

**PENGARUH WAKTU PERENDAMAN NANOKOMPOSIT MgO-
SnO₂ PADA LARUTAN EKSTRAK DAUN JATI DAN BUAH
MANGSI TERHADAP EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*
(DSSC)**

SKRIPSI

Oleh:

MUKARROMAH

NIM. 12640038



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**PENGARUH WAKTU PERENDAMAN NANOKOMPOSIT MgO-SnO₂ PADA
LARUTAN EKSTRAK DAUN JATI DAN BUAH MANGSI TERHADAP
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**MUKARROMAH
NIM. 12640038**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

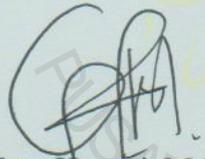
PENGARUH WAKTU PERENDAMAN NANOKOMPOSIT MgO-SnO₂ PADA
LARUTAN EKSTRAK DAUN JATI DAN BUAH MANGSI TERHADAP
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

SKRIPSI

Oleh:
MUKARROMAH
NIM. 12640038

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Pada Tanggal: 06 Juni 2016

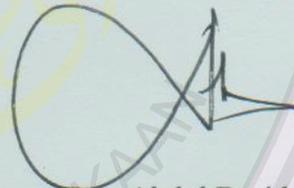
Pembimbing I,



Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009

Pembimbing II,



Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009

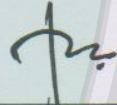
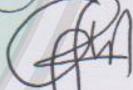
HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH WAKTU PERENDAMAN NANOKOMPOSIT MgO-SnO₂ PADA
LARUTAN EKSTRAK DAUN JATI DAN BUAH MANGSI TERHADAP
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

SKRIPSI

Oleh:
MUKARROMAH
NIM. 12640038

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi Dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: Juni 2016

Penguji Utama	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	: <u>Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika


Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mukarromah
NIM : 12640038
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Waktu Perendaman Nanokomposit MgO-SnO₂ pada Larutan Ekstrak Daun Jati dan Buah Mangsi Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 21 Juni 2016
Yang Membuat Pernyataan,



Mukarromah
NIM. 12640038

MOTTO

إِنْ أَحْسَنْتُمْ أَحْسَنْتُمْ لِأَنْفُسِكُمْ وَإِنْ أَسَأْتُمْ فَلَهَا

“Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik untuk dirimu sendiri. Dan jika kamu berbuat jahat, maka kerugian kejahatan itu untuk dirimu sendiri”.

(Q.S. Al-Isra' : 7)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim...

*Alhamdulillah 'ala kulli hal wa ni'matin, Terimakasih atas segala nikmat-Mu ya Allah
Telah mengantarkanku pada titik ini, dimana aku tak mampu lagi berucap selain
"TERIMAKASIH" kepada mereka yang aku sayangi...*

Kedua orang tuaku

Bapak Mundari dan Ibu Mahmudah

*Mereka yang telah menjadi guru kehidupanku
Mereka yang menyayangiku tanpa jeda dan selalu menyebut namaku dalam do'a
Terimakasih telah mengajarkanku tersenyum saat hati menangis
Dan bertahan saat hati tertekan*

Saudari-saudariku

Munawaroh dan Masnunah

*Terimakasih atas segala dukungan, motivasi dan do'anya
Semoga Allah menjadikan kita anak yang sholihah dan menjadi kebanggaan
kedua orang tua*

Dosen-dosen

*Terimakasih untuk dosen-dosen Jurusan Fisika, khususnya untuk Ibu Erna
Hastuti, M.Si yang telah memberikan ilmu dan waktu untuk membimbingku
Semoga ilmu yang telah ibu ajarkan dapat bermanfaat dan menuntunku menjadi
insan yang lebih baik*

Sahabat-sahabatku

*Vera, Silfi, Zizah, Wulan, Lilis, Zila, Nita, Emil, Ali, Naufal, Mufidun, dan Baqi
Setiap detik kebersamaan kita akan menjadi kenangan yang selalu saja tidak akan
bosan untuk diceritakan kembali. Mengisyaratkan, betapa kita pelan-pelan
menjadi tua dalam bilangan dan kenangan
Terimakasih tidak membiarkanku memeluk kesepian*

KATA PENGANTAR

Assalmu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah *rabbil'alam*, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rosulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan mujahidin yang telah mengajarkan nikmatnya Iman dan Islam. Atas izin dan Ridho Allah penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Waktu Perendaman Nanokomposit MgO-SnO₂ pada Larutan Ekstrak Daun Jati dan Buah Mangsi Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)”, yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan harapan *jazakumullah al-khair* kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang selalu memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang serta selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak

kesabaran, waktu dan ilmu dalam membimbing penulis agar skripsi ini tersusun dengan baik dan benar.

4. Dr. Abdul Basid, M.Si selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains, al-Qur'an dan Hadits.
5. Segenap Dosen, Laboran, dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan penerangan.
6. Kedua orang tua, dan keluarga yang selalu mendo'akan serta memberi dukungan yang luar biasa.
7. Teman-teman fisika angkatan 2012 yang selalu menemani dan memberikan banyak motivasi yang berharga.
8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi penyempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap semoga penulisan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 06 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.4 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Matahari dalam Al-Qur'an	9
2.2 Sel Surya	16
2.3 Performansi Sel Surya	22
2.4 DSSC	24
2.4.1 Definisi Umum DSSC	24
2.4.2 Prinsip Kerja DSSC	26
2.2.3 Material DSSC	29
2.5 Daun Jati	41
2.6 Buah Mangsi	44
2.7 Spektrofotometer UV-Vis	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	48
3.1 Jenis Penelitian	48
3.2 Waktu dan Tempat penelitian	48
3.3 Alat Penelitian	48
3.4 Bahan Penelitian	49
3.5 Prosedur Penelitian	50
3.6 Teknik Pengambilan Data	53
3.6.1 Karakterisasi Absorbansi Larutan <i>Dye</i>	53
3.6.2 Pengujian Efisiensi DSSC	54
3.7 Diagram Alir Penelitian	55

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	56
4.1 Data Hasil Penelitian.....	56
4.1.1 Preparasi Sampel.....	56
4.1.2 Pengujian Absorbansi Lapisan DSSC.....	59
4.1.3 Pengujian Performansi DSSC.....	61
4.2 Pembahasan	65
4.3 DSSC dalam Pandangan Islam	72
BAB V PENUTUP	76
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Spektrum Cahaya Matahari	16
Gambar 2.2	Struktur Sel Surya Silikon p-n <i>Junction</i>	20
Gambar 2.3	Skema Kerja Sel Surya Silikon	21
Gambar 2.4	Karakteristik Kurva I-V Pada Sel surya.....	23
Gambar 2.5	Skema struktur <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>	25
Gambar 2.6	Prinsip Kerja DSSC	28
Gambar 2.7	Struktur Kristal MgO	32
Gambar 2.8	Struktur Kristal SnO ₂	33
Gambar 2.9	Struktur Dasar Benzopiran	38
Gambar 2.10	Struktur Kation Flavilium	39
Gambar 2.11	Beberapa Jenis Struktur Antosianin.....	40
Gambar 2.12	Daun Jati.....	43
Gambar 2.13	Buah Mangsi.....	45
Gambar 2.14	Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis.....	46
Gambar 3.1	Pelapisan <i>Scotch Tape</i> pada Kaca LCD.....	50
Gambar 3.2	Pembuatan <i>Prototipe</i> DSSC	52
Gambar 3.3	Rangkaian Uji DSSC	53
Gambar 4.1	Grafik Hasil Uji UV-Vis Lapisan Semikonduktor MgO-SnO ₂ Menggunakan <i>Dye Sensitizer</i> Daun Jati dan Buah Mangsi	60
Gambar 4.2	Karakteristik I-V DSSC Menggunakan <i>Dye</i> dari Daun Jati dan Penyinaran dengan Lampu Halogen	62
Gambar 4.3	Karakteristik I-V DSSC Menggunakan <i>Dye</i> dari Buah Mangsi dan Penyinaran dengan Lampu Halogen	63
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Waktu Perendaman dengan Efisiensi.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel Pengujian UV-Vis	53
Tabel 3.2	Tabel Pengujian Efisiensi DSSC	54
Tabel 4.1	Absorbansi Maksimum Lapisan Semikonduktor MgO-SnO ₂ dengan Variasi <i>Dye Sensitizer</i>	61
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan DSSC	62
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Performansi DSSC dengan Sumber Cahaya dari Lampu Halogen	64



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis

Lampiran 2. Data Hasil Uji Listrik DSSC

Lampiran 3. Gambar Penelitian



ABSTRAK

Mukarromah. 2016. **Pengaruh Waktu Perendaman Nanokomposit MgO-SnO₂ pada Larutan Ekstrak Daun Jati dan Buah Mangsi terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Kata Kunci : DSSC, Semikonduktor MgO-SnO₂, Daun jati, Buah mangsi

DSSC merupakan sel surya organik yang berpotensi untuk menggantikan energi fosil sebagai sumber energi utama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat optis dan listrik dari DSSC berbahan MgO-SnO₂ dengan ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer*. Elektroda kerja DSSC dibuat dari komposit semikonduktor MgO-SnO₂ yang dilapiskan dengan metode *doctor blade* pada kaca LCD. Sedangkan elektroda lawan dibuat dari karbon pensil 2B. Karakterisasi yang dilakukan meliputi uji absorbansi lapisan MgO-SnO₂ yang telah direndam dengan *dye* serta uji listrik menggunakan lampu halogen dan sinar matahari. Hasil pengujian absorpsi menunjukkan bahwa lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ yang direndam menggunakan *dye* daun jati mempunyai absorbansi maksimum 4,895 a.u pada panjang gelombang 570 nm, sedangkan perendaman menggunakan *dye* buah mangsi mempunyai absorbansi maksimum 3,468 a.u pada panjang gelombang 350. Berdasarkan pengujian sifat listrik, diketahui bahwa efisiensi DSSC dengan perendaman *dye* buah mangsi selama 6 jam, yaitu $1,49 \times 10^{-04} \%$. sedangkan DSSC yang direndam dengan *dye* daun jati selama 6 jam mempunyai efisiensi sebesar $4,234 \times 10^{-05} \%$.

