct*) untuk mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Sistem photovoltaic bekerja dengan prinsip efek photovoltaic. Efek photovoltaic pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Efek photovoltaic adalah fenomena dimana suatu sel photovoltaic dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek photovoltaic didefinisikan sebagai



suatu fenomena munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat ditaruh di bawah energi cahaya [2].

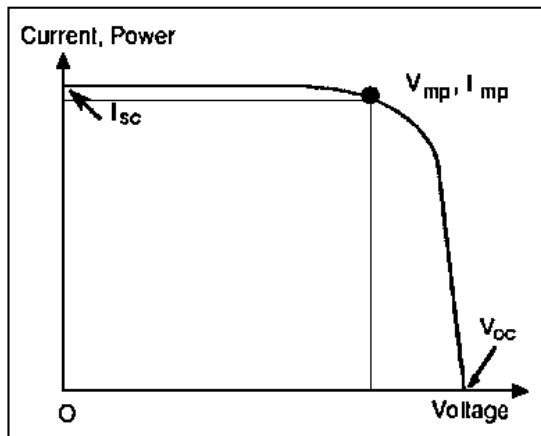
### 2.1.3 Prinsip kerja sel surya

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan photon. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang  $\lambda$  dan frekuensi photon  $\nu$ . Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang terserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik.

Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Konduktifitas elektron atau kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material. Sel surya pada umumnya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas. Material semikonduktor adalah suatu padatan (solid) dan seperti logam, konduktifitas elektriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda dengan logam yang konduktifitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, material semikonduktor konduktifitasnya akan meningkat secara significant [3].

### 2.1.4 Performa 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 dipresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya [4]

Ketika sel dalam kondisi *short circuit* ( $V=0$ ) arus maksimum atau arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* ( $I=0$ ) tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus maksimum ( $I_{mp}$ ) dan tegangan maksimum ( $V_{mp}$ ) disebut *maximum power point* (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan:

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

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

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

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel ( $P_{\max}$ ) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang ( $P_{\text{cahaya}}$ ):

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{cahaya}}} \quad (2.3)$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performa suatu sel surya.

Peran dari nilai  $V_{OC}$  pada persamaan (2.1) sangatlah penting dalam menentukan nilai *fill faktor*, dimana semakin besar nilai  $V_{OC}$  maka nilai *fill faktor* akan semakin kecil dan begitu pula sebaliknya, secara matematis nilai  $V_{OC}$  diturunkan dari persamaan karakteristik I-V ideal *solar cell* menjadi persamaan berikut [5]:

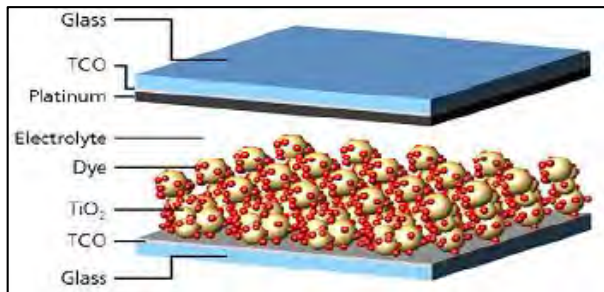
$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_1}{I_2} + 1 \right) \quad (2.4)$$

Dari persamaan (2.2) dapat dilihat bahwa variabel T (temperatur) mempengaruhi besar kecil nilai  $V_{OC}$ , dimana semakin besar T maka nilai dari  $V_{OC}$  juga semakin besar dan menyebabkan nilai dari *fill faktor* menjadi kecil, dan akan menyebabkan menurunnya nilai daya maksimum ( $P_{\max}$ ) dan nilai efisiensi.

### 2.1.5 *Dye-Sensitized Solar Cell*

*Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh profesor Michael Gretzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC bahan disebut jugaterobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon.

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 nanokristal pori  $\text{TiO}_2$ , molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan  $\text{TiO}_2$  dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif.



Gambar 2.2 Komponen dan Struktur *Dye-Sensitized Solar Cell* [6]

Susunan dari DSSC secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.2, Pada bagian atas sel surya merupakan *glass* yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*), yang berfungsi sebagai elektroda dan *counter*-elektroda. Pada TCO *counter*-elektroda dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$  (iodide/triiodide). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanokristal pori  $\text{TiO}_2$  dimana *dye* teradopsi di  $\text{TiO}_2$ . Jumlah pori yang lebih banyak dengan pengaturannya dalam struktur nano,

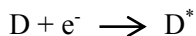
memungkinkan *dye* yang teradsorpsi lebih banyak menghasilkan proses absorpsi cahaya yang lebih efisien. *Dye* yang umumnya digunakan yaitu jenis ruthenium complex.

### 2.1.6 Prinsip Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell*

Foton (sinar matahari) yang terabsorpsi oleh *dye* akan mengalami eksitasi elektron pada *dye*. Kejadian ini memberikan energi yang cukup kepada elektron untuk pindah menuju *conduction band* dari  $\text{TiO}_2$ . Akibatnya elektron mengalir menuju elektroda, rangkaian listrik sampai *Counter* elektroda. Elektrolit membawa elektron-elektron kembali ke *dye* yang berasal dari *counter* elektroda (CE).

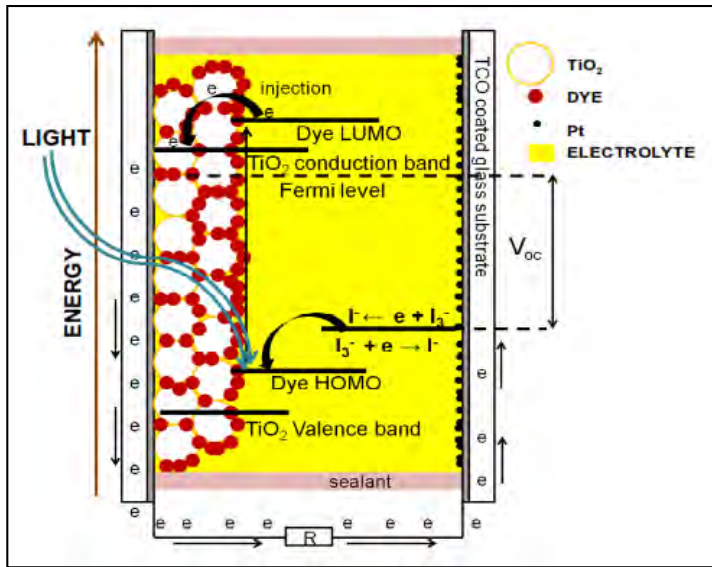
*Dye* yang digunakan pada DSSC umumnya berupa *dye* sintetik Ruthenium kompleks. Ruthenium kompleks memiliki kemampuan berikatan baik dengan semikonduktor karena memiliki ikatan carboxylate. Ikatan tersebut memberikan efek elektron yang mengalir baik tanpa harus melakukan lompatan dan hambatan dalam proses pengalirannya. Awal penemuan DSSC oleh Michael Gratzel, digunakan *dye* sintetik ruthenium kompleks tipe N3 yang menghasilkan efisiensi konversi energi sebesar 7,9%.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, 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 *groundstate* (D) ke *excited state* ( $\text{D}^*$ ).

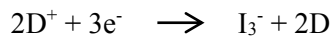


Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* ( $\text{E}_{\text{CB}}$ ) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi ( $\text{D}^+$ ). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I<sup>-</sup>) maka

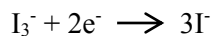
molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



Gambar 2.3 Skema Kerja dari DSSC [6]



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



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron.

Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik [6].

### 2.1.7 Material DSSC

- *Substrat*  
Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir. Material yang umumnya digunakan yaitu flourine-doped tin oxide ( $\text{SnO}_2\text{:F}$  atau FTO) dan indium tin oxide ( $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$  atau ITO) hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material  $\text{TiO}_2$  kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400-500°C dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami defect pada range temperatur tersebut.
  
- *Nanopori  $\text{TiO}_2$*   
Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi korosi. Selain itu lebar pita energinya yang besar ( $>3\text{eV}$ ), dibutuhkan dalam DSSC transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Selain semikonduktor  $\text{TiO}_2$ , yang digunakan dalam penelitian ini, semikonduktor lain yang digunakan yaitu ZnO, CdSe, CdS,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , dan  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ . Namun  $\text{TiO}_2$  masih menjadi material yang sering digunakan karena efisiensi DSSC menggunakan  $\text{TiO}_2$  masih belum tertandingi.

Di alam umumnya  $\text{TiO}_2$  mempunyai tiga fasa yaitu rutile, anatase dan brookite seperti ditunjukkan struktur kristalnya. Fasa rutile dari  $\text{TiO}_2$  adalah fasa yang umum

dan merupakan fasa yang disintesis dari mineral *ilmenite* melalui proses Becher. Pada proses Becher, oksida besi yang terkandung dalam *ilmenite* dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan gas sulfat atau klor sehingga menghasilkan  $\text{TiO}_2$  rutil dengan kemurnian 91-93%. Titania pada fasa anatase umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa brookite pada ukuran partikel 11-35 nm, dan fasa rutil di atas 35 nm.

Untuk aplikasinya pada DSSC,  $\text{TiO}_2$  yang digunakan umumnya berfasa anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi. Selain itu  $\text{TiO}_2$  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 ter-absorb yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang ter-absorb.

- *Dye*

Seperti telah dijelaskan diatas, fungsi absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* yang ter-absorpsi pada permukaan  $\text{TiO}_2$ . *Dye* yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis ruthenium complex.

Walaupun DSSC menggunakan ruthenium complex telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan ruthenium complex komersil berharga mahal. Alternatif lain yaitu penggunaan *dye* dari buah-buahan, khususnya *dye anthocyanin*. *Anthocyanin* ini yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga. Salah satu



pigmen *cyanin* yang memegang peranan penting dalam proses absorpsi cahaya yaitu cyanidin 3-O- $\beta$ -glucoside.

- *Elektrolit*

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari iodine ( $I^-$ ) dan triiodide ( $I_3^-$ ) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakterisasi ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu:

- a) Potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
- b) Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
- c) Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
- d) Tidak adanya karakterisasi spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
- e) Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
- f) Mempunyai reversibilitas tinggi.
- g) Inert terhadap komponen lain pada DSSC.

- *Katalis counter elektroda*

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 pyrolisis [7].

Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain

DSSC dengan menggunakan *counter*-elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter*-elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai elektroda platina.

### 2.1.8 Ekstraksi *Dye* Alami.

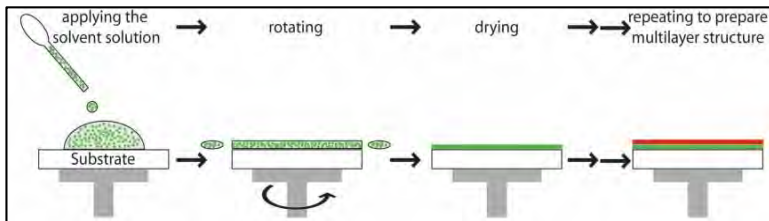
Penelitian dalam mencari *dyes* yang murah dan berbasis tumbuhan (*natural dyes*) terus dilakukan. Sebuah kelompok studi di Jepang, telah mencoba lebih dari dua puluh jenis *dye* alami dari ekstrak tumbuhan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya ini, diantaranya adalah kol merah, kunyit, teh hijau, dan sebagainya. Proses fotosintesis pada tumbuhan telah membuktikan adanya senyawa pada tumbuhan yang dapat digunakan sebagai *dyes*. Zat-zat tersebut ditemukan pada daun atau buah, yaitu antosianin, klorofil, dan xantofil [8]. Antosianin merupakan pigmen tumbuhan yang muncul sesuai dengan pH tumbuhan. Antosianin merupakan pigmen vacuolar yang larut dalam air pada tumbuhan, terdapat pada buah, bunga, dan daun. Xantofil dan klorofil merupakan pemegang peranan penting dalam proses fotosintesis. Xantofil merupakan pigmen kuning grup karotenoid pada daun. Klorofil merupakan pigmen warna hijau dan paling banyak ditemukan pada tumbuhan hijau dan menjadi penyerap utama cahaya tampak penyinaran. Semua zat tersebut menyatu dalam daun untuk melakukan fotosintesis.

Penelitian tentang antosianin pada DSSC ini telah lebih dulu dikembangkan. Akan tetapi, penelitian tentang klorofil dan xantofil terus dilakukan. Peneliti telah membuktikan bahwa klorofil dan xantofil dapat tereksitasi dengan adanya penyinaran pada penerapan *dyes*. Sebagai hasil pengembangannya, peneliti telah mendapatkan efisiensi konversi energi yang lebih baik pada turunan *dyes* klorofil tersebut karena memiliki gugus *carboxylate*.

Sejauh ini, *dye* yang digunakan sebagai *sensitizer* dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. Walaupun DSSC komersial dengan menggunakan *dye* sintesis yaitu jenis *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi 10%, namun ketersediaan dan harganya yang mahal membuat adanya alternatif lain pengganti *dye* jenis ini yaitu *dye* alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga, atau buah [9].

### 2.1.9 Spin Coating

Metode *spin coating* adalah metode penempelan lapisan pada suatu substrat dengan cara meneteskan cairan pelapis pada pusat substrat yang diputar. Material coating dideposisi atau diletakkan pada bagian tengah substrat baik dengan cara manual maupun bantuan robot. Material tersebut dituangkan atau disemprotkan di atas substrat. Metode *spin coating* ini memuat empat tahapan dasar yaitu Tahap penyetakan cairan (*dispense*), Tahap percepatan *spin coating* dan Tahap pengeringan, Prinsip fisika dibalik *spin coating* adalah keseimbangan antara viskositas larutan dengan gaya sentrifugal yang dikontrol oleh kecepatan spin.



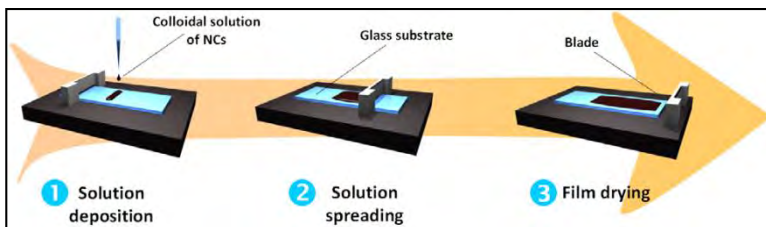
Gambar 2.4. Proses pelapisan dengan metode *Spin Coating* [7]

Kelajuan spin-coater merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi luaran film tipis yang dihasilkan oleh metode *spin-coating*. Tebal tipisnya suatu film yang ditumbuhkan biasanya dipengaruhi oleh laju putaran spin-coater serta waktu putaran yang diberikan untuk membuatnya. Biasanya jika bahan

gel serta substrat yang digunakan dalam proses spin-coating berbeda maka parameter seperti laju putaran spin-coater serta waktu spin yang digunakan saat prosespun akan berbeda pula. Parameter-parameter yang digunakan dalam proses spin-coating dapat memberikan hasil yang baik maupun kurang baik.

### 2.1.10 *Doctor Blade*

*Doctor blade* ( atau *tape casting* ) adalah salah satu teknik yang banyak digunakan untuk memproduksi lapisan tipis pada permukaan area yang luas . *Doctor Blade* adalah proses yang relatif baru yang awalnya dikembangkan pada tahun 1940-an sebagai metode membentuk lembaran tipis bahan piezoelektrik dan kapasitor dan sekarang menjadi metode pelapisan presisi. Salah satu paten , yang diterbitkan pada tahun 1952 , berfokus pada penggunaan campuran berair dan tidak berair yang diterapkan untuk menggerakkan *plaster batts* dengan perangkat *doctor blading*.