ABSTRACT

Mukarromah. 2016. **The Influence of Soaking Time of MgO-SnO₂ Nanocomposite on Teak Leaves and Mangsi Fruit (*Phyllanthus Reticulatus Poir*) Extract Solution toward Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Efficiency.** Minithesis. Department of Physics. Faculty of Science and Technology. Islamic University of Maulana Malik Ibrahim, Malang. Advisors: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Keywords : DSSC, MgO-SnO₂ Semiconductors, Teak Leaves, Mangsi Fruit (*Phyllanthus Reticulatus Poir*)

DSSC is organic solar cell that have the potential to replace fossil energy as the main energy source. This research aims to reveal optical and electrical characteristics of DSSC made from MgO-SnO₂ with teak leaves and mangsi Fruit (*Phyllanthus Reticulatus Poir*) as *dye sensitizer*. The working electrode of DSSC is made of MgO-SnO₂ semiconductor composite that superimposed with *doctor blade* method on LCD glass. While the counter electrode is made of 2B pencil carbon. Characterization that is done include absorbancy testing of MgO-SnO₂ lining which has been soaked with *dye* as well as electric testing using halogen lamp and sunlight. The result of absorption testing shows that MgO-SnO₂ semiconductor lining which is soaked in teak leaves *dye* has maximum absorbancy 4,895 a.u at longwave of 570 nm, while submersion using mangsi fruit (*Phyllanthus Reticulatus Poir*) *dye* has maximum absorbancy 3,468 a.u at longwave 350. Based on the electric characteristics testing is known that DSSC efficiency with mangsi fruit (*Phyllanthus Reticulatus Poir*) submersion for 6 hours is $1,49 \times 10^{-4} \%$. While the DSSC that is soaked in teak leaves *dye* for 6 hours has the amount of efficiency $4.234 \times 10^{-5} \%$.

مستخلص البحث

مكرمة. تأثير وقت غمس نانو كمفوسيت $MgO-SnO_2$ في زبدة ورقة الساج ومانسي في فعالية .
بحث علمي. قسم الفيزياء بكلية العلوم الطبيعية والتكنولوجية جامعة مولانا مالك إبراهيم مالانج
الحكومية الإسلامية. تحت الإشراف (١) إرنا هستوتي الماجستير (٢) الدكتور عبد البسط
الماجستير.

كلمة المفتاح: DSSC وشبه الهاديو و $MgO-SnO_2$ وورقة الساج ,مانسي

DSSC هو حجرة الشمس العضوية لتبديل طاقة المستحاث كمورد الطاقة الأساسي.
يهدف هذا البحث لمعرفة صفة البصريات والكهرباء من DSSC بمادة $MgO-SnO_2$ وزبدة ورقة
الساج ومانسي DSSC يفعل قطب كهربائي من مركب شبه الهادي $MgO-SnO_2$ المطلي
بطريقة DSSC في مرآة LCD . وأما القطب الكهربائي المعارض يصنع من كربون القلم
2B والخصائص المفعولية تتكون من امتصاصية مصفح $MgO-SnO_2$ المغموس بالصبغ وتجربة
الكهرباء باستخدام مصباح هلوجين وضوء الشمس. نتائج تجربة الامتصاص تدل على مصفح شبه
الهادي $MgO-SnO_2$ المغموس باستخدام مصفح ورقة الساج الذي له الامتصاصية على الأكثر
٤,٨٩٥ a.u في موجة ٥٧٠ nm. وأما الغمس المستخدم بمصفح مانسي فله امتصاصية على
الأكثر ٣,٤٦٨ a.u في موجة ٣٥٠ . تأسيسا على تجربة صفة الكهرباء نعرف أن
فعالية DSSC بغمس صبغ مانسي لمدة ست ساعات هي 1.49×10^{-4} %
فأما DSSC المغموس بصبغ ورقة الساج لمدة ست ساعات فله فعالية 4.234×10^{-4} %.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi yang terus meningkat berbanding terbalik dengan persediaan energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama, sehingga perlu adanya upaya untuk mengembangkan berbagai energi alternatif yaitu energi terbarukan. Potensi energi terbarukan, seperti: biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudera, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar. Energi surya merupakan salah satu energi yang berpotensi untuk dikembangkan. Energi matahari yang sampai ke bumi, ada yang diserap oleh atmosfer dan ada yang direfleksikan kembali, hanya sedikit digunakan membantu siklus air dan yang ditangkap untuk fotosintesis. Sebagian besar energi matahari diradiasikan sebagai panas. Sebagai wilayah tropis, Indonesia merupakan wilayah yang banyak menerima sinar matahari. Masalah yang paling penting untuk merealisasikan sel surya sebagai sumber energi alternatif adalah efisiensi piranti sel surya dan harga pembuatannya.

Matahari merupakan bintang yang paling dekat dengan bumi. Matahari memiliki jarak 150 juta km dari bumi, dan menyediakan energi yang dibutuhkan oleh kehidupan di bumi secara terus menerus. Sementara itu terkait dengan matahari Allah berfirman dalam al-Qur'an:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ، مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ، يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْمَلُونَ

“Dialah Allah yang menciptakan matahari bersinar dan bulan bercahaya, dan ditetapkan tempat-tempat bagi perjalanan bulan itu agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu).” (QS. Yunus [10] : 5).

Potongan ayat *الشَّمْسَ ضِيَاءً* berarti matahari bersinar dan *القَمَرَ نُورًا* yang artinya bulan bercahaya. al-Qur’an memberikan petunjuk terkait dengan perbedaan sinar dan cahaya. Ayat tersebut menyatakan bahwa matahari bersinar, matahari dapat memancarkan sinar dari dirinya sendiri. Sedangkan bulan bercahaya, hal tersebut menunjukkan bahwa bulan tidak dapat memancarkan cahaya dari dirinya sendiri namun merupakan pemantulan dari sinar matahari. Dalam ilmu fisika, matahari dianggap benda hitam yang berpijar pada temperatur 6000 kelvin dan energi yang dipancarkannya berupa gelombang elektromagnetik yang menyebar ke segala arah. Karena benda hitam pada temperatur tertentu dapat mengemisikan radiasi dalam jumlah maksimum dan mencakup semua panjang gelombang, maka spektrum sinar matahari merupakan spektrum yang komplit. Sesuai dengan kaidah hukum Wien energi maksimum untuk temperatur 6000 kelvin adalah 0,483 mikrometer, sehingga spektrum panjang gelombang energinya masuk pada kategori cahaya tampak. Keseimbangan di bumi dan 99 % energi yang dibutuhkan untuk kehidupan disediakan oleh matahari. Setengah energi ini kasatmata dan berbentuk cahaya, sedangkan sisanya berbentuk sinar ultraviolet yang tidak kasat mata dan berbentuk panas (Mulyono, 2006).

Energi matahari merupakan salah satu energi yang sangat berpotensi untuk dikembangkan. 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 kebutuhan konsumsi energi dunia. Sel surya bekerja menggunakan energi matahari dengan mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi listrik. Sel surya yang banyak digunakan adalah sel surya berbasis teknologi silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor elektronik. Sel surya yang didominasi oleh bahan silikon, biaya konsumsinya lebih mahal daripada sumber energi fosil. Selain itu kekurangan dari *solar cell* silikon adalah penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya (Zamrani, 2013).

Perkembangan teknologi menggantikan dominasi tersebut dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). Keunggulan dari DSSC adalah tidak memerlukan bahan semikonduktor dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah (Septina dkk, 2007). Material semikonduktor yang sering digunakan untuk aplikasi DSSC adalah TiO_2 karena mampu memberikan efisiensi yang baik. Bahan semikonduktor lain seperti ZnO , SnO_2 , dan Fe_2O_3 juga berpotensi untuk dikembangkan sebagai material DSSC dengan efisiensi yang tinggi. Sebagai material DSSC SnO_2 mampu menghasilkan efisiensi 1,74 % sedangkan dengan penambahan MgO menjadi komposit MgO/SnO_2 efisiensi bertambah hingga 7,21 % (Senevirathna, 2006).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Fitriya (2015) menunjukkan bahwa bahan semikonduktor yang diaplikasikan pada DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

harus memiliki permitivitas yang rendah, konduktivitas yang tinggi serta mampu menyerap panjang gelombang pada rentang yang sangat lebar. Penelitian ini dilakukan tanpa perendaman dalam *dye*, diketahui komposisi yang paling tepat untuk diaplikasikan pada DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) adalah sampel $7\text{MgO}:3\text{SnO}_2$ menghasilkan efisiensi sebesar $5,95 \times 10^{-09} \%$, memiliki ukuran butir yang kecil 17,82274 nm, konduktivitas listrik paling tinggi $21,446 (\Omega\text{m})^{-1}$ dan banyak memiliki fasa, diantaranya SnO_2 , MgO , Mg_2SnO_4 , sehingga mampu menyerap panjang gelombang lebih banyak.

Berbeda dengan sel surya konvensional yang semua proses melibatkan bahan silikon, pada DSSC absorpsi dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan separasi muatan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita besar (Gratzel, 2003).

Kriteria *dye* yang digunakan sebagai *sensitizer* yaitu intensitas absorpsi berada pada panjang gelombang *visible*, absorpsi yang kuat pada permukaan semikonduktor, memiliki kemampuan untuk menginjeksi elektron menuju pita konduksi semikonduktor, dan memiliki gugus $=\text{O}$ atau $-\text{H}$ untuk berikatan dengan bahan semikonduktor sehingga dapat meningkatkan laju reaksi transfer elektronnya (Khuzaifah, 2014). Karakteristik lain yang tidak kalah penting dari bahan *dye* yang digunakan yaitu kandungan senyawa antosianin yang terdapat pada tumbuhan ternyata mampu dijadikan sebagai *sensitizer*.

Dye yang digunakan sebagai *sensitizer* dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. Karena meningkatnya jumlah larangan pewarna sintesis untuk alasan

toksikologi dan ekologi, maka digunakannya pewarna alami, dengan alasan produksi relatif murah, meskipun dirugikan sifat musiman yang tidak teratur baik dari segi kualitas dan kuantitas. *Anthocyanin* banyak ditemukan dalam buah, bunga, daun, batang, akar dan kayu (Subodro, 2013).

Salah satu tanaman yang berpotensi sebagai sumber pigmen antosianin adalah daun jati (*Tectona grandis*) dan buah mangsi (*Phyllanthus reticulatus* *poir*). Daun jati memiliki kandungan pigmen alami yang terdiri dari pheophitiptin, β - karoten, pelargonidin 3-glukosida, pelargonidin 3,7-diglukosida, klorofil dan dua pigmen lain yang belum diidentifikasi (Sunardi, 2014). Uji kualitatif menunjukkan bahwa ekstrak buah mangsi mengandung senyawa flavonoid. Adanya senyawa flavonoid dalam ekstrak mangsi mempunyai kecenderungan untuk dapat menyerap (mengabsorb) sinar tampak, yaitu pada 400 nm – 700 nm. Senyawa flavonoid mengandung gugus kromofor atau adanya ikatan rangkap yang terkonjugasi (Ramadhani, 2009). Hal tersebut menunjukkan bahwa daun jati dan buah mangsi dapat digunakan sebagai *dye sensitizer* dalam DSSC.

Pada penelitian ini digunakan bahan semikonduktor MgO-SnO₂ dengan komposisi 7:3 serta menggunakan ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer*. DSSC yang dihasilkan dikarakterisasi untuk mengetahui sifat optik dan kelistrikannya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh perendaman semikonduktor MgO-SnO₂ dalam *dye* daun jati dan buah mangsi terhadap nilai absorbansi?

2. Bagaimana pengaruh ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer* terhadap sifat listrik pada DSSC bahan semikonduktor MgO-SnO₂?
3. Bagaimana pengaruh variasi lama perendaman terhadap sifat listrik pada DSSC bahan semikonduktor MgO-SnO₂?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai absorbansi lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ yang direndam menggunakan ekstrak daun jati dan buah mangsi.
2. Untuk mengetahui pengaruh ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer* terhadap sifat listrik pada DSSC bahan semikonduktor MgO-SnO₂.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi lama perendaman terhadap sifat listrik pada DSSC bahan semikonduktor MgO-SnO₂.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui aplikasi dari bahan semikonduktor MgO-SnO₂ sebagai DSSC.
2. Mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama.
3. Dapat memperoleh informasi mengenai besar efisiensi DSSC menggunakan bahan semikonduktor MgO-SnO₂ dengan ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer*.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa batasan perlu diberikan agar permasalahan yang akan dibahas menjadi terarah, batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah MgO dan SnO₂ dalam bentuk serbuk.
2. Lapisan tipis MgO-SnO₂ direndam pada ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer*.
3. Rangkaian DSSC kemudian dikarakterisasi berdasarkan sifat listrik yang meliputi efisiensinya serta sifat optis yang meliputi absorbansi dan panjang gelombang.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini, dibagi dalam beberapa bab dan sub bab seperti yang dijelaskan berikut ini:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab pendahuluan ini berisi penjelasan tentang suatu hal yang melatar belakangi penelitian harus dilakukan, selain itu juga berisi tentang rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan-batasan penelitian sehingga penelitian ini dapat berjalan sesuai dengan prosedur, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Kajian pustaka berisi tentang kajian teori yang berasal dari referensi/jurnal-jurnal yang dapat menunjang dan sesuai dengan teori penelitian yaitu tentang DSSC, baik bersumber dari buku maupun media pembelajaran yang lain.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisi tentang prosedur perancangan dan tata cara membuat DSSC. Serta bahan dan alat-alat yang menunjang kelancaran penelitian.

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan hasil data dan penelitian yang berupa grafik dan angka, yang meliputi analisa hasil pengujian sifat listrik dan optisnya dari DSSC berupa nilai absorbansi dan efisiensinya.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian secara singkat dan jelas serta saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya yang lebih baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Matahari Dalam al-Quran

Matahari memiliki peranan sangat sentral bagi kehidupan di bumi. Matahari mempunyai sumber cahaya sendiri dari reaksi nuklir dengan membakar hidrogen (Juoro, 2011). Dalam al-Quran Allah berfirman:

وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَّاجًا

“Dan kami menjadikan pelita (matahari) yang terang benderang.” (QS. an-Naba’ [78]: 13).

Matahari disebut sebagai pelita atau *siraaj* dalam bentuk tunggal yang berarti mempunyai sumber cahaya sendiri atau memberikan cahaya pada benda yang lain. Begitu pentingnya matahari dalam kehidupan di bumi, dalam al-Qur’an terdapat surat khusus mengenai matahari, yaitu surat asy-Syams (Juoro, 2011). Allah bersumpah sebagaimana dinyatakan dalam al-Quran:

وَالشَّمْسِ وَضُحَاهَا

“Demi matahari dan sinarnya pada pagi hari” (QS. asy-Syams [91]: 1).

Kata *dhuha* berarti matahari pada waktu pagi hari cahayanya sangatlah baik bagi kesehatan tubuh dan pada waktu itu bentuk matahari terlihat sepenuhnya bulat (Juoro, 2011). Pentingnya matahari terutama pada waktu pagi hari juga dinyatakan dalam al-Quran, Allah bersaksi:

وَالضُّحَىٰ

“Demi matahari pada waktu pagi hari” (QS. adh-Dhuha [93]: 1).

Matahari juga disebutkan dalam al-Quran:

تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا

“Mahasuci Allah yang menjadikan di langit gugusan bintang-bintang dan dia juga menjadikan padanya (matahari) yang bersinar dan bulan bercahaya.” (QS. al-Furqan [25]: 61).

Matahari bersinar dinyatakan sebagai *siraajan* sedangkan bulan (*al-Qamar*) bercahaya dinyatakan sebagai *muniiran*. Matahari mempunyai sumber cahaya sendiri dari reaksi nuklir sedangkan bulan merupakan pantulan dari sinar matahari. Tidak ada reaksi nuklir di bulan seperti di matahari. Kata *nur* yang berasal dari akar kata *nun*, *waum*, dan *ra* artinya yang umum adalah cahaya bentuknya tunggal. Kata *nur* juga dipergunakan bagi Allah yang berarti Pemberi dan Pemilik cahaya bagi seluruh yang bercahaya di alam semesta (Juoro, 2011). Sedangkan dalam al-Quran dinyatakan:

وَالْقَمَرَ إِذَا اتَّسَقَ

“Demi bulan apabila jadi purnama.” (QS. al-Insyiqaq [84]: 18).

Pada waktu bulan purnama bulan terlihat bulat sepenuhnya dengan sinar yang terang. Namun bulan tidaklah memancarkan sinarnya sendiri melainkan

memancarkan sinar matahari (Juoro, 2011). Hal ini dengan jelas dinyatakan dalam al-Quran:

وَجَعَلَ الْقَمَرَ فِيهِنَّ نُورًا وَجَعَلَ الشَّمْسَ سِرَاجًا

“Dan di sana Dia menciptakan bulan yang bercahaya dan menjadikan matahari sebagai pelita (yang cemerlang).” (QS. Nuh [71]: 16).

Bentuk lain kata *qamar* adalah *al-qumrah* yang berarti “sangat putih”. Karena itu bulan pada saat purnama disebut sebagai *qamar* dan bulan sabit disebut *hilal*. Dalam ayat ini kembali cahaya bulan disebut sebagai *nuuran* sedangkan sinar matahari disebut sebagai *siraajan* jadi keduanya berbeda (Juoro, 2011). Cahaya bulan adalah pantulan dari sinar matahari. Hal serupa dinyatakan dalam al-Quran:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ، مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ، مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ، يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْمَلُونَ

“Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya, dan Dialah yang menetapkan tempat-tempat orbitnya, agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kekuasaan-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui.” (QS. Yunus [10]: 5).

“Dialah yang telah menjadikan matahari bersinar dan menjadikan bulan bercahaya”. Sesungguhnya Tuhanmu yang telah menjadikan langit dan bumi, itulah yang mengakibatkan matahari bersinar pada siang hari menyinari bumi, menjadi pembangkit panas dan tenaga

bagi alam yang hidup, bagi binatang ataupun tumbuh-tumbuhan, dan Dialah yang menjadikan bulan bercahaya pada malam hari (ash-Shiddieqy, 2002).

وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ “serta menakdirkan perjalanan bulan dalam falaknya beberapa manzilah (tempat)”. Dia (Allah) yang telah mengatur waktu perjalanan bulan dalam falaknya pada beberapa manzilah (tempat). Pada tiap malam bulan singgah di satu manzilah. Dalam waktu 28 malam, bulan biasa dilihat karena begitu tipisnya dan hanya beberapa saat terbit dan kemudian tidak terlihat kembali (terbenam) (ash-Shiddieqy, 2002).

لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ “supaya kamu mengetahui hitungan tahun dan perkiraan waktu”. Allah menjadikan bulan sedemikian itu terus berpindah dari manzilah satu ke manzilah yang lain supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan waktu bagi bulan dan hari untuk kepentingan ibadat dan muamalatmu (ash-Shiddieqy, 2002).

Mengetahui perkiraan tahun berdasarkan perhitungan perjalan bulan mudah dicapai oleh semua orang. Yang sulit dilakukan adalah mengetahui perkiraan tahun dan bulan berdasarkan perjalanan matahari. Hal itu tidak mungkin bisa diketahui tanpa mempelajari ilmu-ilmu yang berhubungan dengan itu secara baik. Inilah sebabnya, al-Quran memilih tahun qomariyah untuk menentukan pelaksanaan puasa, haji, dan iddah talak, karena hisab inilah yang mudah dilakukan. Tetapi selain itu, agama juga menganjurkan kita untuk mempelajari hisab syamsiyah (ash-Shiddieqy, 2002).

مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ “Allah tidak menjadikan yang demikian itu kecuali dengan benar”. Allah tidak menjadikan matahari, makhluk yang mempunyai sinar

dan melimpahkan sinarnya kepada binatang-binatang yang berada di sekitarnya serta melimpahkan sinarnya kepada semua makhluk yang hidup. Allah tidak menjadikan bulan bersinar yang mengambil sinarnya dari matahari dan Allah tidak menentukan jangka waktu perjalanan bulan dalam beberapa manzilah, melainkan semuanya itu berdasarkan hak yang disertai hikmah yang tinggi untuk hidup kita di dunia ini (ash-Shiddieqy, 2002).

“يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْمَلُونَ” Allah menjelaskan ayat-ayat-Nya kepada kaum yang mengetahui”. Allah menjadikan semua ayat-Nya, baik berupa ayat-ayat (fenomena) alam yang menunjukkan kebesaran Allah dan kekuasaan-Nya maupun ayat-ayat al-Qur’an, kepada kaum yang mengetahui. Misalnya, bagaimana dalil-dalil itu menunjuk kepada subjek yang didalili dan yang mampu membedakan antara yang hak (benar) dengan yang batal (ash-Shiddieqy, 2002).

Allah SWT merupakan satu-satunya yang menjadikan matahari bersinar untuk alam semesta dan menjadikan bulan bercahaya untuk jagad raya. Sinar matahari itu membara panas dan cahaya bulan itu berpendar dingin. Allah yang mengedarkan bulan pada orbit-orbit yang sudah diketahui. Dengan matahari, dapat dihitung hari-hari, dan dengan bulan, dapat diketahui pergantian tahun. Allah SWT tidak menciptakan matahari dan bulan kecuali adanya satu hikmah yang agung dan pertanda jelas tentang keindahan ciptaan-Nya dan keagungan mahakarya-Nya. Allah telah menjelaskan bukti-bukti bagi kaum yang mengetahui tujuan-tujuan penciptaan dan pembentangan ayat-ayat (al-Qarni, 2007).

Dalam surat Yunus ayat 5 tersebut sinar matahari disebut sebagai *dhiya’an* sedangkan cahaya bulan sebagai *nuuran*. Ini adalah kembali sebagai penegasan

bedanya sinar matahari dengan cahaya bulan. Dalam ayat ini juga dinyatakan pentingnya peredaran bulan mengelilingi bumi, dan bumi mengelilingi matahari dalam menentukan waktu. Sedangkan kata *manazila* berarti tempat beredar atau orbit (Juoro, 2011).

Dalam al-Quran dinyatakan bulan mengiringi matahari dalam pengertian bahwa bulan mengelilingi bumi dan juga mengelilingi matahari sebagaimana bumi mengelilingi matahari (Juoro, 2011).

وَالْقَمَرَ إِذَا تَلَّهَا

“Demi bulan yang mengiringinya (matahari).” (QS. asy-Syam [91]: 2).

Hal serupa dinyatakan dalam al-Quran:

وَسَخَّرَ لَكُمْ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ دَائِبَيْنِ, وَسَخَّرَ لَكُمْ الَّيْلَ وَالنَّهَارَ

“Dia telah menundukkan matahari dan bulan bagimu yang terus menerus beredar (dalam orbitnya), dan telah menundukkan bagimu malam dan siang.” (QS. Ibrahim [14]: 33).

Ayat-ayat tersebut memberikan penekanan betapa pentingnya matahari dan bulan bagi kehidupan di bumi. Sinar matahari sangat dibutuhkan manusia, hewan dan tanaman dalam kehidupannya, dan gaya gravitasi bulan menentukan antara lain pasang-surutnya laut, dan semua itu mempengaruhi cuaca di bumi. Rotasi bumi di porosnya menyebabkan siang dan malam, sedangkan revolusi bumi mengelilingi matahari menciptakan perbedaan musim di bumi, dua musim di ekuator dan empat musim di sub-ekuator. Pasang naik dan pasang surut

terbesar terjadi ketika purnama, yaitu posisi bumi-bulan-matahari pada satu garis (konjugasi) sehingga gaya tarik bulan dan matahari menyatu menarik permukaan bumi (Juoro, 2011).

Ayat-ayat yang telah disebutkan di atas banyak menyebutkan matahari dan sinar yang dipancarkannya. Hal ini mengisyaratkan bahwa cahaya yang dihasilkan matahari merupakan ciptaan Allah yang perlu untuk direnungkan. Berdasarkan kajian fisika, cahaya mempunyai sifat dualisme, yakni selain bersifat sebagai gelombang, cahaya juga bersifat sebagai partikel yang disebut foton. Sebuah foton adalah satu kuantum energi elektromagnet yang diserap atau dipancarkan, dan sejalan dengan usulan Planck, tiap-tiap foton dari radiasi berfrekuensi ν memiliki energi (Krane, 2014):

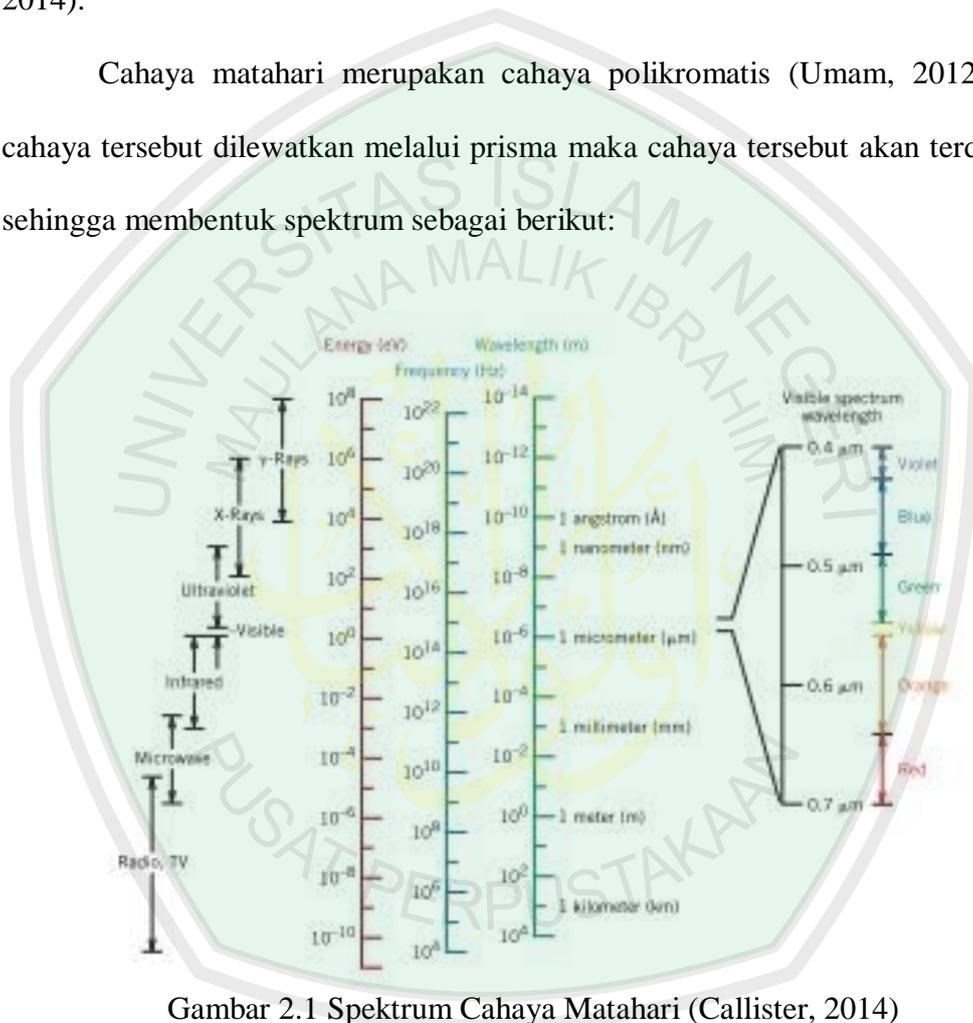
$$E = h\nu \quad (2.1)$$

h adalah tetapan Planck yang mempunyai nilai sebesar $6,626 \times 10^{-34}$ Js dan frekuensi (ν) adalah frekuensi dari cahaya yang dipancarkan. Frekuensi berbanding terbalik dengan panjang gelombang sehingga jika panjang gelombang semakin besar maka frekuensinya semakin rendah.

Energi bersifat kekal, sehingga energi matahari tidak dapat musnah begitu saja. Namun energi tersebut dapat dirubah menjadi energi lain yang lebih bermanfaat seperti halnya energi listrik. Proses konversi energi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan menggunakan *solar cell*. *Solar cell* terbuat dari bahan semikonduktor. Jika cahaya matahari berinteraksi dengan material semikonduktor maka cahaya tersebut dapat mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Hal tersebut dapat terjadi ketika energi cahaya sama

dengan energi *gap* semikonduktor. Akibat dari eksitasi tersebut maka dalam pita valensi tercipta *hole* sedangkan pada pita konduksi tercipta elektron bebas. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak bebas menghantarkan arus listrik (Krane, 2014).

Cahaya matahari merupakan cahaya polikromatis (Umam, 2012). Jika cahaya tersebut dilewatkan melalui prisma maka cahaya tersebut akan terdispersi sehingga membentuk spektrum sebagai berikut:



Gambar 2.1 Spektrum Cahaya Matahari (Callister, 2014)

Radiasi cahaya matahari yang sampai ke bumi lebih banyak pada daerah *visible*. Oleh karena itu, material semikonduktor yang digunakan untuk aplikasi *solar cell* harus mempunyai energi *gap* yang dapat menyerap cahaya matahari (foton) dalam daerah *visible* sehingga elektron dan *hole* yang tercipta semakin banyak.

2.2 Sel Surya

Energi matahari merupakan energi yang tidak bersifat polutif dan tidak habis. Energi matahari dapat dikonversikan secara langsung menjadi tiga bentuk energi lain yaitu: dapat menjadi listrik, menjadi panas, dan dapat menyebabkan reaksi kimia (Prasetyo, 1999). Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Becquerel menggunakan silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode ini belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara (Yandri, 2012).

Cahaya sebagai suatu entitas dapat didefinisikan sebagai gelombang dan atau sebagai partikel. Sifat inilah yang mendasari adanya energi pada cahaya matahari. Sesuai dengan salah satu hukum kekekalan energi, energi dapat diubah menjadi bentuk-bentuk yang lain. Atas logika inilah pengembangan sel surya fotovoltaik bermula, bahwa energi dari cahaya matahari akan diubah secara langsung menjadi energi listrik (Rahman, 2011).

Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar (Yandri, 2012).

Energi surya telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa aplikasi energi surya adalah (Yandri, 2012):

1. Penehayaan bertenaga surya.
2. Pemanasan bertenaga surya, untuk memanaskan air, memanaskan dan mendinginkan ruangan.
3. Desalinisasi dan desinfektifikasi.
4. Untuk memasang dan menggunakan kompor tenaga surya.