Gambar 2.5. Proses pelapisan dengan metode *Doctor Blade* [10]

Dalam proses *doctor blading*, campuran terdiri dari suspensi partikel keramik bersama dengan aditif lainnya (seperti pengikat, dispersan atau *plasticizer*) ditempatkan pada substrat luar pisau dokter. Ketika gerakan antara pisau dan substrat relatif konstan, campuran menyebar pada substrat untuk membentuk lembaran tipis berpa lapisan gel setelah dikeringkan. *Doctor blading* dapat dioperasikan hingga kecepatan beberapa meter per menit dan sangat cocok untuk melapisi substrat dengan rentang ketebalan

lapisan yang tinggi, berkisar antara 20 sampai beberapa ratus mikron [11].

## 2.2 Penelitian Terdahulu

### 2.2.1 Penggunaan Ekstrak Kulit Manggis Sebagai *Dye* pada DSSC

Pada penelitian sebelumnya, Anto [12] melakukan penelitian dengan membuat *prototype* DSSC yang bahan *dye sensitizernya* menggunakan ekstraksi kulit manggis. Antok menggunakan metode *spin coating* untuk pelapisan larutan  $\text{TiO}_2$  pada kaca preparat, dan bervariasi kecepatan putaran dan lama putaran pada *spin coating* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa dari DSSC.

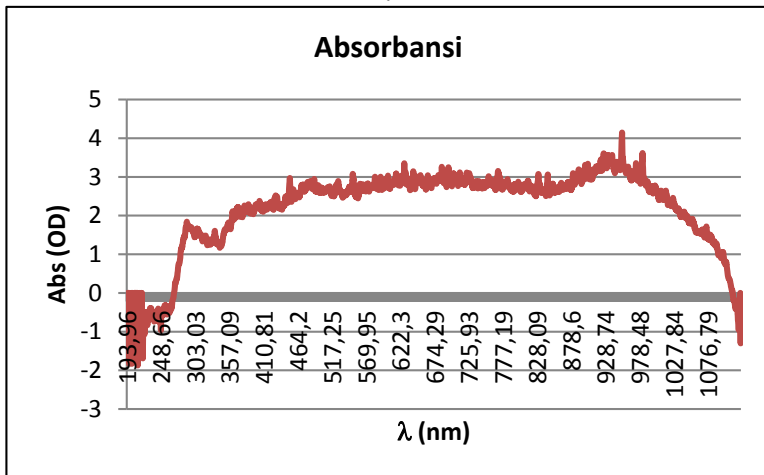
Dalam penelitian tersebut, Anto menguji kemampuan absorpsi ekstrak kulit manggis menggunakan *Spektrometer HR4000 CG UV-NIR* dan mendapatkan grafik absorpsi ekstrak kulit manggis terhadap panjang gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 dimana ekstrak kulit manggis mampu menyerap cahaya hingga panjang gelombang 1110,17 nm . Kemudian Antok melakukan pengujian terhadap setiap sample *prototype* DSSC dengan variasi kecepatan *spin coating* menggunakan lampu halogen dan mendapatkan data arus yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 yang menunjukkan bahwa sample D memiliki nilai arus yang paling besar dan sample A yang terkecil, dan data tegangan yang ditunjukkan Gambar 2.6 yang menunjukkan bahwa sample F memiliki nilai tegangan yang paling besar dan sample B yang terkecil, dimana Sampel A-C ialah variasi pemutarannya dengan kecepatan 500 rpm, 1000 rpm dan 2000 rpm dengan lama waktu pemutarannya berturut-turut ialah:

- 40 s, 100 s dan 100 s
- 1 menit, 2 menit dan 3 menit
- 3 menit, 4 menit dan 5 menit

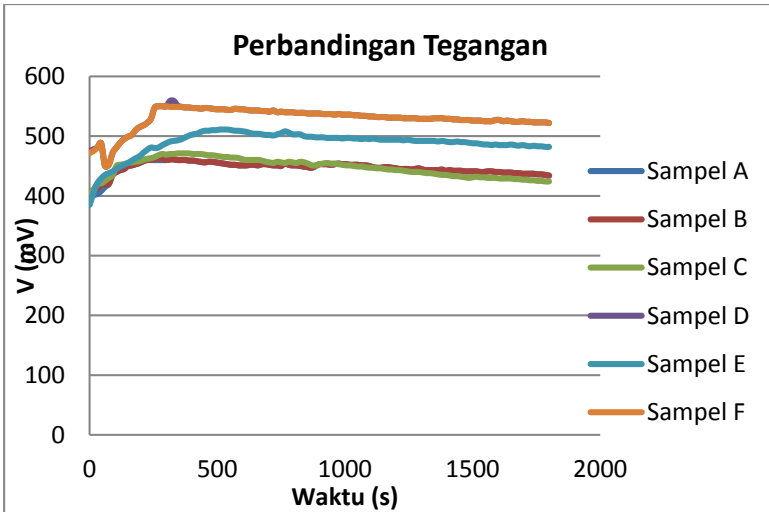
dan Sampel D-F ialah variasi pemutaran dengan kecepatan 600 rpm, 1000 rpm dan 2000 rpm. Dengan lama waktu pemutarannya berturut-turut ialah:

- 40 s, 100 s dan 100 s
- 1 menit, 2 menit dan 3 menit
- 3 menit, 4 menit dan 5 menit

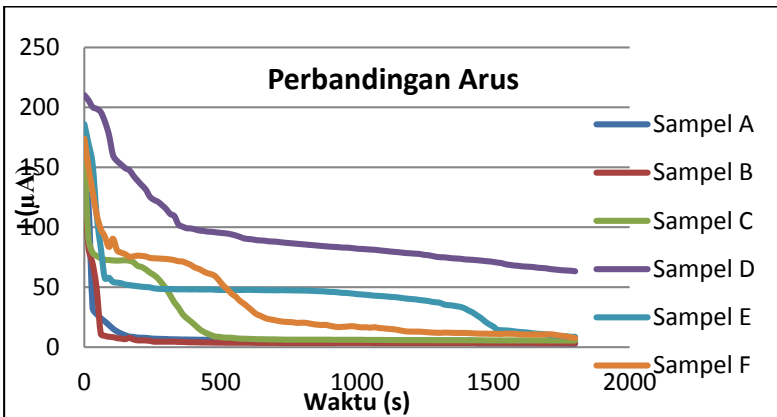
Dari hasil penelitiannya, Anto menyimpulkan bahwa *prototype* DSSC yang dibuat dengan menggunakan ekstrak kulit manggis sebagai *dye sensitizer* dapat menghantarkan arus listrik, dan variasi kecepatan dan lama pemutaran pada spin coating mempengaruhi penyerapan larutan *dye* oleh  $\text{TiO}_2$ , dimana semakin cepat kecepatan pemutaran dan waktu pemutaran pada *spin coating* maka *dye* yang terserap akan semakin banyak dan akan menghasilkan arus yang lebih besar.



Gambar 2.6 Grafik Abs (OD) vs  $\lambda$  (nm) dari ekstrak kulit manggis [12]



Gambar 2.7 Grafik perbandingan arus terhadap waktu dari tiap sample [12]



Gambar 2.8 Grafik perbandingan tegangan terhadap waktu dari tiap sample [12]

### 2.2.2 Penggunaan Ekstrak Daun Bayam Sebagai *Dye Sensitizer* Pada DSSC

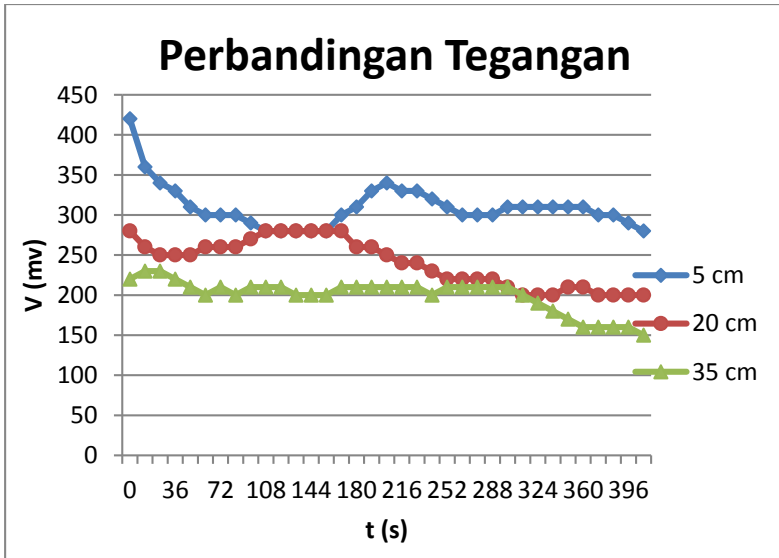
Penelitian ini dilakukan oleh Maya [13]. Maya melakukan penelitian dengan membuat *prototype* DSSC dengan menggunakan hasil ekstraksi daun bayam sebagai *dye sensitizer*, dan dengan menggunakan metode dokter blade untuk melapiskan TiO<sub>2</sub> pada kaca preparat. Maya bervariasi jarak pencahayaan lampu halogen dengan variasi jarak 5 cm, 20 cm, dan 35 cm untuk mengetahui kemampuan dari *prototype* DSSC yang dia buat.

Dalam penelitian tersebut, Maya menguji kemampuan absorpsi ekstrak daun bayam menggunakan *Spektrofotometer UV-Vis Beckman DU-7500* dan mendapatkan data puncak absorpsi ekstrak daun bayam pada puncak gelombang yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Selanjutnya Maya melakukan pengujian terhadap *prototype* DSSC menggunakan lampu halogen dengan bervariasi jarak pencahayaan (5cm, 20cm, 35cm) dan mendapatkan data perbedaan tegangan yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, grafik tersebut menunjukkan bahwa besar tegangan yang diperoleh paling besar terdapat pada pencahayaan dengan jarak 5cm, selanjutnya 20 cm dan yang terkecil terdapat pada jarak 30 cm.

Tabel 2.1 Data absorpsi ekstraksi daun bayam pada puncak panjang gelombang [13]

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
355	2.4366
364	2.2716
389	1.8959
403	1.9574
420	2.0411





Gambar 2.9 Grafik perubahan tegangan terhadap waktu pada masing-masing ketinggian pencahayaan [13]

Dari hasil penelitiannya, Maya menyimpulkan bahwa ekstrak daun bayam bisa digunakan sebagai bahan *dye sensitizer* untuk DSSC, kemudian dari hasil variasi jarak pencahayaan lampu halogen maya mendapatkan kesimpulan bahwa performa terbaik didapatkan pada jarak pencahayaan 5 cm dengan jumlah intensitas cahaya sebesar 269 Lux.

### 2.2.3 Penggunaan Buah Naga Merah Sebagai Bahan *Dye Sensitizer* Pada DSSC

Penelitian sebelumnya tentang penggunaan buah naga merah sebagai bahan *dye sensitizer* pernah dilakukan oleh Nasukha [14], Nasukha melakukan percobaan tentang pembuatan *prototype* DSSC menggunakan buah naga merah sebagai *dye* dengan

menvariasikan kandungan *dye* (100 gr daging naga merah+5ml aquades dan 100 gr daging naga merah +10 ml aquades).

Pada penelitiannya, Nasukha mendapatkan data kemampuan absorbansi dari ekstrak buah naga merah terhadap puncak panjang gelombang cahaya menggunakan alat uji *Spektrometer HR4000 CG UV-NIR* yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. Kemudian nasukha melakukan pengujian terhadap *prototype* DSSC yang dia buat, menggunakan lampu halogen 6 volt 30 watt dengan menvariasikan jarak pencahayaan (5 cm dan 10 cm) yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Data absorpsi ekstrak daging buah naga merah pada puncak panjang gelombang [14]

<b>Dye 100 gr Daging Naga Merah + 5ml Aquades</b>		<b>Dye 100 gr Daging Naga Merah + 10ml Aquades</b>	
<b>Panjang Gelombang (nm)</b>	<b>Absorbansi</b>	<b>Panjang Gelombang (nm)</b>	<b>Absorbansi</b>
351.25	3.254	221.21	2.076
359.74	2.833	225.79	1.139
439.52	3.355	241.4	1.541
442.41	3.997	252.15	2.793
447.14	4.215	594.49	3.082
586.23	3.692		

Dari penelitian yang dilakukan, Nasukha menyimpulkan bahwa ekstrak dari buah naga merah bisa digunakan sebagai bahan *dye* pada DSSC, dan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan dan arus yang dihasilkan oleh DSSC dengan *dye* 100gr naga merah +5ml aquades lebih baik dari DSSC dengan *dye* 100gr buah naga merah +10ml aquades.

Tabel 2.3 Data hasil pengukuran tegangan dan arus dengan sumber cahaya halogen 6 volt 30 watt dan variasi jarak 5cm dan 10cm [14]

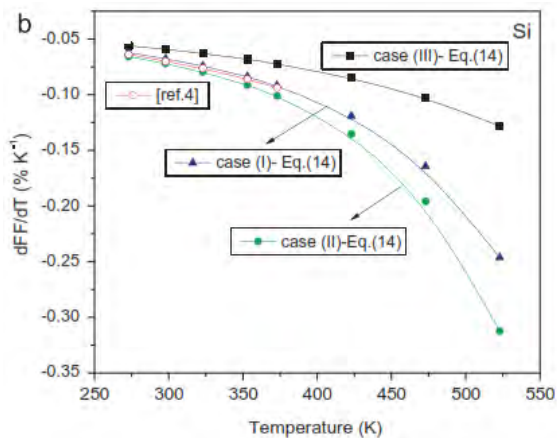
Waktu (S)	Sumber Cahaya Halogen 6 Volt 30 Watt							
	100 gr B.Naga Merah + 10 ml Aquades				100 gr B.Naga Merah + 5 ml Aquades			
	5 cm [Intensitas 354(x100) Lux]		10 cm [Intensitas 263(x100) Lux]		5 cm [Intensitas 354(x100) Lux]		10 cm [Intensitas 263(x100) Lux]	
	mV	$\mu$ A	mV	$\mu$ A	mV	$\mu$ A	mV	$\mu$ A
0	561	1,2	526	1.2	512	1.4	556	1.1
15	585	0.7	560	0.5	535	0.9	579	0.7
30	585	0.5	578	0.3	556	1.5	594	0.4
45	601	0.5	594	0.3	573	1.9	603	0.3
60	606	0.3	598	0.2	588	2.2	609	1.3
75	609	0.2	596	0.3	603	1.2	615	1.7
90	608	0.2	597	0.4	608	0.7	619	0.5
105	602	0.2	599	0.3	602	0.5	621	0.3
120	585	0.2	593	0.3	605	0.3	621	0.2
135	589	0.2	590	0.2	607	0.3	617	0.2
150	593	0.2	580	0.2	610	0.3	608	0.2
165	593	0.1	573	0.2	611	0.3	589	0.2
180	592	0.1	575	0.2	612	0.3	585	0.2
195	590	0.1	575	0.2	613	0.3	588	0.2
210	589	0.1	576	0.1	613	0.3	589	0.1
225	588	0.1	579	0.1	614	0.2	592	0.2

#### 2.2.4 Penelitian Tentang Hubungan antara Temperatur dengan Performa dari Solar Cell

Penelitian tentang hubungan antara temperatur pencahayaan terhadap performa solar cell pernah dilakukan oleh Priyanka Singh [15]. Singh melakukan percobaan terhadap *prototype*

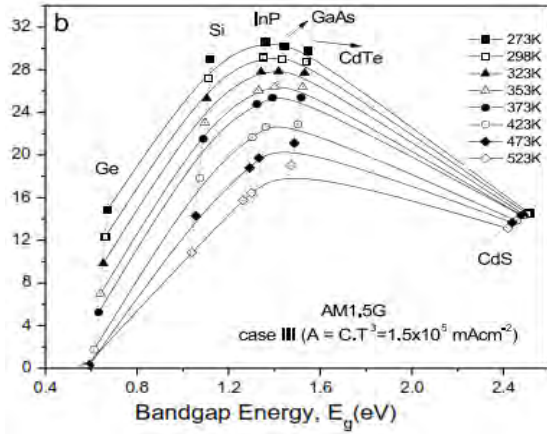
solar cell berbahan semikonduktor dengan 6 bahan yang berbeda, yaitu Si, Ge, GaAs, InP, CdTe, dan Cds. Singh kemudian menguji *prototype* tersebut dengan jarak variasi temperatur pencahayaan 273-523 K.

Dalam penelitian tersebut Singh mendapatkan grafik perubahan nilai *fill factor* dengan trendline yang menurun terhadap kenaikan temperatur dari setiap bahan yang diuji seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai dari *fill faktor* semakin menurun seiring bertambahnya temperatur, Singh juga mendapatkan grafik perubahan efisiensi dari tiap temperatur terhadap bandgap energi yang dihasilkan dari setiap bahan dan temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 dimana pada grafik tersebut bisa dilihat bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin kecil nilai efisiensinya.



Gambar 2.10 Grafik perbandingan FF terhadap temperatur [15]

Setelah melakukan penelitian tersebut, Singh menyimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pencahayaan, maka nilai Voc akan semakin tinggi yang menyebabkan nilai dari fill factor dan efisiensi pada solar cell menurun.

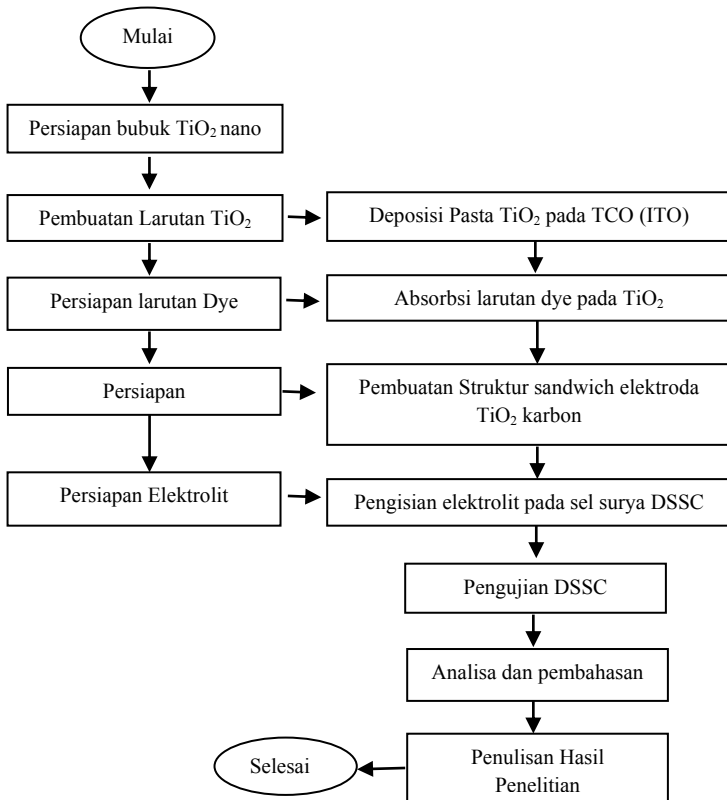


Gambar 2.11 Grafik perbandingan efisiensi terhadap *bandgap energy* dari setiap temperatur [15]

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Kerja Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir kerja yang akan dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram kerja penelitian

### 3.2 Peralatan dan Bahan

- A. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:
1. *Hot Plate* dan *Stirrer*
  2. Pipet
  3. Penjepit/pinset
  4. Spatula
  5. Selotip
  6. Klip Binder
  7. Gunting dan *cutter*
  8. Pensil 2B
  9. Penggaris
  10. Gelas Kimia 100 ml, 250 ml dan 500ml
  11. Gelas Ukur 10 ml dan 25 ml
  12. Mortar
  13. Termometer Digital
  14. Multimeter 2 buah
  15. Cawan Petri
  16. Lampu Halogen 20W
  17. Penutup lampu berbahan plastik
  18. Pyranometer
- B. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu:
1. Kaca konduktif (ITO) ukuran 2 x 2 cm
  2. Larutan Dye ekstrak kulit manggis
  3. Larutan Dye ekstrak daun bayam
  4. Larutan Dye ekstrak buah naga merah
  5. Ethanol
  6. Serbuk TiO<sub>2</sub> nano
  7. Karbon dari grafit pensil
  8. Kalium Iodine dan Iodine
  9. Aquades
  10. Alkohol 98%

### 3.3 **Prosedur Pembuatan *Prototype* DSSC**

#### A. **Persiapan**

Tahap persiapan ini meliputi persiapan dan pembersihan alat-alat untuk ekstraksi dan pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ . Proses persiapan untuk ekstraksi dilakukan dengan pembersihan alat berupa mortar dan gelas kimia. Selain proses persiapan untuk ekstraksi dan pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ , dilakukan pula pembersihan kaca ITO dengan *ultrasonic cleaner* seperti pada Gambar 3.2. Pembersihan kaca substrat agar kaca terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan air saja. Bersih tidaknya kaca ITO mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan pada kaca substrat.



Gambar 3.2 Pembersihan kaca ITO menggunakan *ultrasonic cleaner*

#### B. **Pembuatan Pasta $\text{TiO}_2$ (*Titanium Dioxide*)**

Pasta  $\text{TiO}_2$  dibuat dari 4 gram serbuk  $\text{TiO}_2$  berfase 98,5% anatase dan 1,5% rutil yang dihaluskan terlebih dahulu dalam mortar seperti pada Gambar 3.3, kemudian ditambahkan 15 ml larutan asam asetat diaduk selama 30 menit dan ditambahkan 10 tetes triton X-100 sambil diaduk selama 60 menit. Pasta  $\text{TiO}_2$  yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup. Sebelum



pasta  $\text{TiO}_2$  akan digunakan, pasta  $\text{TiO}_2$  tersebut dikocok terlebih dahulu.



Gambar 3.3 Pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  menggunakan mortar

### C. Deposisi $\text{TiO}_2$ pada Kaca ITO

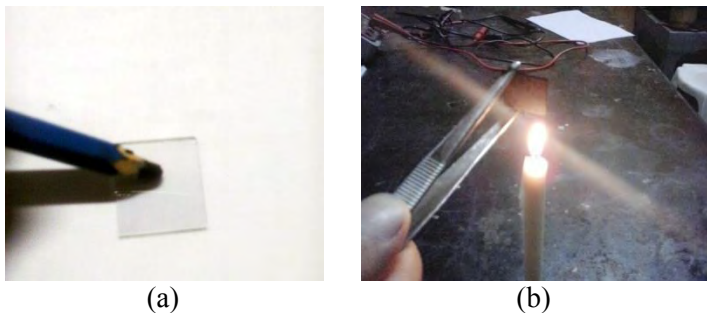
Pasta  $\text{TiO}_2$  dideposisikan diatas kaca konduktif ITO dengan metode *Spin Coating*. Sebelum dilakukan pendeposisian, dilakukan terlebih dahulu uji resistansi sisi konduktif kaca ITO dengan menggunakan multimeter seperti pada Gambar 3.4 (a), selanjutnya kaca ITO yang telah disiapkan diletakkan diatas alat *Spin Coating* dengan bagian sisi konduktif berada di bagian atas seperti pada gambar 3.4 (b). Selanjutnya pasta  $\text{TiO}_2$  yang sudah dibuat sebelumnya di kocok terlebih dahulu dan diteteskan diatas permukaan sisi konduktif kaca ITO hingga seluruh permukaan tertutupi. *Spin Coating* di kondisikan pada kecepatanputar yang kita inginkan dengan waktu pemutaran yang telah di tentukan. Lapisan yang sudah dibuat.



Gambar 3.4 (a) Pengetesan sisi konduktif dari kaca ITO  
(b) pelapisan  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode *spin coating*

#### D. Pembuatan Elektroda Karbon

Sebuah pensil berjenis 6B digosokkan secara merata pada kaca yang dipakai sebagai substrat seperti pada Gambar 3.5 (a). Kemudian dibakar dengan menggunakan api dari lilin sehingga didapatkan lapisan karbon seperti pada Gambar 3.5 (b).



Gambar 3.5 (a) Pensil 2B digosokkan pada sisi kaca konduktif (b) Lapisan karbon dibakar diatas lilin

#### E. Pembuatan Ekstrak *dye* Kulit Manggis (*Garcinia mangostana*)

Kulit Manggis yang telah dicuci dipotong kecil-kecil kemudian dioven dengan suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam

untuk menghilangkan kadar air. Kulit Manggis yang telah kering dihancurkan menggunakan mortar & alu sehingga menjadi serbuk seperti pada Gambar 3.6 .Serbuk halus yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu kemudian 50 gr serbuk kulit manggis ditambahkan 105 ml aquades. Diaduk rata selama 10 menit sehingga menghasilkan sebuah larutan yang digunakan sebagai *dye*.



Gambar 3.6 Kulit manggis yang sudah halus

#### **F. Pembuatan Ekstrak dye Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*)**

Untuk membuat larutan *dye* ekstrak buah naga merah dilakukan dengan menyiapkan buah naga merah secukupnya dan diletakkan ke dalam *beaker* gelas dan digerus dengan menggunakan mortar. Setelah itu ekstrak buah naga merah tersebut diambil sebanyak 50 gr dilarutkan dengan campuran *aquades* sebanyak 25 ml, *ethanol* sebanyak 21 ml. Kemudian ekstrak yang telah dicampurkan tersebut disaring dengan kain kassa agar diperoleh larutan *dye*-nya saja seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Larutan *dye* dari ekstrak buah naga

**G. Pembuatan Ekstrak *dye* Daun Bayam (*Amaranthus hybridus L.*)**

Daun bayam dikeringkan dalam oven dengan suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam untuk menghilangkan kadar airnya. Daun bayam yang sudah kering digerus hingga halus seperti pada Gambar 3.8 kemudian serbuknya dimasukkan ke dalam gelas kimia sebanyak 50 gr dan ditambahkan 21 ml ethanol kemudian diaduk selama 10 menit. Kemudian larutan ekstrak disaring dengan menggunakan kertas saring sehingga didapatkan larutan *dye*.



Gambar 3.8 Daun bayam kering yang sudah dihaluskan

Tabel 3.1 Perbedaan kandungan kadar zat dari setiap bahan *dye*

Bahan	Nama Zat	Kadar
Kulit Manggis	Antosianin	593 ppm
Buah Naga Merah	Antosianin	100 ppm
Daun Bayam	Klorofil	6,61 ppm

#### H. Pelapisan *Dye* pada Elektroda Kerja Lapisan TiO<sub>2</sub>

Setelah ekstrak *dye* dari masing-masing bahan selesai dibuat selanjutnya adalah pelapisan *dye* tersebut pada lapisan elektroda kerja TiO<sub>2</sub> yang telah dibuat sebelumnya. Kaca yang sudah dilapisi TiO<sub>2</sub> dimasukkan kedalam larutan *dye* seperti pada Gambar 3.9 dan didiamkan selama 30 menit untuk penyerapan lapisan TiO<sub>2</sub> terhadap larutan *dye*, kemudian didiamkan sampai kering.

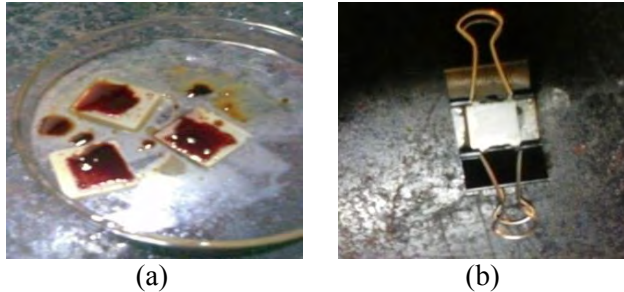


Gambar 3.9 Kaca yang sudah dilapisi larutan TiO<sub>2</sub> direndam dalam larutan *dye*

#### I. Penyusunan Lapisan *Sandwich DSSC*

Setelah selesai dibuat lapisan TiO<sub>2</sub> dan *dye* pada kaca ITO, selanjutnya dilakukan pelapisan larutan elektrolit yang terbuat dari *kalium iodine* dan *iodine* dengan cara ditetaskan sebanyak 2 tetes (setara 0,2 ml) seperti pada Gambar 3.10 (a). Setelah selesai kemudian lapisan tersebut ditutup dengan kaca yang sudah dilapisi oleh

karbon sebagai elektroda pembeding, kemudian dijepit menggunakan klip seperti pada Gambar 3.10 (b).

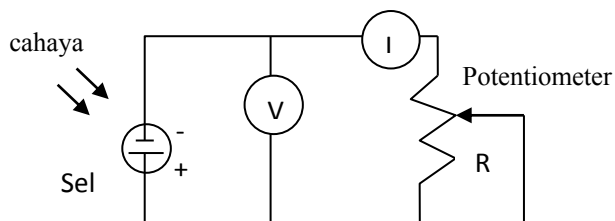


Gambar 3.10 (a) Pelapisan elektrolit pada lapisan elektroda kerja (b) Lapisan *sandwich* DSSC yang sudah jadi

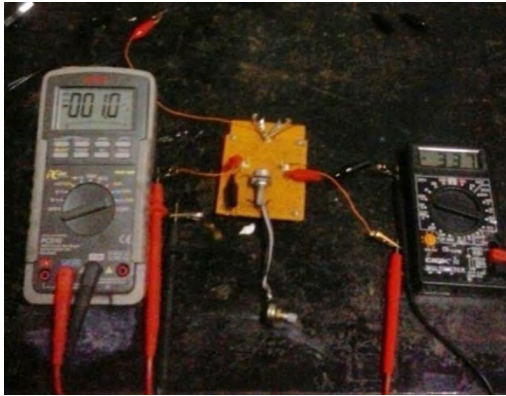
### 3.4 Prosedur Pengujian DSSC

#### 3.4.1 Pengujian Karakteristik I-V pada *Prototype*

Alat untuk menguji karakteristik I-V pada *prototype* adalah berupa rangkaian *potensiostat* dengan skema rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 dan susunan dari alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.11 Skema rangkaian pengujian karakteristk I-V *prototype* DSSC



Gambar 3.12 Susunan alat pengujian karakteristk I-V *prototype* DSSC

Adapun tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Chek terlebih dahulu berapa nilai hambatan yang dimiliki oleh *potentiometer* menggunakan *ampermeter*.
2. Bagi hambatan tersebut menjadi 10 sampai 20 kali putaran *potentiometer* dan berikan tanda pada setiap putaran.
3. Sambungkan alat pada *prototype* yang akan diuji, catat arus dan tegangan yang keluar saat *potentiometer* belum diputar.
4. Putar *potentiometer* dari titik putar satu sampai akhir, dan catat arus dan tegangan yang keluar pada setiap putaran.