Sel surya merupakan salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar dan mampu menopang energi listrik masa depan. Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah sel surya (*photovoltaic/solar cell*) yang mampu mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa menghasilkan emisi gas buang. Pada prinsipnya, cara kerja sel surya sama dengan cara kerja fotosintesis pada tumbuhan. Energi cahaya digunakan untuk menghasilkan elektron bebas. Sel surya menggunakan elektron bebas untuk menghasilkan energi listrik sedangkan tumbuhan menggunakan elektron bebas untuk menghasilkan energi kimia (Yuwono, 2011).

Mekanisme yang bekerja pada sel surya berdasarkan efek photovoltaik dimana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik di dalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 1986). Struktur sel surya tandem (*multi-junction*) didesain untuk mengatasi persoalan kehilangan energi ini. Prinsip dasar dari sel surya tandem adalah pembagian spektrum cahaya matahari ke dalam dua atau lebih bagian, untuk kemudian masing-masing bagian tersebut dapat diserap oleh beberapa sel surya yang

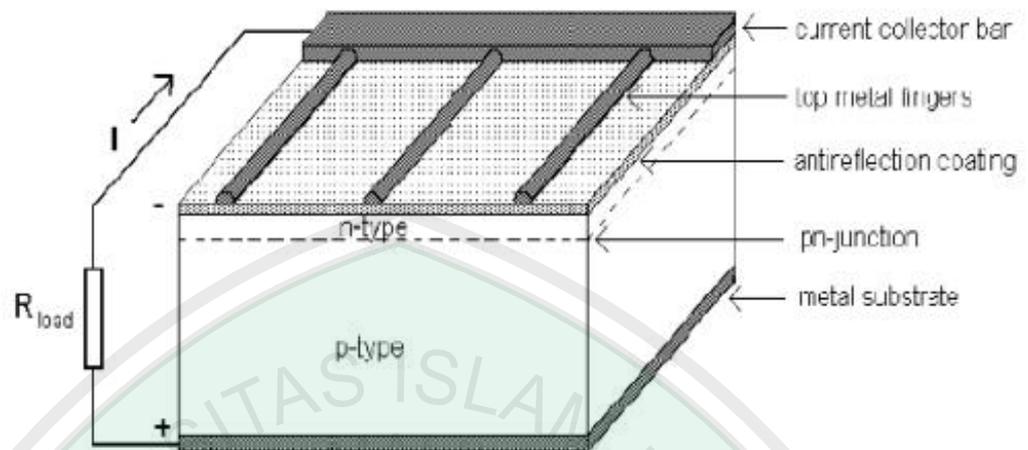
memiliki celah pita energi yang berbeda. Prinsip ini dapat direalisasikan dengan membuat tumpukan sel surya dimana sel surya yang paling atas memiliki celah pita energi terbesar dibuat transparan terhadap spektrum cahaya yang tidak diserapnya, sehingga dapat lolos dan diserap oleh sel surya di bawahnya yang memiliki celah pita energi lebih kecil (Araujo, 1989).

Perkembangan sel surya sendiri terbagi dalam tiga generasi. Pada generasi pertama, sel surya terbuat dari silikon kristalin yang digolongkan menjadi silikon monokristalin dan polikristalin. Keunggulan sel surya generasi pertama ini adalah memiliki efisiensi yang cukup tinggi, sedangkan kelemahannya terletak pada biaya produksi yang mahal. Sel surya generasi kedua merupakan modifikasi dari sel surya generasi pertama yang disebut sel surya lapis tipis (*thin film solar cell*). Biaya produksi yang diperlukan pada generasi kedua ini lebih murah jika dibandingkan dengan generasi pertama tetapi efisiensinya lebih rendah. Generasi ketiga memiliki tujuan penciptaan sel surya yang menghasilkan energi listrik tinggi dengan biaya yang murah dan efisiensi yang tinggi melalui pembuatan sel surya polimer atau disebut dengan sel surya organik (Ludin, 2014).

Secara garis besar sel surya dibagi menjadi dua bagian berdasarkan material yang digunakan untuk menyerap cahaya matahari (Gratzel, 2003) :

a. Sel Surya Anorganik

Sel surya anorganik disusun dengan menggabungkan silikon jenis p dan jenis n. Silikon jenis p yakni silikon yang bersifat positif karena kekurangan elektron, sedangkan silikon jenis n adalah silikon yang bersifat negatif akibat dari kelebihan elektron (Syafaruddin, 2010).

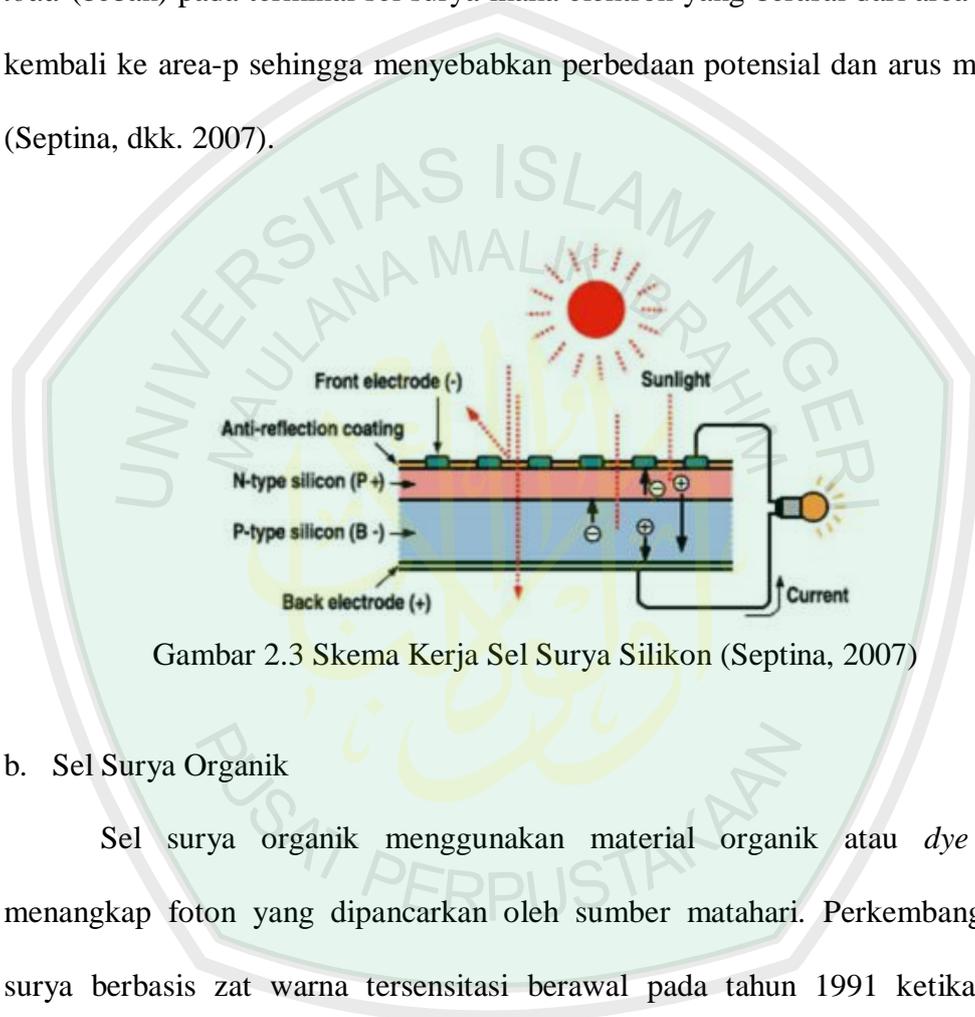


Gambar 2.2 Struktur Sel Surya Silikon p-n *Junction* (Halme, 2002)

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya *defisit* satu dibanding atom sekitar. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi *hole* dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi elektron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negatif pada batas tipe-p. Batas tempat terjadinya perbedaan muatan pada daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus *drift*. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor *p-n junction* (Halme, 2002).

Apabila *junction* semikonduktor tersebut disinari cahaya yang memiliki energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi semikonduktor tersebut, maka

akan menyebabkan terbentuknya eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi yang akan meninggalkan *hole*, elektron pada semikonduktor tersebut terdorong sehingga menyebabkan elektron bergerak. Apabila ditempatkan sebuah *load* (beban) pada terminal sel surya maka elektron yang berasal dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus mengalir (Septina, dkk. 2007).



Gambar 2.3 Skema Kerja Sel Surya Silikon (Septina, 2007)

b. Sel Surya Organik

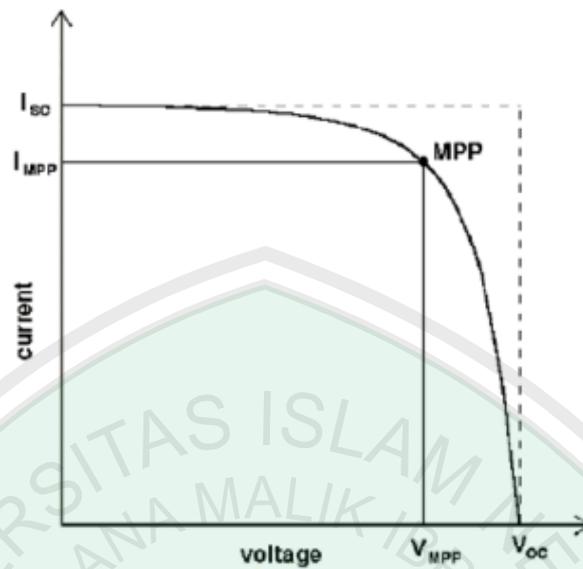
Sel surya organik menggunakan material organik atau *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Perkembangan sel surya berbasis zat warna tersensitasi berawal pada tahun 1991 ketika untuk pertama kalinya Gratzel dan O'Regan merancang bentuk dasar sel surya berbasis lapis tipis semikonduktor titania yang dikenal dengan DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) dimana sistem ini dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik (O'Regan dan Gratzel, 1991). Mekanisme ini menunjukkan absorpsi optis dan proses pemisahan muatan melalui asosiasi suatu *sensitizer* sebagai penyerap

cahaya dengan suatu semikonduktor nanokristal yang mempunyai *band gap* lebar (Gratzel, 2003).

Prinsip kerja sel surya organik adalah foton yang datang akan membangkitkan *exciton* (elektron yang tereksitasi). *Exciton* kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor untuk menghasilkan pasangan rekombinasi *hole* dan elektron yang pada akhirnya menghasilkan efek arus foto (*photocurrent*) (Ripna, 2007).

2.3 Performansi Sel Surya

Pada umumnya kinerja sel surya dinyatakan oleh kemampuan sel surya mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik global (efisiensi global), serta jangka waktu kestabilan tersebut. Kestabilan sel surya diketahui dengan mengukur efisiensi global konversi energi sel surya sebagai fungsi waktu. Efisiensi global konversi energi ditentukan dengan menggunakan kurva arus-tegangan (*I-V*). Sel surya apabila dihubungkan secara *short circuit* dalam pencahayaan, maka arus maksimum yang akan dihasilkan disebut sebagai I_{sc} (*Short Circuit Current*). Ketika menggunakan *open circuit* maka tidak ada arus yang dapat mengalir dan tegangan yang dihasilkan maksimum, disebut V_{oc} (*Open Circuit Voltage*). Puncak dalam kurva *I-V* adalah hasil maksimum arus dan tegangan yang dihasilkan, yaitu daya, yang disebut dengan *MPP* (*Maximum Power Point*) ditunjukkan dalam kurva berikut (Halme, 2002):



Gambar 2.4 Karakteristik Kurva I - V pada Sel Surya (Halme, 2002)

Sifat yang penting selain MPP yakni FF (*fill factor*) sel surya, merupakan ukuran luas persegi kurva I - V dan menyatakan daya maksimum yang dapat dibangkitkan sel surya, yang didefinisikan sebagai berikut (Halme, 2002) :

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

(2.2)

Dengan menggunakan *fill factor* maka daya maksimum daya dari sel surya dapat diketahui dengan persamaan:

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

(2.3)

Sehingga efisiensi sel surya (η) didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{Max}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{Cahaya}) :

$$\eta = \frac{P_{Max}}{P_{Cahaya}}$$

(2.4)

Efisiensi sel surya juga dapat dinyatakan dengan perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya atau daya *output* yang dikeluarkan sel surya dengan daya pancaran (*radiant*) atau daya *input* yang berasal dari cahaya matahari pada sel surya:

$$\eta = \frac{I \times V}{\text{intensitas cahaya} \times \text{luas panel}} \times 100\%$$

(2.4)

2.4 DSSC

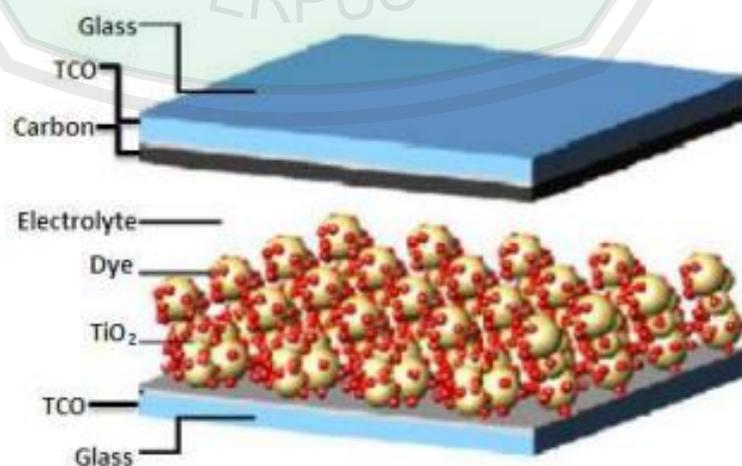
2.4.1 Definisi Umum DSSC

DSSC pertama kali ditemukan oleh Gratzel pada tahun 1991. DSSC merupakan terobosan pertama penerapan material organik dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. Penemuan Gratzel tersebut berhubungan dengan penerapan prinsip efisiensi kompleks *Ruthenium* untuk mengaktifkan film semikonduktor, yang sangat sensitif di daerah cahaya tampak (*visible region*). Semikonduktor yang digunakan oleh Gratzel adalah titania (TiO_2) yang dilapiskan pada substrat. Efisiensi sel surya Gratzel mencapai 7,1 %. Sejak penemuan Gratzel tersebut, DSSC menjadi salah satu topik penelitian yang intensif dilakukan oleh peneliti di seluruh dunia untuk meningkatkan performa dari DSSC.

Berbeda dengan tipe sel surya sebelumnya yang pada umumnya pembangkitan pasangan *electron* dan *hole* dengan datangnya foton dari sinar matahari sebagai proses utamanya, pada DSSC ini foton yang datang tidak harus menghasilkan pasangan muatan tersebut melainkan membangkitkan *exciton*. *Exciton* inilah yang kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor

(yang direkatkan dengan organik semikonduktor berada di antara dua keping konduktor) untuk menghasilkan pasangan muatan dan akhirnya menghasilkan efek arus foto (Ripna, 2007). *Dye-sensitized solar cell* merupakan sel surya fotoelektrokimia, terutama terdiri dari *photoelectrode*, elektrolit, dan elektroda lawan. Titanium dioksida (TiO_2) menjadi semikonduktor yang sering digunakan dalam penelitian, karena band gap yang besar (3 hingga 3,2 eV), TiO_2 menyerap hanya bagian ultraviolet dari matahari sehingga memiliki efisiensi konversi yang rendah (Gratzel, 2003).

Secara umum DSSC terdiri dari sepasang kaca berlapis bahan TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang saling mengapit larutan elektrolit membentuk seperti *wafer*. Elektrolit sebagai katalis berfungsi untuk mempercepat reaksi redoks berupa I/I_3^- (iodida/triiodida). Salah satu kaca sebagai transport elektron. Elektroda kerja ini tersensitisasi pewarna yaitu antosianin yang berfungsi sebagai donor elektron. Sedangkan kaca yang lain berupa elektroda lawan yang terlapisi oleh karbon (Gratzel, 2003).



Gambar 2.5 Skema Struktur *Dye Sensitized Solar Cell* (Gratzel, 2003)

2.4.2 Prinsip Kerja DSSC

Prinsip Kerja dari DSSC melalui tahapan-tahapan sebagai berikut, tahapan pertama dimulai dengan absorpsi foton oleh *dye* normal yaitu S yang menyerap foton menjadi S^+ karena mendapat tambahan energi dari foton sebesar $h\nu$ maka S^+ tereksitasi menjadi S^* sesuai persamaan reaksi berikut (Gleue, 2008):



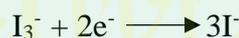
Dye tereksitasi dan mengeluarkan fotoelektron untuk diinjeksikan menuju pita konduksi TiO_2 . TiO_2 ini dianggap sebagai semikonduktor tipe-n karena mendapat donor elektron dari *dye* sehingga TiO_2 mendapat tambahan elektron. Memasuki tahapan kedua, fotoelektron yang terinjeksi bergerak sepanjang nanopartikel TiO_2 menuju sisi konduktif kaca atau anoda. Dengan lapisan TiO_2 yang tipis, fotoelektron yang tereksitasi tidak memerlukan perjalanan yang panjang untuk mencapai anoda. Setelah mencapai anoda atau sisi konduktif kaca, fotoelektron melewati kaca konduktif dan bermigrasi melalui rangkaian luar menuju elektroda pembanding atau katoda. Molekul *dye* yang tereksitasi dan mengeluarkan fotoelektron yaitu S^* tadi menjadi teroksidasi dan berubah lagi menjadi S^+ menurut persamaan reaksi (Gleue, 2008):



Memasuki tahapan ketiga, sejumlah fotoelektron yang bermigrasi melalui rangkaian luar menuju katoda tadi, kelebihan energinya dikonversikan ke energi

listrik oleh *device* dalam rangkaian yang diberi pembebanan. Jumlah elektron per detik yang mengalir melalui beban merupakan arus sedangkan energi yang tersedia per elektron merupakan tegangan atau potensial listrik (Gleue, 2008).

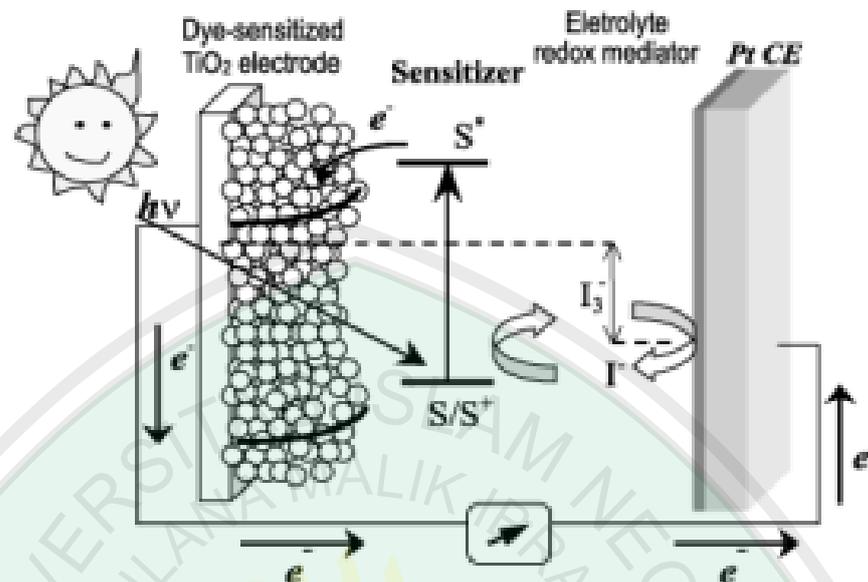
Memasuki tahapan keempat, elektrolit yang berasal dari triiodida menangkap elektron yang telah melewati elektroda pembanding atau katoda yaitu kaca konduktif yang dilapisi katalis karbon sehingga terjadi reduksi triiodida menjadi iodida. Adanya katalis yaitu lapisan karbon pada elektroda pembanding mempercepat reaksi reduksi tersebut karena karbon memiliki luas permukaan yang besar (Gleue, 2008).



Iodida ini digunakan untuk menyuplai elektron kepada *dye* untuk menggantikan elektron yang hilang dari molekul *dye* sehingga molekul *dye* yang teroksidasi tadi yaitu S^+ kembali ke keadaan awal yaitu S (*dye* normal). Iodida yang telah menyuplai elektron kepada *dye* menjadi teroksidasi dan berubah lagi menjadi Triiodide sesuai persamaan reaksi (Gleue, 2008):



S (*dye* normal) ini siap untuk menyerap foton kembali sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron yang berulang-ulang dan karena adanya elektrolit pasangan I_3^-/I^- membuat siklus yang berulang-ulang tersebut terjadi dalam kurun waktu tertentu tergantung ketahanan elektrolit yang digunakan. Dengan siklus tersebut terjadi konversi langsung dari energi cahaya menjadi energi listrik (Gleue, 2008).