### 3.4.2 Pengujian dengan Perbedaan Intensitas Cahaya

Susunan alat untuk pengujian *prototype* DSSC ditunjukkan oleh Gambar 3.13. pertama-tama lampu halogen dihubungkan ke listrik melalui *dimmer*, kemudian ketinggian dari lampu halogen diatur hingga mendapatkan nilai  $P_{\text{cahaya}}$  yang homogen, diukur menggunakan pyranometer, dan mendapatkan temperatur permukaan *prototype* yang homogen, diukur menggunakan

termometer digital. Setelah didapatkan temperatur permukaan yang stabil selanjutnya dicatat temperatur kemudian arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* setiap 20 detik sampai pada temperatur maksimum masing-masing intensitas. Langkah tersebut diulang kembali dengan mengalirkan pendingin berupa air dibawah permukaan *prototype*.

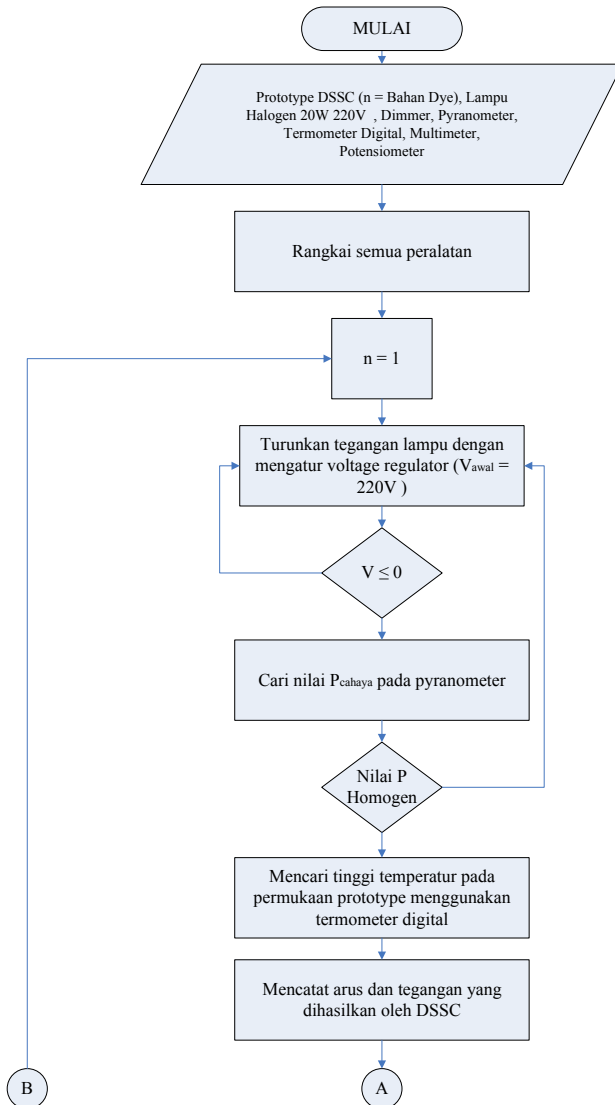


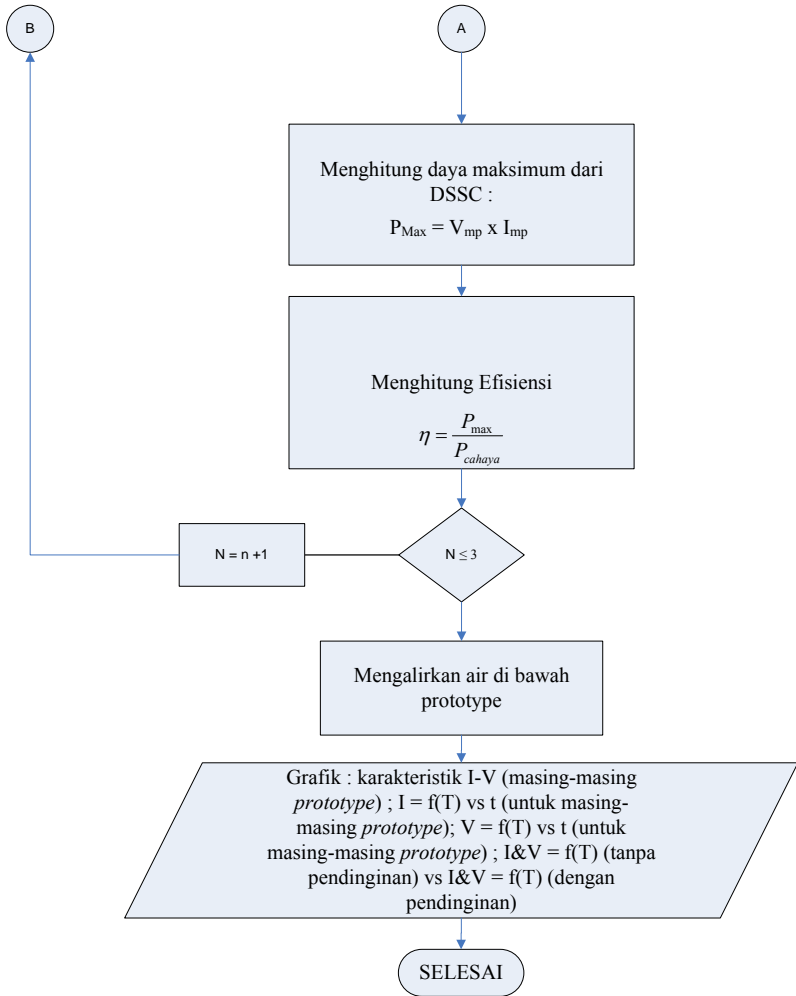
Gambar 3.13 Skema susunan alat uji

### 3.5 Alur Pengambilan Data

Berikut adalah *flowchart* alur pengambilan data percobaan.







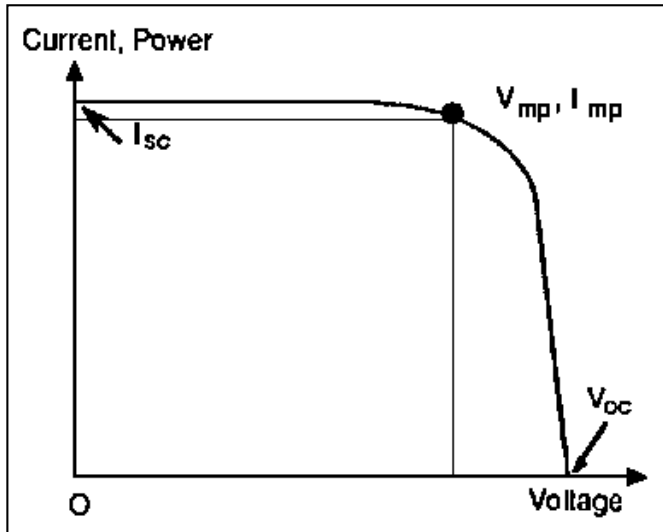
Gambar 3.14 Flowchart percobaan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

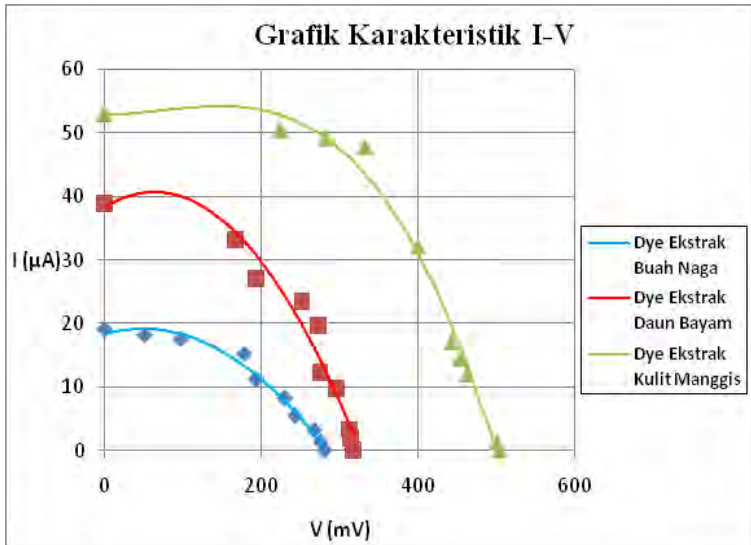
### 4.1 Hasil Uji Karakteristik I-V *Prototype* DSSC

Prototype yang sudah dibuat diuji karakteristik I-V pada *prototype* DSSC menggunakan pancaran sinar matahari tanpa dilakukan variasi apapun baik temperatur atau jarak pencahayaan, pengujian karakteristik ini dilakukan untuk mengetahui apakah *prototype* DSSC yang sudah dibuat bisa bekerja dengan baik, hal tersebut dibuktikan oleh bentuk trendline pada grafik hasil pengujian karakteristik untuk *prototype* DSSC harus menyerupai bentuk trendline pada grafik karakteristik I-V solar cell yang ditunjukkan oleh gambar 4.1, pada kurva tersebut dapat dilihat bahwa tegangan maksimum didapatkan pada keadaan arus minimum dan sebaliknya arus maksimum akan menghasilkan tegangan yang minimum.



Gambar 4.1 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya

Pengujian karakteristik ini dilakukan dengan cara menyambung *prototype* DSSC pada rangkaian *potentiometer*, dengan rangkaian tersebut dapat dilakukan pembebanan arus yang dihasilkan oleh *prototype* untuk melihat tegangan yang dihasilkan dari masing-masing arus yang keluar, dengan begitu bisa didapatkan harga arus maksimum saat kondisi tegangan minimum ( $I_{sc}$ ) dan tegangan maksimum saat kondisi arus minimum ( $V_{oc}$ ), pada pengujian ini tidak dilakukan pengkondisian apapun baik terhadap lingkungan uji ataupun terhadap perlakuan uji kecuali pembebanan arus, dan hanya ditujukan untuk mendapatkan kurva karakteristik I-V dari *prototype* DSSC.



Gambar 4.2 Grafik Karakteristik I-V pada Setiap *Prototype* DSSC

Hasil dari pengujian karakteristik I-V pada setiap *prototype* DSSC dengan bahan *dye* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.2, pada gambar tersebut terlihat bahwa trendline grafik yang dihasilkan oleh *prototype* DSSC dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis, bahan *dye* ekstrak buah naga merah, dan bahan *dye*

ekstrak daun bayam sudah menunjukkan kesesuaian dengan kurva karakteristik I-V pada solar sel. *Prototype* DSSC dengan bahan *dye* ekstrak kulit manggis menghasilkan arus maksimum sebesar 53  $\mu\text{A}$ , tegangan maksimum sebesar 503 mV. *Prototype* DSSC dengan bahan *dye* ekstrak buah naga merah menghasilkan arus maksimum sebesar 19  $\mu\text{A}$ , tegangan maksimum sebesar 280 mV. *Prototype* DSSC dengan bahan *dye* ekstrak daun bayam menghasilkan arus maksimum sebesar 38,8  $\mu\text{A}$ , tegangan maksimum sebesar 317 mV.

Kulit dari buah manggis dan daging dari buah naga merah merupakan tumbuhan yang mengandung *antosianin*. *Antosianin* adalah Zat yang berperan dalam pemberian warna terhadap bunga atau bagian tanaman lain dari mulai merah, biru sampai ke ungu termasuk juga kuning, kadar *antosianin* pada kulit buah manggis adalah 593 ppm lebih besar dari buah naga merah yang hanya 100 ppm. Daun bayam adalah tumbuhan hijau yang mengandung klorofil dalam daunnya dengan jumlah sebesar 6,61 ppm, klorofil adalah pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan. Senyawa ini yang berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan dengan menyerap dan mengubah tenaga cahaya menjadi tenaga kimia. Klorofil adalah pigmen utama dalam fotosintesis, lebih banyak menyerap cahaya biru dan merah, dimana pigmen asesoris seperti karotenoid dan fikobilin dapat meningkatkan penyerapan spektrum hijau biru dan kuning. Senyawa *antosianin* pada kulit manggis dan buah naga merah serta *klorofil* pada daun bayam ternyata mampu menyerap spektrum cahaya tampak (200-800 nm) dan cocok dengan pita energi titania ( $\text{TiO}_2$ ) yang bertindak sebagai semi konduktor.

#### **4.2 Hasil Pengujian dengan Variasi Intensitas Cahaya Tanpa Pendinginan**

Pengujian dilakukan pada ruang gelap supaya cahaya yang diserap untuk dikonversi menjadi energi listrik oleh *prototype*

hanya berasal dari cahaya lampu halogen, cahaya lampu halogen diatur supaya mendapatkan 3 perbedaan intensitas cahaya menggunakan *dimmer*. data diambil setiap 20 detik selama setengah jam setiap intensitas cahaya berupa perubahan temperatur pada permukaan *prototype*, arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *prototype*, Sehingga didapatkan kondisi percobaan sebagai berikut:

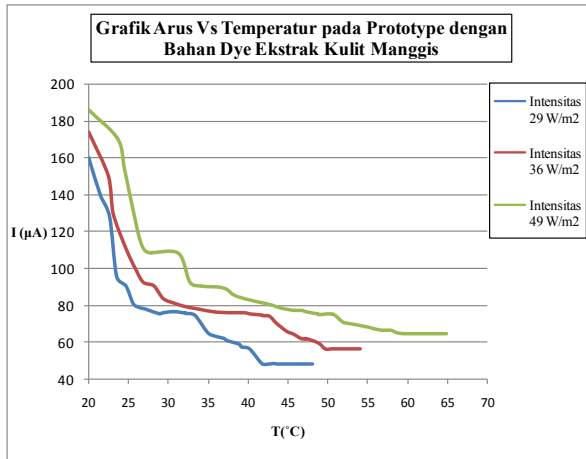
- Suhu ruang : 20°C
- Intensitas cahaya 1 ( $i_1$ ) : 29 W/m<sup>2</sup>
- Intensitas cahaya 2 ( $i_2$ ) : 36 W/m<sup>2</sup>
- Intensitas cahaya 3 ( $i_3$ ) : 49 W/m<sup>2</sup>

Menurut Chen dan Wei [16] temperatur akan mengakibatkan perubahan pada resistansi suatu benda, dimana semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula resistansi benda tersebut, hal ini akan menyebabkan menurunnya besar arus dan tegangan yang dikeluarkan oleh *solar cell* akibat dari resistansi yang semakin besar. Hubungan pengaruh temperatur terhadap besar tegangan dan arus pada solar cell semikonduktor dijelaskan oleh persamaan matematis berikut [15]:

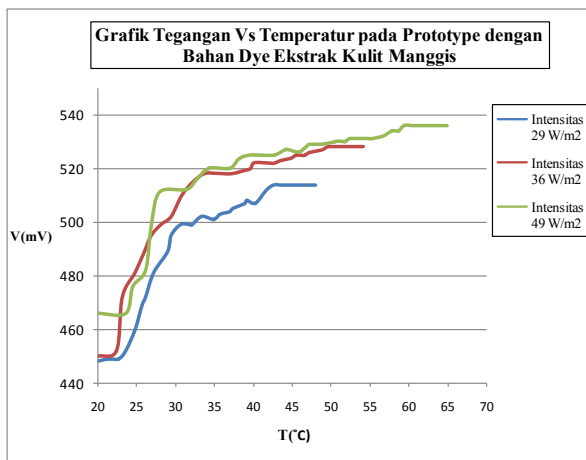
$$I_{oc} = A \cdot \exp\left(-\frac{qE_g}{k \cdot T}\right) \quad (4.1)$$

dimana  $V_{oc}$  adalah tegangan maksimum yang diperoleh saat open circuit,  $I_{oc}$  adalah arus open circuit,  $E_g$  adalah band gap energy dari semikonduktor, dan  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi. menurut persamaan 4.1 semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi hambatan dan akan menurunkan arus dan tegangan yang dihasilkan, dan dari persamaan 4.1 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin rendah arus open circuit yang dihasilkan.