Gambar 2.6 Prinsip Kerja DSSC (Gleue, 2008)

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 TiO₂. Akibatnya elektron mengalir menuju elektroda, rangkaian listrik sampai *counter electrode*. Elektrolit membawa elektron-elektron kembali ke *dye* yang berasal dari *counter electrode*. *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. Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanokristal pori TiO₂ yang mana *dye* terabsorpsi di TiO₂. Jumlah pori yang lebih banyak dengan pengaturannya dalam struktur nano, memungkinkan *dye* yang terabsorpsi lebih banyak menghasilkan proses absorpsi cahaya yang lebih efisien (Zamrani, 2013).

DSSC merupakan sel surya dengan bahan *dye* sebagai pompa fotoelektrokimia yang terabsorpsi pada permukaan partikel TiO_2 . Elektron-elektron *dye* dari level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) tereksitasi ke tingkat energi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) dengan adanya foton yang berenergi sesuai. Kinerja DSSC mirip dengan fungsi klorofil pada proses fotosintesis tumbuhan. Lapisan TiO_2 bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer dari *dye* yang teroksidasi. Elektrolit redoks terdiri dari pasangan iodida dan triiodida (I/I_3^-) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel (Smestad dan Gratzel, 1998).

2.4.3 Material DSSC

Sebuah DSSC terdiri dari tiga komponen penting untuk terjadi suatu mekanisme fotovoltaiik, yakni (Meng, 2010):

1. Semikonduktor nanokristalin oksida sebagai elektroda, yang biasanya menggunakan TiO_2 , yang memiliki fungsi untuk menampung fotoelektron. Dalam penelitian ini akan digunakan semikonduktor MgO-SnO_2 .
2. Molekul *dye* terabsorpsi pada permukaan bahan semikonduktor untuk penyerapan cahaya tampak.
3. Elektrolit, yang akan menghantarkan elektron dari elektroda penutup untuk meregenerasikan kation *dye* yang tereksitasi.

a. Kaca TCO

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*). TCO merupakan substrat yang tidak mengubah sifat suatu material, bekerja sebagai kolektor arus dan juga material atau badan dari sel surya. Resistansi TCO akan meningkat, ketika dipanaskan pada suhu tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama. Jenis TCO mempengaruhi kestabilan saat kenaikan temperatur di atas suhu pendeposisian optimum. *Fluorine-doped tin oxide* (Sn:F atau FTO) sangat stabil, sehingga pengurangan substrat kaca lebih terbatas daripada dekomposisi panas pada lapisan konduktif, sedangkan ITO (*Indium Tin Oxide*) menunjukkan adanya sifat konduktif yang hilang pada pemanasan suhu yang lebih dari 200 °C (Rosyida, 2012).

Sifat konduktif TCO disebabkan oleh karakteristik ikatan kimiawinya yang berjenis ikatan ionik (ikatan antar logam dengan oksigen) yang memungkinkan atom terlepas dengan sendirinya dari posisi normalnya ke posisi lain yang pada akhirnya menyebabkan elektron terlepas di dalam struktur oksida tersebut. Seiring banyaknya atom yang terlepas dari posisi normalnya maka semakin banyak jumlah elektron di dalam material TCO, sehingga apabila kita mengalirkan arus listrik ke material tersebut, maka elektron tersebut akan menghantarkan arus listrik (Umam, 2012).

ITO (*Indium Tin Oxide*) merupakan salah satu jenis TCO. Semua produk layar LCD atau layar flat generasi mutakhir memanfaatkan material ITO sebagai bagian dari komponennya. Hal ini karena material oksida ITO inilah yang menunjukkan performa paling tinggi dari segi transparansi terhadap cahaya

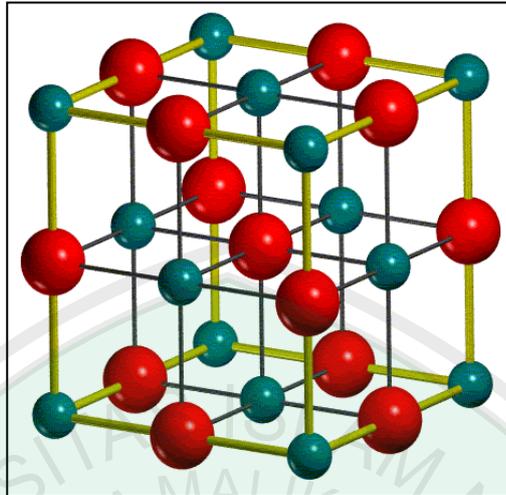
tampak dan tingkat konduktivitas yang tinggi. Sehingga kaca LCD dapat juga digunakan sebagai substrat kaca berkonduksi dalam DSSC (Umam, 2012).

b. Semikonduktor MgO-SnO₂

Penggunaan semikonduktor oksida dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya tahan terhadap fotokorosi (Kalyanasundaram dan Gratzel, 1998). Selain itu lebar pita energinya besar (>3 eV), dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Selain semikonduktor TiO₂, semikonduktor lain yang digunakan yaitu ZnO, CdSe, CdS, WO₃, Fe₂O₃, SnO₂, Nb₂O₃, dan Ta₂O₅ (Septina dkk, 2007).

Magnesium oksida (MgO) merupakan material berbentuk *solid* dan berwarna putih, bereaksi secara perlahan dengan H₂O membentuk *magnesium hidroxide* Mg(OH)₂. Jika magnesium oksida (MgO) menyerap CO₂ di udara, maka MgO akan berubah bentuk menjadi *magnesium carbonate*. Material tersebut dapat larut dalam larutan asam dan tidak bisa larut dalam larutan alkali. Magnesium oksida terbentuk dengan cara (Considine, 2005):

1. Pemanasan *magnesium carbonate* hingga temperatur tinggi (gas CO₂ mengembang)
2. Pemanasan *magnesium hidroxide*, nitrat, sulfat atau *oxalate*
3. Pembakaran (*burning*) *magnesium metal* di udara atau oksigen.



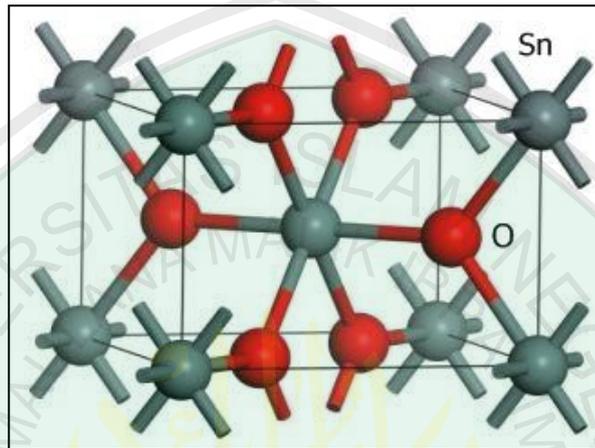
Gambar 2.7 Struktur Kristal MgO (Considine, 2005)

Kristal Magnesium Oksida berbentuk kubik dengan struktur kristal *rock salt*. Struktur kristal MgO digambarkan sebagai kisi FCC dari ion Mg, dengan ion O menempati semua lubang oktahedral, atau sebaliknya. MgO digunakan sebagai material optik, yang memiliki transparansi dari 0,3 sampai 7 μm . Indeks refraksinya 1,74 pada 1 μm . Kristal murni MgO dapat digunakan dalam *infrared optics* (Calliester, 2007). Titik leleh dari MgO adalah 2852 $^{\circ}\text{C}$ (Considine, 2005).

Tin dioksida atau SnO_2 memiliki struktur kristal *rutile* dengan titik leleh 1630 $^{\circ}\text{C}$. SnO_2 merupakan jenis semikonduktor oksida logam yang mempunyai celah pita lebar tipe-n dan banyak diaplikasikan sebagai bahan dasar sensor gas. Sifat listrik nanokristal SnO_2 sepenuhnya bergantung pada ukuran kristal dan keadaan permukaan yang dihasilkan oleh serapan gas yang menghasilkan penampakan ruang dan modulasi pita (Suryadi dalam Mawarni, 2006).

Menurut Widodo (2014), SnO_2 memiliki struktur *nonstoikiometrik* dan merupakan semikonduktor dengan celah pita lebar khas tipe-n (3,6 eV). Salah satu alasan digunakan semikonduktor oksida logam karena kestabilan kimia dan

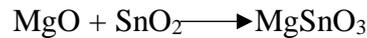
mekanik. SnO_2 secara luas digunakan untuk aplikasi teknis, dan mempunyai kestabilan yang tinggi (fase *rutile*, stabil hingga $1300\text{ }^\circ\text{C}$), dan sintesia yang cukup mudah.



Gambar 2.8 Struktur Kristal SnO_2 (Godinho, 2009)

Penelitian yang dilakukan oleh Syuhada (2008), *Tin oxide* (SnO_2) telah digunakan untuk melapisi silikon yang digunakan sebagai konduktor transparan pada sel surya. Oksida konduktor transparan memegang peranan penting untuk pembuatan lapisan tipis berbasis silikon maupun lapisan tipis untuk *solar cell* berbasis bahan lain.

Magnesium Oksida dapat dipadukan dengan senyawa lain, diantaranya tin dioksida. Paduan dari kedua bahan tersebut akan membentuk senyawa baru, yaitu magnesium timah oksida (MgSnO_3). Data hasil difraksi sinar-X juga menunjukkan adanya dua fasa baru yaitu *ortho-magnesium stannate* (Mg_2SnO_4) dan *metastannate* (MgSnO_3). Fasa *metastannate* (MgSnO_3) muncul karena adanya reaksi antara MgO dengan SnO_2 ketika dipanaskan pada suhu kalsinasi $600\text{ }^\circ\text{C}$, dan dituliskan sebagaimana persamaan reaksi berikut (Huang, 2004):



sedangkan fasa *ortho-magnesium stannate* (Mg_2SnO_4) muncul ketika komposisi MgO diperbesar, yaitu pada komposisi $5\text{MgO}:5\text{SnO}_2$ dan $7\text{MgO}:3\text{SnO}_2$. Hal ini karena MgO kurang stabil pada perlakuan panas, sehingga bereaksi kembali dengan MgSnO_3 , ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut:



Jedynak (2011) menyatakan bahwa, dari perlakuan panas dan analisa komposisi fasa menunjukkan bahwa MgO dapat mengurangi *volatilitas* SnO_2 pada suhu tinggi yang disebabkan adanya fasa baru Mg_2SnO_4 .

c. Elektrolit

Elektrolit merupakan salah satu bagian terpenting dari sel surya. Fungsi elektrolit dalam sistem DSSC adalah untuk menggantikan kehilangan elektron pada *ground state* dari *dye* akibat eksitasi elektron dari *ground state* ke *exited state* karena penyerapan cahaya tampak oleh *dye*. Elektrolit juga berfungsi sebagai pembawa elektron antara fotoelektroda dan *counter electrode* pada DSSC (Rosyida, 2012).