#### 4.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian pada *Prototype* DSSC dengan Bahan *Dye* dari Ekstrak Kulit Manggis



(a)



(b)

Gambar 4.3 Output yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Kulit Manggis dengan Variasi Intensitas Cahaya Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan



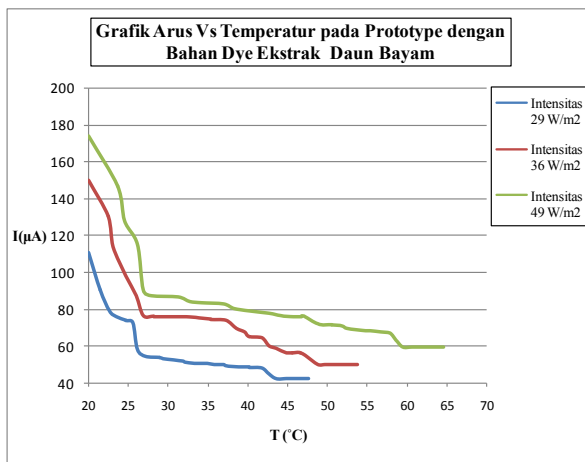
Pada Gambar 4.3 (a) ditampilkan grafik arus yang dihasilkan oleh *prototype* yang menjelaskan bahwa pada setiap intensitas cahaya, arus yang dihasilkan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya temperatur pada permukaan *prototype*. Grafik dari gambar 4.3 (a) juga menjelaskan bahwa arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  lebih besar dari arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  dan lebih besar dari arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$ . Pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  grafik menurun dengan drastis pada kenaikan temperatur awal kemudian terus turun secara fluktuatif, kemudian semakin mendekati temperatur maksimumnya grafik semakin landai dan stabil. Pada intensitas  $36 \text{ W/m}^2$  terlihat grafik juga menurun dengan curam pada awal kenaikan temperatur, kemudian menurun secara fluktuatif dan saat akan mendekati temperatur maksimumnya grafik mulai landai dan stabil. Pada intensitas  $29 \text{ W/m}^2$  grafik cenderung menurun dengan tajam pada awal kenaikan temperatur, dan kemudian terus turun dengan curam sampai akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai landai dan stabil.

Pada Gambar 4.3 (b) ditampilkan grafik dari tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* yang menjelaskan bahwa pada setiap intensitas cahaya, tegangan yang dihasilkan cenderung naik seiring dengan bertambahnya temperatur pada permukaan *prototype*. Grafik pada Gambar 4.3 (b) juga menjelaskan bahwa tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  lebih besar dari tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  dan lebih besar dari tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$ . Pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  grafik terus naik secara fluktuatif sampai saat akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai landai dan stabil. Pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  grafik naik juga secara fluktuatif dan pada saat akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai landai dan stabil. Pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$  grafik terus

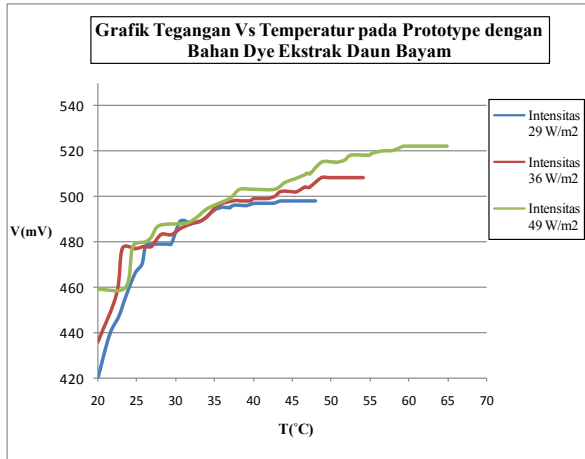
naik dengan fluktuatif dan semakin mendekati temperatur maksimumnya grafik menjadi stabil.

Grafik pada Gambar 4.3 (a) dan 4.3 (b) menjelaskan bahwa kenaikan temperatur akan menyebabkan menurunnya arus yang dikeluarkan oleh *prototype* DSSC dengan bahan dye dari ekstrak kulit manggis dan kenaikan arus ini akan menyebabkan kenaikan tegangan mengikuti karakteristik I-V dari *solar cell* dimana semakin rendah arus maka semakin tinggi tegangan yang dihasilkan. Grafik tersebut juga menjelaskan bahwa besar intensitas cahaya lebih berpengaruh terhadap hasil arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* dibandingkan dengan temperatur, dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa semakin tinggi intensitas cahaya semakin tinggi temperatur permukaan *prototype* dan semakin tinggi arus dan tegangan yang dihasilkan.

#### 4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian pada *Prototype* DSSC dengan Bahan Dye dari Ekstrak Daun Bayam



Gambar 4.4 Arus yang Dihasilkan oleh *prototype* DSSC Daun Bayam dengan Variasi Intensitas Cahaya.



Gambar 4.5 Tegangan yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Daun Bayam dengan Variasi Intensitas Cahaya.

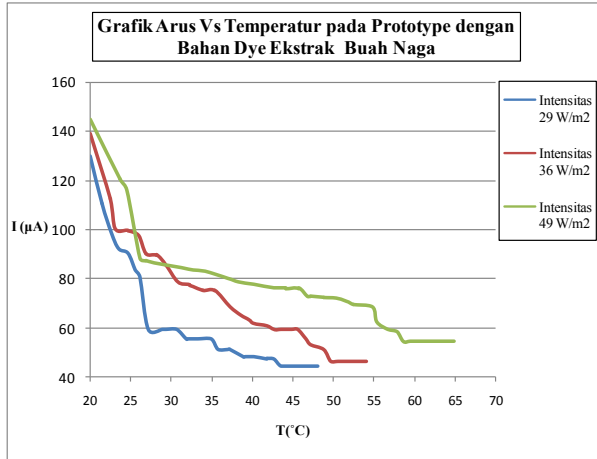
Pada Gambar 4.4 ditampilkan grafik arus yang dihasilkan oleh *prototype* yang menjelaskan bahwa pada setiap intensitas cahaya, arus yang dihasilkan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya temperatur pada permukaan *prototype*. Grafik dari Gambar 4.4 juga menjelaskan bahwa arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  lebih besar dari arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  dan lebih besar dari arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$ . Pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  grafik menurun dengan drastis pada kenaikan temperatur awal kemudian berangsur turun tapi lebih landai dan pada saat akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai stabil. Pada intensitas  $36 \text{ W/m}^2$  terlihat grafik juga menurun dengan curam pada awal kenaikan temperatur, kemudian landai dan stabil pada kenaikan temperatur antara  $35^\circ\text{C}$  sampai  $40^\circ\text{C}$  kemudian selanjutnya grafik terus menurun secara linier dan pada saat akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai stabil. Pada intensitas  $29 \text{ W/m}^2$  grafik cenderung menurun dengan tajam pada awal kenaikan temperatur, kemudian cenderung turun dengan landai pada kenaikan temperatur  $30^\circ\text{C}$  sampai  $40^\circ\text{C}$  dan

selanjutnya terus menurun dengan linier dan pada saat akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai stabil.

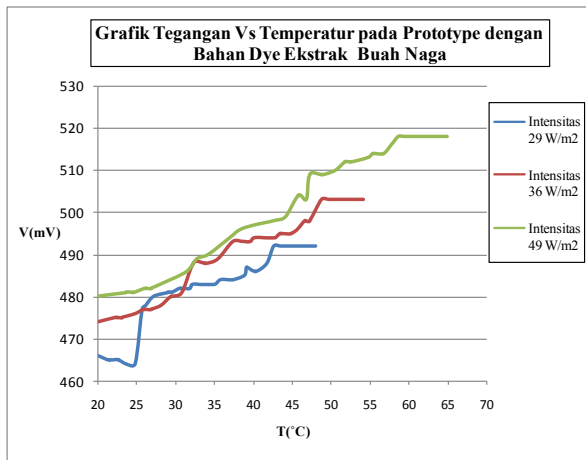
Pada Gambar 4.5 ditampilkan grafik dari tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* yang menjelaskan bahwa pada setiap intensitas cahaya, tegangan yang dihasilkan cenderung naik seiring dengan bertambahnya temperatur pada permukaan *prototype*. Grafik pada Gambar 4.5 juga menjelaskan bahwa tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  lebih besar dari tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  dan lebih besar dari tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$ . Pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  grafik terus naik secara fluktuatif kemudian grafik mulai stabil saat mendekati temperatur maksimum. Pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  grafik naik dengan tajam pada awal kenaikan temperatur kemudian terus naik tapi dengan landai pada kisaran temperatur  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sampai  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  kemudian terus naik dengan linier dan saat mendekati temperatur maksimum grafik mulai stabil. Pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$  grafik terus naik dengan linier pada awal kenaikan temperatur dan kemudian naik dengan landai sampai temperatur maksimum.

Grafik pada Gambar 4.4 dan 4.5 menjelaskan bahwa kenaikan temperatur akan menyebabkan menurunnya arus yang dikeluarkan oleh *prototype* DSSC dengan bahan dye dari ekstrak daun bayam dan kenaikan arus ini akan menyebabkan kenaikan tegangan mengikuti karakteristik I-V dari *solar cell* dimana semakin rendah arus maka semakin tinggi tegangan yang dihasilkan. Grafik tersebut juga menjelaskan bahwa besar intensitas cahaya lebih berpengaruh terhadap hasil arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* dibandingkan dengan temperatur, dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa semakin tinggi intensitas cahaya semakin tinggi temperatur permukaan *prototype* dan semakin tinggi arus dan tegangan yang dihasilkan.

### 4.2.3 Pembahasan Hasil Pengujian pada *Prototype* DSSC dengan Bahan *Dye* dari Ekstrak Buah naga merah



(a)



(b)

Gambar 4.6 Output yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Buah Naga Merah dengan Variasi Intensitas Cahaya Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan

Pada Gambar 4.6 (a) ditampilkan grafik arus yang dihasilkan oleh *prototype* yang menjelaskan bahwa pada setiap intensitas cahaya, arus yang dihasilkan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya temperatur pada permukaan *prototype*. Grafik dari gambar 4.6 (a) juga menjelaskan bahwa arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  lebih besar dari arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  dan lebih besar dari arus yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$ . Pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  grafik menurun dengan drastis pada kenaikan temperatur awal kemudian berangsur turun tapi lebih landai pada kisaran temperatur  $30^\circ\text{C}$  sampai  $45^\circ\text{C}$  dan kemudian terus turun agak curam sampai saat akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai stabil. Pada intensitas  $36 \text{ W/m}^2$  terlihat grafik turun secara linier sampai temperatur akhir. Pada intensitas  $29 \text{ W/m}^2$  grafik cenderung menurun dengan linier pada awal kenaikan temperatur kemudian terus turun dengan landai dan mulai stabil saat mendekati temperatur maksimum.

Pada Gambar 4.6 (b) ditampilkan grafik dari tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* yang menjelaskan bahwa pada setiap intensitas cahaya, tegangan yang dihasilkan cenderung naik seiring dengan bertambahnya temperatur pada permukaan *prototype*. Grafik pada Gambar 4.6(b) juga menjelaskan bahwa tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  lebih besar dari tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  dan lebih besar dari tegangan yang dihasilkan pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$ . Pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  grafik terus naik secara fluktuatif sampai saat akan mendekati temperatur maksimum grafik mulai stabil. Pada intensitas cahaya  $36 \text{ W/m}^2$  grafik naik dengan landai pada awal kenaikan temperatur dan kemudian terus naik dengan fluktuatif dan mulai stabil saat akan mendekati temperatur maksimum. Pada intensitas cahaya  $29 \text{ W/m}^2$  grafik naik dengan landai pada awal kenaikan temperatur kemudian terus naik dengan linier dan sampai ketika mendekati temperatur maksimum grafik mulai stabil.

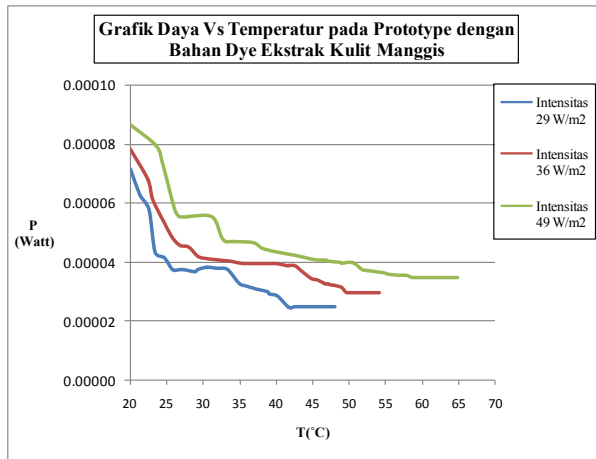
Grafik pada Gambar 4.6 (a) dan 4.6 (b) menjelaskan bahwa kenaikan temperatur akan menyebabkan menurunnya arus yang dikeluarkan oleh *prototype* DSSC dengan bahan dye dari ekstrak kulit manggis dan kenaikan arus ini akan menyebabkan kenaikan tegangan mengikuti karakteristik I-V dari *solar cell* dimana semakin rendah arus maka semakin tinggi tegangan yang dihasilkan. Grafik tersebut juga menjelaskan bahwa besar intensitas cahaya lebih berpengaruh terhadap hasil arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* dibandingkan dengan temperatur, dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa semakin tinggi intensitas cahaya semakin tinggi temperatur permukaan *prototype* dan semakin tinggi arus dan tegangan yang dihasilkan.

#### 4.2.4 Perbandingan Efisiensi Masing-masing *Prototype*

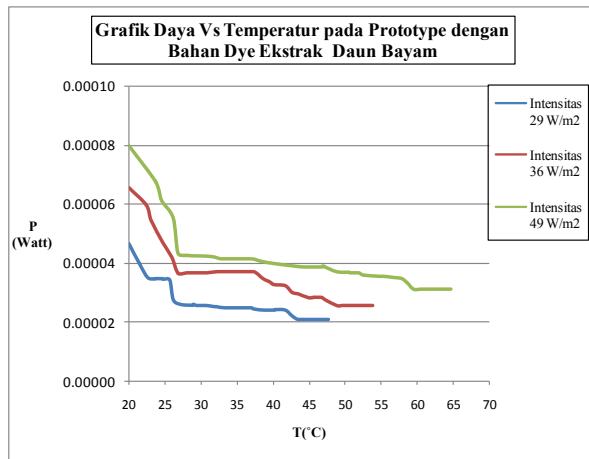
Dari keluaran hasil pengujian pada *prototype* DSSC berupa arus dan tegangan bisa dicari tegangan maksimum yang dihasilkan oleh *prototype*, dengan persamaan:

$$P_{Max} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (4.2)$$

dimana  $V_{mp}$  adalah tegangan maksimum yang dihasilkan, dan  $I_{mp}$  adalah arus maksimum yang dihasilkan oleh *prototype*, cara menentukannya adalah dengan cara melihat hasil grafik I-V seperti pada Gambar 4.10 yang dihasilkan oleh *prototype* kemudian dicari titik I dan V yang memiliki luasan area paling besar, setelah dilakukan perhitungan didapatkan grafik tegangan seperti pada Gambar 4.8, grafik I-V sendiri dibuat pada saat temperatur maksimum dan dibuat dengan menggunakan pembebanan yang cara pengambilan datanya sama dengan pengujian karakteristik I-V pada pengujian awal, untuk perubahan daya pada setiap *prototype* terhadap fungsi temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.7-4.9 .

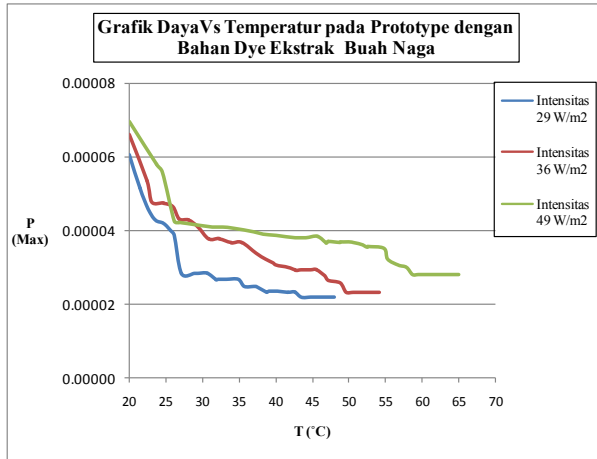


Gambar 4.7 Grafik Daya vs Temperatur yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Ekstrak Kulit Manggis

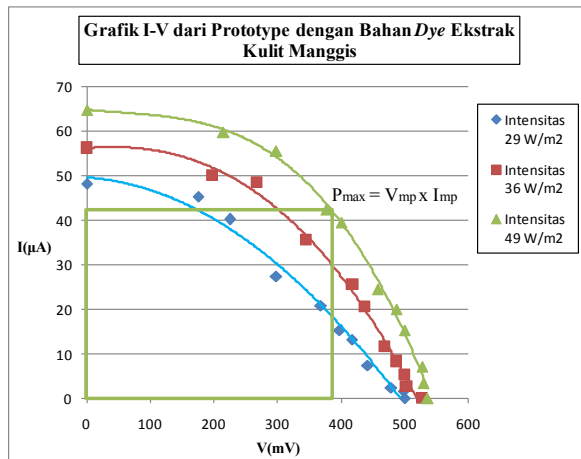


Gambar 4.8 Grafik Daya vs Temperatur yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Ekstrak Daun Bayam

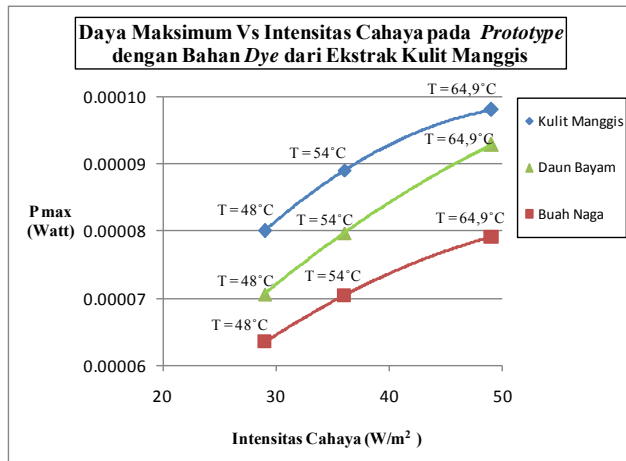




Gambar 4.9 Grafik Daya vs Temperatur yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Ekstrak Buah Naga Merah



Gambar 4.10 Contoh Grafik I-V dari *Prototype* dengan Bahan *Dye* dari Ekstrak Kulit Manggis dengan Perbedaan Intensitas Cahaya



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Daya Maksimum yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC pada Setiap Intensitas Cahaya

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis memiliki nilai daya maksimum yang paling tinggi, kemudian *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak daun bayam, dan *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak buah naga merah, pada setiap *prototype* terlihat bahwa daya maksimum cenderung naik dengan bertambahnya intensitas cahaya, ini disebabkan karena semakin tinggi intensitas cahaya yang masuk lampu maka semakin tinggi daya yang masuk ke *prototype*.

Setelah didapatkan nilai daya maksimum, maka selanjutnya bisa dilakukan perhitungan efisiensi dari masing-masing *prototype* dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{cahaya}}} \quad (4.3)$$

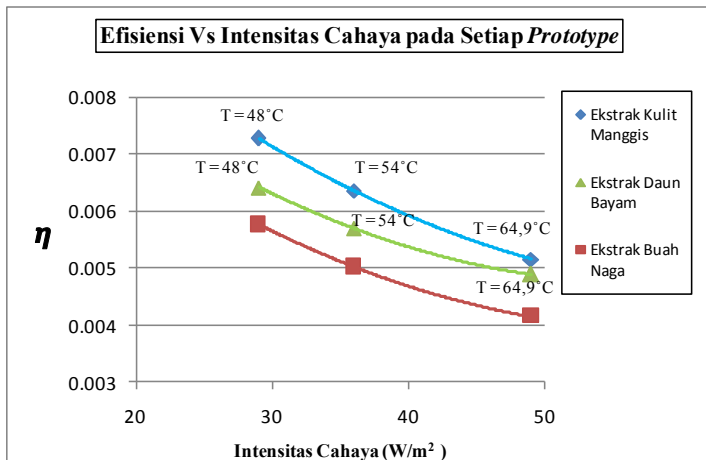
Dimana  $P_{\text{cahaya}}$  didapatkan dari angka pada pembacaan menggunakan *pyranometer* (intensitas cahaya) dikalikan luas permukaan *prototype* uji. Contoh perhitungan pada *prototype*

dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis pada intensitas 29  $\text{W/m}^2$ :

$$P_{\text{cahaya}} = 29 \text{ W/m}^2 \times 0,0004 \text{ m}^2 = 0,00116 \text{ sehingga:}$$

$$\eta = \frac{0,00008}{0,0116} = 0,0098$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti contoh diatas, maka didapatkan perbandingan efisiensi seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Efisiensi Masing-masing *Prototype* DSSC pada Setiap Intensitas Cahaya.

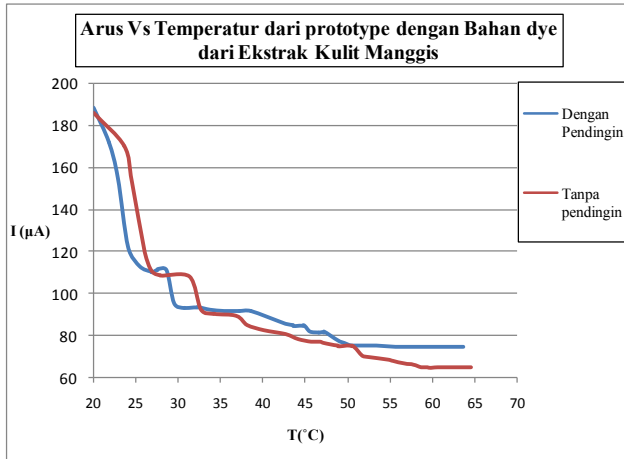
Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa pada setiap *prototype* dengan bahan *dye* yang berbeda semakin tinggi intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu halogen semakin rendah efisiensi yang diperoleh. Seharusnya besar efisiensi dari *prototype* pada setiap intensitas cahaya adalah sama, penurunan efisiensi terjadi karena semakin tinggi intensitas cahaya lampu semakin tinggi pula temperatur yang diberikan, kenaikan temperatur inilah yang menyebabkan menurunnya efisiensi dan dapat dilihat bahwa

*prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis memiliki efisiensi tertinggi pada setiap temperatur dengan efisiensi sebesar 0,73% pada intensitas 29 W/m<sup>2</sup>, 0,64% pada intensitas 36 W/m<sup>2</sup>, dan 0,52% pada intensitas 49 W/m<sup>2</sup> hasil ini sudah lebih rendah dari penelitian sebelumnya oleh Purwanto[12] dengan efisiensi sebesar 0,95%. *Prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak daun bayam memiliki efisiensi tertinggi kedua dengan efisiensi sebesar 0,58% pada temperatur 29 W/m<sup>2</sup>, 0,50% pada intensitas 36 W/m<sup>2</sup> dan 0,42% pada intensitas 49 W/m<sup>2</sup> pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kumara[13] masih belum diketahui performa dari *prototype* DSSC. *Prototype* dengan bahan *dye* ekstrak buah naga merah dengan efisiensi sebesar 0,50 % pada intensitas 29 W/m<sup>2</sup>, 0,44% pada intensitas 36 W/m<sup>2</sup>, dan 0,37% pada intensitas 49 W/m<sup>2</sup> hasil ini sudah lebih baik dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nasukha[14] dengan efisiensi sebesar 0,09%.

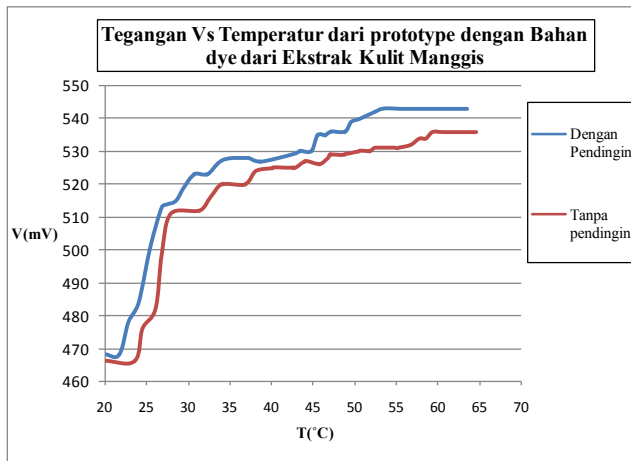
Perbandingan dari kandungan unsur penting yang digunakan sebagai penyerapan cahaya pada kulit manggis, buah naga merah dan daun bayam, klorofil memiliki hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan *antosianin*, karena hanya dengan konsentrasi sebesar 6,6 ppm hasilnya lebih baik dibanding buah naga merah dengan kandungan *antosianin* sebesar 100 ppm, akan tetapi hasil tersebut masih lebih kecil dibandingkan dengan kulit manggis yang memiliki kandungan *antosianin* sebesar 593 ppm.

### **4.3 Hasil Uji dengan Menggunakan Pendinginan dari Bawah *Prototype* DSSC**

Pada pengujian ini dialirkan pendingin berupa air pada permukaan bawah *prototype* pada intensitas cahaya 49 W/m<sup>2</sup>, tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah pendinginan tersebut bisa memperbaiki performa pada *prototype* DSSC yang sudah dibuat, dimana penurunan performa tersebut dipengaruhi oleh temperatur dari pencahayaan.

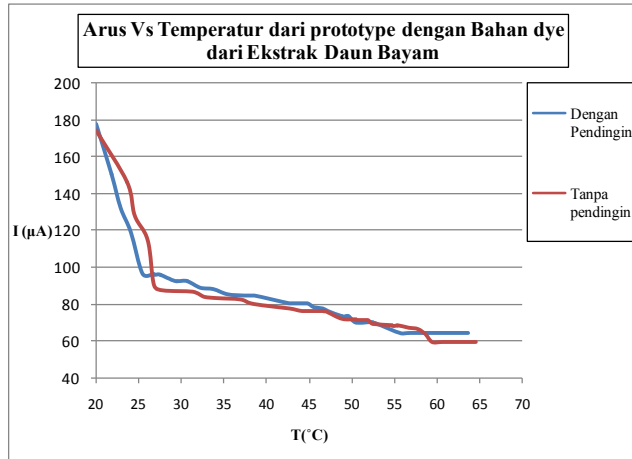


(a)

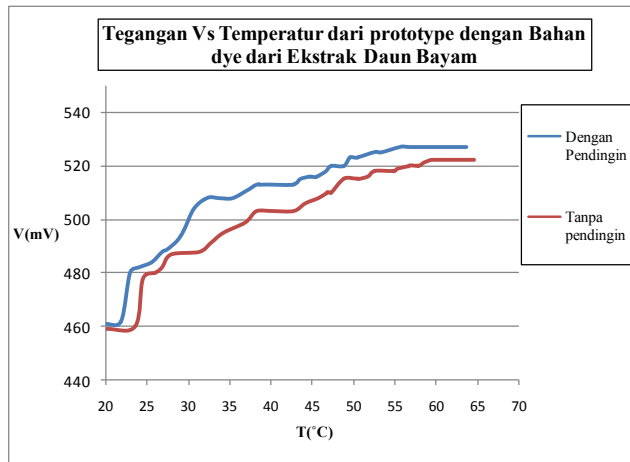


(b)

Gambar 4.13 Output yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Kulit Manggis pada  $49 \text{ W/m}^2$  dengan Pendingin Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan.

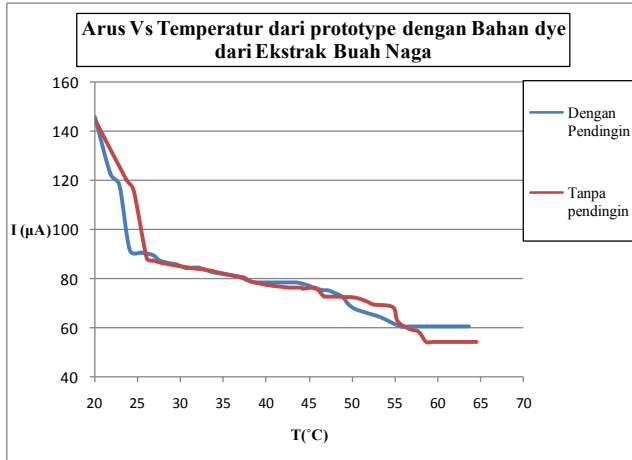


(a)

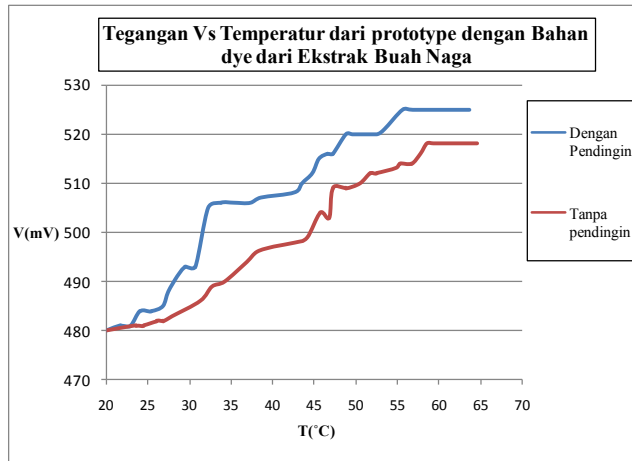


(b)

Gambar 4.14 Output yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Daun Bayam pada  $49 \text{ W/m}^2$  dengan Pendingin Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan



(a)



(b)

Gambar 4.15 Output yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Buah Naga Merah pada  $49 \text{ W/m}^2$  dengan Pendingin Berupa (a) Arus dan (b) Tegangan.

Pada percobaan ini juga dianalisa apakah apakah daya yang dihasilkan oleh pendinginan sebanding dengan daya yang digunakan untuk mendinginkan *prototype*, atau pendinginan yang dilakukan tidak signifikan dengan hasil yang didapatkan, hal ini bisa diamati dari daya total yang dihasilkan oleh sistem dan efisiensi dari keseluruhan sistem.

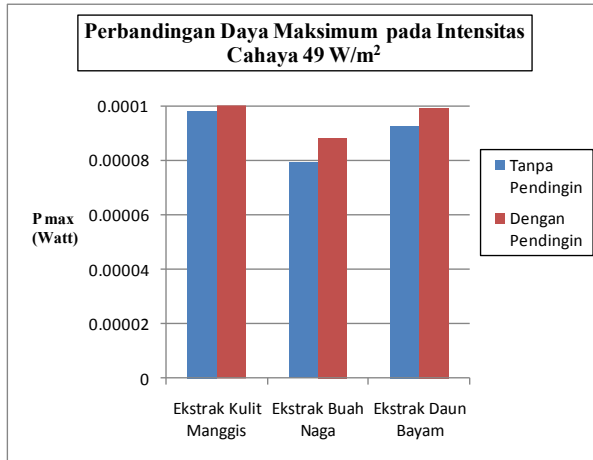
Pada Gambar 4.13 sampai 4.15 dapat dilihat bahwa arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* dengan setiap bahan *dye* yang berbeda memiliki perbedaan meskipun tidak signifikan, dimana arus dan tegangan yang dihasilkan saat didinginkan lebih besar nilainya dibandingkan dengan tanpa pendingin, hal ini disebabkan saat *prototype* dialiri pendingin temperatur dari *prototype* mengalami penurunan sehingga arus dan tegangan yang dihasilkan semakin membaik. Hasil yang didapatkan pada percobaan ini adalah pendinginan berhasil menaikkan arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *prototype* tetapi masih belum diketahui apakah perubahan arus dan tegangan tersebut sebanding dengan usaha yang dilakukan untuk mendinginkan *prototype*, berikutnya akan dilakukan analisa perhitungan untuk mengetahui hal tersebut.

#### **4.3.1 Perbandingan Daya Maksimum dan Efisiensi yang Dihasilkan oleh *Prototype* yang Diuji dengan Pendingin dan Tanpa Pendingin**

Pada Gambar 4.16 bisa dilihat bahwa daya maksimum yang dihasilkan oleh setiap *prototype* saat diuji menggunakan pendingin pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  meningkat dari sebelumnya meskipun tidak signifikan, dimana daya maksimum yang dihasilkan oleh *prototype* DSSC kulit manggis adalah sebesar  $8,667 \times 10^{-5}$  Watt sebelum didinginkan dan  $8,798 \times 10^{-5}$  Watt, daya maksimum yang dihasilkan oleh *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak buah naga merah adalah  $6,96 \times 10^{-5}$  Watt sebelum didinginkan dan  $7,008 \times 10^{-5}$  Watt setelah didinginkan,



daya maksimum yang dihasilkan oleh *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak daun bayam adalah  $7,986 \times 10^{-5}$  Watt sebelum didinginkan dan  $8,205 \times 10^{-5}$  Watt setelah didinginkan. Melihat hasil pendinginan, rata-rata  $P_{\max}$  naik sebesar  $1,3267 \times 10^{-6}$  Watt jika dibandingkan dengan daya yang dibutuhkan pompa sebesar 5 Watt maka perubahan tersebut tidak menguntungkan.

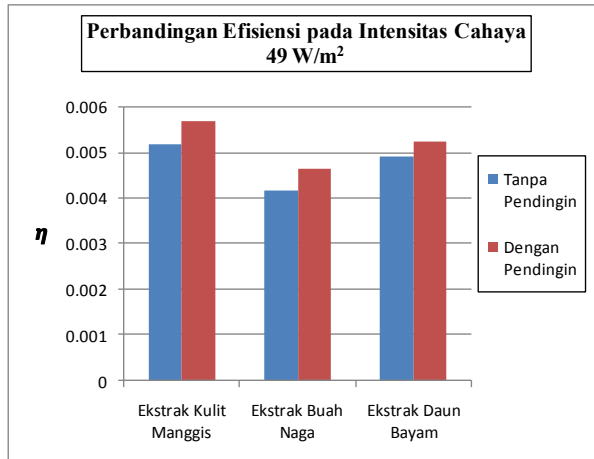


Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Daya Maksimum yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Tanpa Pendinginan dan dengan Pendinginan pada Intensitas  $49 \text{ W/m}^2$

Dengan persamaan 4.2 dan 4.3 dihitung efisiensi untuk hasil dari pengujian pada *prototype* dengan pendinginan dan dibandingkan dengan efisiensi dari *prototype* yang diuji tanpa, sehingga didapatkan grafik pada Gambar 4.15.

Meningkatnya nilai daya maksimum yang dihasilkan oleh *prototype* setelah didinginkan juga mempengaruhi meningkatnya efisiensi yang dimiliki oleh *prototype*, dimana pada intensitas  $49 \text{ W/m}^2$  besar efisiensi *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis adalah 0.52% sebelum didinginkan menjadi 0,56% setelah didinginkan, pada *prototype* dengan bahan *dye* dari

ekstrak buah naga merah sebesar 0,41% sebelum didinginkan menjadi 0,46% setelah didinginkan, pada *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak daun bayam sebesar 0,048% sebelum didinginkan menjadi 0,052% setelah didinginkan.



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Efisiensi yang Dihasilkan oleh *Prototype* DSSC Tanpa Pendinginan dan dengan Pendinginan pada Intensitas 49 W/m<sup>2</sup>

Untuk mengetahui apakah pendinginan yang dilakukan memiliki keuntungan atau justru merugikan maka perlu dihitung P total dari sistem dan efisiensi sistem yang merupakan perbandingan dari *power* yang dihasilkan oleh proses pendinginan dibandingkan dengan *power* yang diperlukan untuk mendinginkan dan *power* input dari cahaya, berikut adalah contoh perhitungan efisiensi dari *power* pada *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis pada intensitas cahaya 29W/m<sup>2</sup>:

- Diketahui:
  - $\Delta P_{\max} = P_{\max} (\text{setelah didinginkan}) - P_{\max} (\text{sebelum didinginkan})$
  - $P_{\max} (\text{setelah didinginkan}) = 0.0000880 \text{ Watt}$
  - $P_{\max} (\text{sebelum didinginkan}) = 0.0000867 \text{ Watt}$

$$\begin{aligned}
 P_{\max} \text{ (sebelum didinginkan)} &= 0.0000867 \text{ Watt} \\
 W_{\text{pump}} &= 5 \text{ Watt} \\
 P_{\text{light}} &= 0,0116 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- *Power* total dari system:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{netto}} &= \Delta P_{\max} - \Delta W_{\text{pump}} \\
 &= (0,0000880 - 0,0000867) - 5 \\
 &= - 4,99 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Efisiensi Sistem

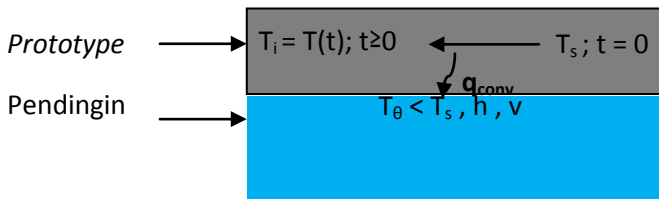
$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{\max} \text{ (setelah didinginkan)}}{P_{\text{light}} + P_{\text{pump}}} \\
 &= \frac{0,0000880}{0,0116 + 5} \\
 &= 1,76 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa *power* total dari sistem bernilai minus yang artinya bahwa *power* yang diberikan untuk mendinginkan merugikan dan tidak sebanding dengan *power* yang dihasilkan, begitu pula jika dilihat efisiensi dari sistem yang hampir 0%, sehingga pendinginan paksa menggunakan pompa seperti pada percobaan ini tidak disarankan.

### 4.3.2 Analisa Perpindahan Panas pada Sistem dengan Pendinginan

Untuk mengetahui fenomena perpindahan panas yang terjadi pada sistem yang diilustrasikan pada Gambar 4.15 dimana perpindahan panas yang dianalisa adalah dari *prototype* menuju cairan pendingin, temperatur dari *prototype* ke fluida pendingin berubah menurut fungsi waktu dan bisa dikatakan berada dalam kondisi *unsteady* sehingga untuk menganalisa perpindahan panas yang terjadi perlu perhitungan menggunakan konsep *transient* melalui pendekatan dengan metode perhitungan LCM (*Lumped Capacitance Methode*). Sistem yang diilustrasikan pada Gambar 4.18 menampilkan perpindahan panas secara konveksi dari

*prototype* ke fluida pendingin, dimana  $T_s$  merupakan temperatur *surface* dari *prototype* pada  $t = 0$  detik, dan  $T_i$  merupakan temperatur *surface* dari *prototype* pada  $t$  tertentu saat mengalami pendinginan dan  $T_\theta$  adalah temperatur dari fluida pendingin, pada sistem ini perpindahan panas secara konduksi melewati *prototype* diabaikan karena ketebalannya hanya 2,5 mm sehingga dianggap sangat tipis.



Gambar 4.18 *Free Body Diagram* Rangkaian Sistem *Prototype* dengan Pendingin

Metode LCM memiliki asumsi bahwa temperatur pada benda solid dianggap sama rata pada suatu waktu tertentu selama proses transien. Sebelum melakukan perhitungan  $q_{\text{conv}}$  ada beberapa tahapan perhitungan yang harus dilakukan, yang pertama adalah menentukan terlebih dahulu *Reynolds number* dari fluida pendingin dengan persamaan:

$$\text{Re} = \frac{\rho \times v \times L}{\mu} \quad 4.4$$

$\text{Re}$  = *Reynolds number*

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  = kecepatan fluida ( $\text{m/s}$ )

$L$  = panjang aliran ( $\text{m}$ )

$\mu$  = viskositas absolute ( $\text{N.s/m}^2$ )

Setelah mendapatkan *Reynolds number* dari fluida pendingin berikutnya adalah menghitung *Nusselt number*, karena dalam hal ini konveksi yang dilakukan adalah konveksi paksa, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Nu} = 0,664 \text{ Re}^{1/2} \times \text{Pr}^{1/3} \quad 4.6$$

$\text{Nu} = \text{Nusselt number}$   
 $\text{Pr} = \text{Prandtl number}$

Kemudian dari *Nusselt number* tersebut bisa dihitung nilai  $h$ , dengan persamaan :

$$h = \frac{\text{Nu} \times k_f}{L} \quad 4.6$$

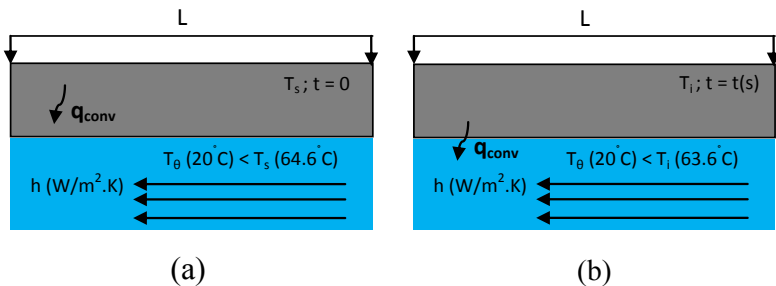
$h = \text{koefisien konveksi (W/m}^2\text{.K)}$   
 $k_f = \text{konduktifitas termal fluida (W/m.K)}$

Langkah berikutnya adalah menentukan waktu untuk temperatur permukaan *prototype* mencapai  $T_i$ , kemudian setelah didapatkan  $t$  baru menghitung  $q_{\text{conv}}$  dengan persamaan berikut:

$$t = \frac{\rho \times V \times c}{h \times A} \times \ln \left( \frac{T_s - T_0}{T_i - T_0} \right) \quad 4.7$$

$q = h \times A \times \left( \int_0^t (T_i - T_0) dt \right)$   
 $V = \text{volume prototype (m}^3\text{)}$   
 $A = \text{luas permukaan prototype (m}^2\text{)}$   
 $c = \text{specific heat (kJ/kg.K)}$

Berikut adalah contoh perhitungan  $q_{\text{conv}}$  pada *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis yang diuji pada intensitas cahaya  $49 \text{ W/m}^2$  dengan dilakukan pendinginan, *free body diagram* dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.16 :



Gambar 4.19 (a) *Free Body Diagram* Sistem saat  $t = 0$ ,  
 (b) *Free Body Diagram* sistem saat  $t = t$  (s)

- Diketahui:

$$T_{\theta} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$L = 0,02 \text{ m}$$

$$Q = 125 \text{ L/H}$$

$$T_s = 64,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_i = 63,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_{\text{glass}} = 0,038 \text{ J/kg.K}$$

$$\mu_f = 1007,4 \times 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$$

$$\nu = 0,087 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr}_f = 6,996$$

$$c_{\text{glass}} = 835 \text{ J/kg.K}$$

$$V = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$k_f = 602,8 \times 10^{-3} \text{ W/m}$$

$$\rho = 999 \text{ kg/m}^3$$

$$L_c = V/A = 1 \times 10^{-6} / 0,0004 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- Mencari *Reynolds Number*

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\rho \times \nu \times L}{\mu} \\ &= \frac{999 \times 0,087 \times 0,02}{1007,4 \times 10^{-3}} \\ &= 1725,49 \text{ (termasuk aliran laminar)} \end{aligned}$$

- Mencari *Nusselt Number* dan Koefisien Konveksi

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= 0,664 \text{ Re}^{1/2} \times \text{Pr}^{1/3} \\ &= 52,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{\text{Nu} \times k_f}{L} \\ &= \frac{52,76 \times 0,6028}{0,02} \\ &= 1590,18 \text{ W/m}^2.\text{K} \end{aligned}$$

- Mencari  $q_{\text{conv}}$  Menggunakan Metode LCM

$$\begin{aligned} t &= \frac{\rho \times V \times c}{h \times A} \times \ln \left( \frac{T_s - T_{\theta}}{T_i - T_{\theta}} \right) \\ &= \frac{999 \times 1 \times 10^{-6} \times 835}{1590,18 \times 0,0004} \times \ln \left( \frac{64,6 - 20}{63,6 - 20} \right) \\ &= 0,029 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_{\text{conv}} &= h \times A \times \left( \int_0^{0,029} (64,6 - 20) dt \right) \\&= 100,244 \times 0,0004 \times ((64,6 - 20) \times 0,029) \\&= 0,05 \text{ Watt}\end{aligned}$$

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari penelitian dengan judul “Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Pencahayaan Terhadap Performa DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) dengan Ekstrak Buah dan Sayur sebagai *Dye Sensitizer*” adalah:

1. Telah berhasil dibuat *prototype* DSSC dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis, ekstrak buah naga merah, dan ekstrak daun bayam, dibuktikan dengan terbentuknya kurva karakteristik I-V dari masing-masing *prototype*.
2. *Prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis memiliki efisiensi sebesar 0,73% pada intensitas 29 W/m<sup>2</sup>, 0,64% pada intensitas 36 W/m<sup>2</sup>, dan 0,52% pada intensitas 49 W/m<sup>2</sup>, kemudian *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak daun bayam memiliki efisiensi sebesar 0,64% pada temperatur 29 W/m<sup>2</sup>, 0,57% pada intensitas 36 W/m<sup>2</sup>, dan 0,49% pada intensitas 49 W/m<sup>2</sup>, dan bahan *dye* ekstrak buah naga merah memiliki efisiensi sebesar 0,58 % pada intensitas 29 W/m<sup>2</sup>, 0,50% pada intensitas 36 W/m<sup>2</sup>, dan 0,42% pada intensitas 49 W/m<sup>2</sup>.
3. *Prototype* dengan bahan *dye* ekstrak kulit manggis yang mengandung antosianin dengan kadar 593 ppm memiliki efisiensi lebih tinggi dari bahan *dye* ekstrak daun bayam dengan kadar klorofil 6,61 ppm dan lebih tinggi dari bahan *dye* ekstrak buah naga merah yang mengandung anatosianin dengan kadar 100 ppm.
4. Pendinginan yang dilakukan pada *prototype* berhasil meningkatkan efisiensi tapi tidak signifikan dari *prototype* pada intensitas 49 W/m<sup>2</sup> besar efisiensi *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak kulit manggis adalah 0.45% sebelum didinginkan menjadi 0,46% setelah didinginkan, pada *prototype* dengan bahan *dye*



dari ekstrak buah naga merah sebesar 0,36% sebelum didinginkan menjadi 0,37% setelah didinginkan, pada *prototype* dengan bahan *dye* dari ekstrak daun bayam sebesar 0,042% sebelum didinginkan menjadi 0,043% setelah didinginkan.

## 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai performa DSSC yang disimpulkan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan keakuratan data yang lebih baik sebaiknya dilakukan penelitian terlebih dahulu tentang *lifetime* dari *prototype* DSSC yang dibuat.
2. Sebaiknya dalam pengujian temperatur digunakan alat berupa *thermostat* supaya didapatkan variasi temperatur yang lebih banyak.
3. Sebaiknya pengujian dilakukan dengan kondisi standar daya input  $1000 \text{ W/m}^2$
4. Untuk mendapatkan hasil yang lebih luas, sebaiknya dilakukan pengujian dengan metode ekstraksi *dye* yang berbeda dari satu bahan *dye* yang ada.

## LAMPIRAN

Tabel L.1 Arus dan Tegangan Hasil Uji Karakteristik I-V pada  
*Prototype*

<b>Kulit Manggis</b>		<b>Buah Naga</b>		<b>Daun Bayam</b>	
<b>V (mV)</b>	<b>I (<math>\mu</math>A)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (<math>\mu</math>A)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (<math>\mu</math>A)</b>
0	53	0	19.1	0	38.8
225	50.4	51	18.3	167	33.2
283	49.2	98	17.5	193	27
332	47.8	178	15.3	252	23.4
399	32.2	193	11.2	273	19.6
442	17.1	230	8.3	275	12.3
452	14.5	242	5.5	296	9.7
462	12	267	3.2	312	3.3
500	1.3	275	1.3	314	2
503	0	280	0	317	0

Tabel L.2 Arus dan Tegangan yang Dihasilkan *Prototype* DSSC dengan Bahan *Dye* Ekstrak Kulit Manggis

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
20	160	448	20	174	450	20	186	466	20	188	468
21.4	140	449	22.4	150	452	23.6	170	466	21.8	172	468
22.6	128	449	23.1	130	472	24.5	153	476	22.9	155	478
23.5	95.8	452	24.7	110.6	481	26.1	120	482	24.1	122	484
24.7	90.5	460	25.9	98.6	489	26.8	111	499	25.5	113	501
25.6	80.8	469	26.8	92.3	495	27.9	108.5	511	26.8	110.5	513
26.1	78.9	472	28.1	90.5	499	31.3	108	512	27.5	111.5	514
27.1	77.6	481	29.4	83.6	502	32.7	92.5	516	28.6	111	515
28.9	75.4	489	30.8	80.8	510	34.2	90.3	520	29.5	95.5	519
29.4	75.8	495	32.3	78.9	515	36.9	89.5	520	30.7	93.3	523
30.6	76.4	499	33.8	77.6	518	38.2	85.3	524	32.3	93.5	523
31.8	76.1	499	35.4	76.4	518	40.1	82.8	525	33.8	92.4	527

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
32.1	75.7	499	37.3	76.1	518	42.7	80.6	525	35.4	91.7	528
33.3	74.5	502	38.6	75.8	519	44.1	78.5	527	37.3	91.6	528
34.9	65.3	501	39.6	75.7	520	45.7	77.2	526	38.6	91.6	527
35.7	63.5	503	40.1	75.4	522	46.8	77.2	528	42.7	85.7	529
36.9	61.8	504	41.7	74.5	522	47.2	76.5	529	43.5	84.8	530
37.3	60.9	505	42.7	74.2	522	48.8	75.2	529	44.8	84.8	530
38.8	59.2	507	43.5	70.6	523	50.5	75.2	530	45.6	82.2	535
39.1	57.5	508	44.8	65.7	524	51.8	70.8	530	46.6	81.8	535
40.2	56.3	507	45.6	64.5	525	52.5	70.1	531	47.2	81.8	536
41.7	48.5	512	46.6	62.1	525	54.8	68.7	531	48.8	77.6	536
42.6	48.5	514	47.2	61.8	526	55.3	67.8	531	49.6	76.5	539
43.5	48.5	514	48.8	59.6	527	56.7	66.8	532	50.5	75.5	540
44.8	48.3	514	49.6	56.3	528	57.8	66.5	534	52.5	75.5	542
45.6	48.2	514	50.5	56.3	528	58.6	65.3	534	53.4	75.5	542

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
46.6	48.2	514	51.8	56.3	528	59.4	64.8	536	55.6	74.7	543
47.1	48.2	514	52.5	56.3	528	60.6	64.8	536	56.8	74.6	543
47.5	48.2	514	53.4	56.3	528	62.6	64.8	536	61.4	73.8	543
47.6	48.2	514	53.8	56.3	528	64.6	64.8	536	63.6	73.8	543

Tabel L.3 Arus dan Tegangan yang Dihasilkan *Prototype* DSSC dengan Bahan *Dye* Ekstrak Buah naga

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
20	130	466	20	139	474	20	145	480	20	146	480
21.4	110.6	465	22.4	112.5	475	23.6	120.6	481	21.8	122.8	481
22.6	98.6	465	23.1	100.4	475	24.5	115.8	481	22.9	118	481
23.5	92.3	464	24.7	99.7	476	26.1	88.2	482	24.1	91.4	484
24.7	90.5	464	25.9	97.6	477	26.8	87.3	482	25.5	90.5	484
25.6	83.6	477	26.8	90.4	477	27.9	86.5	483	26.8	89.7	485
26.1	80.8	478	28.1	89.7	478	31.3	84.3	486	27.5	87.5	488
27.1	59.2	480	29.4	85.6	480	32.7	83.6	489	28.6	86.3	491
28.9	59.2	481	30.8	78.5	481	34.2	82.9	490	29.5	85.6	493
29.4	59.2	481	32.3	77.4	488	36.9	80.4	494	30.7	84.5	493
30.6	59.2	482	33.8	75.3	488	38.2	78.8	496	32.3	84.5	505
31.8	55.4	482	35.4	75.2	489	40.1	77.6	497	33.8	82.6	506
32.1	55.4	483	37.3	68.6	493	42.7	76.4	498	35.4	81.7	506

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
33.3	55.4	483	38.6	65.3	493	44.1	76.1	499	37.3	80.3	506
34.9	55.4	483	39.6	63.5	493	45.7	76.1	504	38.6	78.5	507
35.7	51.3	484	40.1	61.8	494	46.8	72.9	503	42.7	78.5	508
36.9	51.3	484	41.7	60.9	494	47.2	72.8	509	43.5	78.5	510
37.3	51.3	484	42.7	59.2	494	48.8	72.5	509	44.8	77.4	512
38.8	48.2	485	43.5	59.2	495	50.5	72.2	510	45.6	76.4	515
39.1	48.2	487	44.8	59.2	495	51.8	70.3	512	46.6	75.2	516
40.2	48.2	486	45.6	59.2	496	52.5	69.5	512	47.2	75.2	516
41.7	47.6	488	46.6	55.4	498	54.8	68.4	513	48.8	72.6	520
42.6	47.3	492	47.2	55.4	498	55.3	62.5	514	49.6	69.6	520
43.5	44.7	492	48.8	51.2	503	56.7	59.5	514	50.5	67.5	520
44.8	44.7	492	49.6	46.5	503	57.8	58.3	516	52.5	65.3	520
45.6	44.7	492	50.5	46.5	503	58.6	54.4	518	53.4	64.1	521
46.6	44.7	492	51.8	46.5	503	59.4	54.4	518	55.6	60.4	525

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
47.1	44.7	492	52.5	46.5	503	60.6	54.4	518	56.8	60.4	525
47.5	44.7	492	53.4	46.5	503	62.6	54.4	518	61.4	60.4	525
47.6	44.7	492	53.8	46.5	503	64.6	54.4	518	63.6	60.4	525



Tabel L.4 Arus dan Tegangan yang Dihasilkan *Prototype* DSSC dengan Bahan *Dye* Ekstrak Daun Bayam

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
20	110.6	420	20	150	436	20	174	459	20	178	461
21.4	90.5	439	22.4	130	457	23.6	146.4	460	21.8	150.4	462
22.6	78.8	447	23.1	114	477	24.5	128	478	22.9	132	480
23.5	76.1	456	24.7	98.3	477	26.1	115	480	24.1	119	482
24.7	74	466	25.9	87.2	478	26.8	90.2	482	25.5	96.3	484
25.6	72.9	470	26.8	76.4	478	27.9	87.3	487	26.8	96.1	488
26.1	57.9	478	28.1	76.1	483	31.3	86.5	488	27.5	96.1	489
27.1	54.4	479	29.4	76.1	483	32.7	84.3	491	28.6	93.6	492
28.9	53.8	479	30.8	75.8	486	34.2	83.6	495	29.5	92.7	496
29.4	53.3	479	32.3	75.7	488	36.9	82.9	499	30.7	92.7	504
30.6	52.2	489	33.8	75.4	490	38.2	80.4	503	32.3	89.2	508
31.8	51.7	488	35.4	74.5	496	40.1	78.8	503	33.8	88.4	508
32.1	51.3	488	37.3	74	498	42.7	77.6	503	35.4	85.4	508

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
33.3	50.8	489	38.6	69.6	498	44.1	76.4	506	37.3	84.7	511
34.9	50.4	494	39.6	67.5	498	45.7	76.1	508	38.6	84.4	513
35.7	50.1	495	40.1	65.2	499	46.8	76.1	510	42.7	80.7	513
36.9	49.9	495	41.7	64.4	499	47.2	75.8	510	43.5	80.7	515
37.3	49	496	42.7	60.1	500	48.8	71.8	515	44.8	80.3	516
38.8	48.7	496	43.5	58.6	502	50.5	71.5	515	45.6	78.6	516
39.1	48.7	496	44.8	56.4	502	51.8	71.1	516	46.6	77.5	518
40.2	48.5	497	45.6	56.3	502	52.5	69.4	518	47.2	76.4	520
41.7	48.2	497	46.6	56.3	504	54.8	68.3	518	48.8	73.5	520
42.6	44.6	497	47.2	54.7	504	55.3	68.3	519	49.6	73.5	523
43.5	42.2	498	48.8	50.2	508	56.7	67.5	520	50.5	70.2	523
44.8	42.2	498	49.6	50.2	508	57.8	66.7	520	52.5	70.2	525
45.6	42.2	498	50.5	50.2	508	58.6	63.5	521	53.4	68.4	525
46.6	42.2	498	51.8	50.2	508	59.4	59.6	522	55.6	64.3	527

29 W/m <sup>2</sup>			36 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup>			49 W/m <sup>2</sup> (Dengan Pendingin)		
T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)	T (°C)	I (μA)	V (mV)
47.1	42.2	498	52.5	50.2	508	60.6	59.6	522	56.8	64.3	527
47.5	42.2	498	53.4	50.2	508	62.6	59.6	522	61.4	64.3	527
47.6	42.2	498	53.8	50.2	508	64.6	59.6	522	63.6	64.3	527

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Greg, P.S. 2002. "Optoelectronics of Solar Cells". Spie Press
- [2] Sastrawan, R. 2006. "Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells". Disertasi. University of Freiburg
- [3] Anggraini, L. 2009. "Pembuatan Dye Sensitized Solar-Cell dengan Memanfaatkan Sensitizer Ekstrak Kol Merah". Jurusan kimia Universitas Diponegoro. Semarang
- [4] <http://users.cecs.anu.edu.au/~Andres.Cuevas/Sun/help/PVguide.html> (diakses 14 Desember 2013).
- [5] Vos, D.A. 1983. "The Fill Factor of Solar Cell From a Mathematical Point of View". *Solar Cell* **8**, Hal. 283-296
- [6] Jena, A., Mohanty, P.S., Pragyensh, K., Johns, N., Vivekanand, G.L., Das, J.H., K.N., Mallick, S., dan Bhargava, S. 2012. "Dye Sensitized Solar Cells: A Review". *Jurnal of Trans. Ind. Ceram. Soc.* **71**, Hal. 1-16. ISSN 2165-5456
- [7] Rahman, H. 2013. "Pengaruh Pemberian *Space* (Bantalan) untuk Mendapatkan Kestabilan Arus dan Tegangan Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana L.*) sebagai Dye Sensitizer". Tugas Akhir. Intitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [8] Sirimanne, P.M., Senevirathna, M.K.I., Premalal, E.V.A., Pitigala, P.K.D.D.P., sivakumar, V., dan Tennakone, K. 2006. "Utilization of Natural Pigment Extracted from Pormegranate Fruits as Sentizer in Solid-State Cells". *Jurnal Photochemistry and Photobiology* **177**, Hal. 324-327
- [9] Maddu, A.M., Zuhri, dan Irmansyah, 2007. "Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah sebagai Fotosentizer pada Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal Tersentisasi Dye". Departemen Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor. Bogor
- [10] <http://stacks.iop.org/ANSN/4/015004> (Diakses tanggal 23 Desember 2013).

- [11] Howatt, G. dan Breckenridge, R. 1947. "Fabrication of Thin Ceramic Sheets for Capacitors". J. Brownlow, J. Am. Ceram. Soc. **30**, Hal. 237
- [12] Purwanto, R. 2013. "Variasi Kecepatan Putar dan Waktu Pemutaran *Spin Coating* dalam Pelapisan Tio<sub>2</sub> untuk Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Buah Manggis (*Garciniamangostana L.*) sebagai Dye Sensitizer". Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [13] Kumara, M.S.W. 2012. "Studi Awal Fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (*Amaranthus Hybridus L.*) sebagai *Dye Sensitizer* dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya pada DSSC". Jurnal Ilmiah. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [14] Nasukhah, A.T. 2013. "Fabrikasi dan Karakterisasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daging Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrrhizus*) sebagai *Dye Sensitizer*". Thesis. Insititut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [15] Singh, P. dan Ravindra, N.M. 2012. "Temperature Dependence of Solar Cell Performace - An Analysis". Jurnal of Solar Energy Material **101**, Hal. 36-45
- [16] Ting, C.C. dan Chao, W.S. 2010. "Measuring Temperature Dependence of Photoelectric Conversion Efficiency with *Dye-Sensitized Solar Cells*". Jurnal of Measurement **43**, Hal. 1623–1627

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 22 Agustus 1991 merupakan anak terakhir dari empat bersaudara pasangan Hamzawi dan Sri Widayati. Penulis pernah mengenyam pendidikan di TK Kartini Sedayulawas, MIM 01 Sedayulawas, kemudian penulis melanjutkan kehidupan masa remajanya di pondok pesantren Al-Ishlah Sendang Agung, dan bersekolah di SMPM 12 Sendang Agung, MA Al-Ishlah Sendang Agung. Penulis

diterima di jurusan Teknik Mesin ITS pada tahun 2009 melalui jalur Penerima Beasiswa Santri Berprestasi (PBSB) Departemen Agama RI dan terdaftar dengan NRP 2109100702. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjabat sebagai staff PSDM BEM FTI ITS, staff PSDM CSS MoRA ITS, dan Sekretaris Jendral BEM FTI ITS. Penulis pernah mendapatkan pengalaman kerja praktek di PT. Ispatindo dan pabrik gula Modjopanggoong. Dalam proses pembelajaran sebagai mahasiswa, penulis mengambil pernah aktif sebagai asisten praktikum dan menjadi warga di Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas. Segala hal mengenai tugas akhir ini baik kritik saran ataupun pertanyaan bisa didiskusikan dengan penulis melalui e-mail [k.zadittaqwa@gmail.com](mailto:k.zadittaqwa@gmail.com).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*