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut, karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu (Halme, 2002):

1. Potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
2. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.

3. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
4. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
5. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
6. Mempunyai reversibilitas tinggi.
7. *Inert* terhadap komponen lain pada DSSC.

Pelarut elektrolit yang umum digunakan dalam DSSC adalah asetonitril. Akan tetapi pelarut tersebut memiliki kelemahan yaitu bersifat lebih mudah menguap dengan titik didih 82 °C yang merupakan temperatur yang dapat dicapai sel surya pada kondisi terkena radiasi sinar matahari secara penuh. Selain itu asetonitril bersifat toksik dan karsogenik sehingga tidak dapat digunakan dalam DSSC komersial (Chmiel, 1998). Untuk mengurangi degradasi elektrolit maka digunakan elektrolit padat yang berbasis gel polimer PEG (*polyethylene glycol*) yang mengandung pasangan redoks (I/I_3^-) sebagai pengganti elektrolit cair. Penggunaan matriks polimer bagi pasangan redoks sebagai elektrolit padat pada sel surya tersensitasi *dye* telah dilakukan oleh beberapa kelompok peneliti, diantaranya menggunakan PEO (*polyethylene oxide*), PAN (*poluacrylonitrile*) dan PEG (Maddu, 2007).

d. Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodida pada TCO. Platina adalah material yang umum digunakan sebagai *counter electrode* pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam

aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metode yaitu elektrokimia, *sputtering*, *spin coating*, atau *pyrolysis*. Platina mempunyai kemampuan sifat katalitik yang tinggi dan merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay dan Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan elektroda pembanding dari karbon sebagai lapisan katalis. Elektroda karbon tersebut terbuat dari campuran karbon hitam, grafit bubuk dan nanokristalin partikel TiO_2 . Elektroda tersebut memiliki konduktivitas tinggi (resistansi $5 \Omega/\text{persegi}$ untuk tebal setiap lapisan 50 nm) diperoleh karena karbon hitam antar partikel grafit dihubungkan sesamanya, dengan TiO_2 yang digunakan sebagai pengikat. Elektroda ini aktif untuk reduksi triiodida seperti elektroda konvensional platina. Karena luas permukaannya yang tinggi, elektroda pembanding dari karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodida yang menyerupai elektroda platina (Septina, dkk. 2007).

Karbon aktif adalah bentuk mikrokristalin yang mempunyai permukaan dalam yang sangat besar, berkisar antara $300\text{-}2000 \text{ m}^2/\text{g}$. Karbon aktif digunakan dalam industri pangan maupun non pangan. Dalam industri pangan karbon aktif digunakan untuk menyerap gas dan peroksida yang menyebabkan kerusakan oksidatif pada minyak. Sedangkan untuk industri non pangan, karbon aktif berfungsi untuk memurnikan bahan-bahan kimia seperti asam sitrat, asam galat, dan lain sebagainya. Selain itu karbon aktif juga dapat digunakan sebagai absorben dan katalis (Nugrahawati, 2012).

e. Zat Warna (*Dye Sensitizer*)

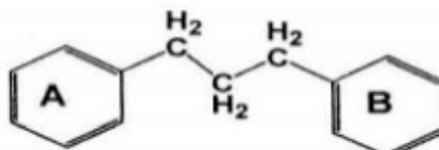
DSSC menggunakan material organik atau *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sinar matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dll. Zat warna dalam DSSC merupakan hal yang sangat penting karena cara kerja DSSC dimulai ketika cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel, diserap oleh *dye* yang sensitif terhadap cahaya matahari. Warna alami ini meliputi pigmen yang terdapat dalam bahan atau terbentuk melalui proses pemanasan, penyimpanan atau pemrosesan. Pigmen telah digunakan sejak zaman dahulu sebagai zat pewarna alami dalam makanan, obat-obatan, tekstil dan kosmetika. Zat pewarna alami kini telah banyak digantikan oleh pewarna buatan karena zat pewarna alami dipandang kurang stabil dan mudah mengalami perubahan baik fisik maupun kimia. Pigmen zat pewarna alami dapat diperoleh dari bahan alami antara lain (Smestad dan Gratzel, 1998) :

1. Karoten, menghasilkan warna jingga sampai merah, dapat diperoleh dari wortel, pepaya, daun jati, kunyit, dll.
2. Biksin, menghasilkan warna kuning, diperoleh dari biji pohon *Bixa Orellana*.
3. Karamel, menghasilkan warna coklat gelap merupakan hasil dari hidrolisis karbohidrat, gula pasir, laktosa, dll.
4. Klorofil, menghasilkan warna hijau, diperoleh dari daun suji, pandan, dll.
5. Antosianin, menghasilkan warna merah, oranye, ungu, biru, kuning, banyak terdapat pada bunga dan buah-buahan seperti buah anggur, *strawberry*, duwet, bunga mawar, kana, rosella, pacar air, kulit manggis, kulit rambutan, ubi jalar ungu, daun bayam merah, dll.

6. Tanin, menghasilkan warna cokelat, terdapat dalam getah.

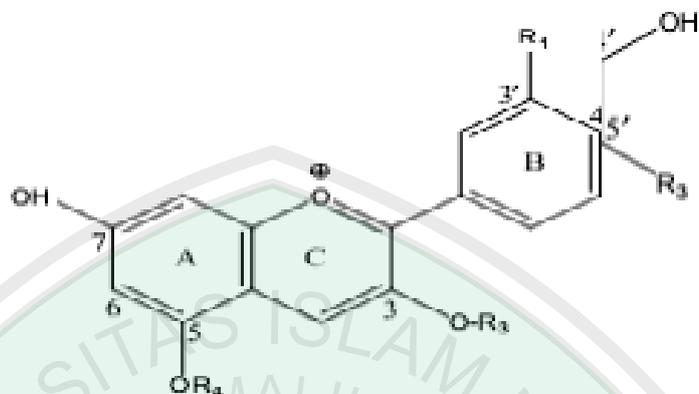
Pigmen zat warna pada tumbuhan merupakan sumber penting dalam berlangsungnya fotosintesis pada tumbuhan. Selain itu pigmen tersebut juga digunakan sebagai zat pewarna makanan atau tekstil (Noor, 2007). Serta pada perkembangannya juga digunakan sebagai obat-obatan (Pohan dan Ratna, 2010). Pigmen tumbuhan dapat digunakan sebagai *dye* dalam sel surya untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari (Gratzel, 2003). Penggunaan pewarna secara berlapis menghasilkan tegangan keluaran arus yang lebih besar dibandingkan *dye* tunggal (Dali, dkk. 2009).

Salah satu jenis dari pigmen adalah antosianin. Antosianin berasal dari bahasa Yunani, anthos yang berarti bunga dan kyanos yang berarti biru gelap. Antosianin merupakan pigmen yang larut dalam air, tersebar luas dalam bunga dan daun, serta menghasilkan warna dari merah sampai biru. Zat pewarna alami antosianin merupakan senyawa flavonoid yang tergolong ke dalam turunan benzopiran. Struktur utama turunan benzopiran ditandai dengan adanya dua cincin aromatik benzena (C_6H_6) yang dihubungkan dengan tiga atom karbon yang membentuk cincin (Moss, 2002).



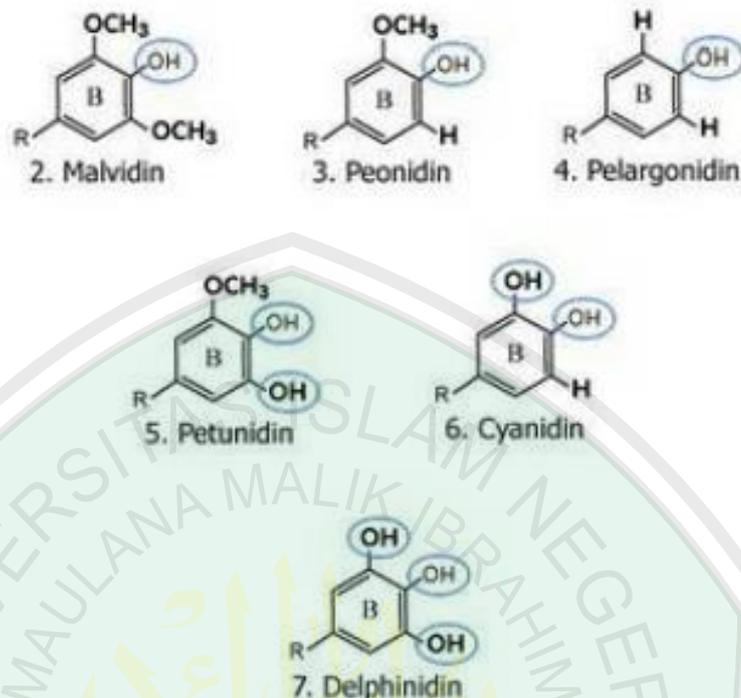
Gambar 2.9 Struktur Dasar Benzopiran (Moss, 2002)

Pada umumnya antosianin memiliki struktur dasar kation flavilium (AH^+), seperti gambar berikut (Ambarwati, 2014):



Gambar 2.10 Struktur Kation Flavilium (Ambarwati, 2014)

Antosianin merupakan suatu kelas dari senyawa flavonoid, yang secara luas terbagi dalam polifenol tumbuhan. Flavonol, flavan-3-ol, flavon, flavanon, dan flavanonol adalah kelas tambahan flavonoid yang berbeda dalam oksidasi dari antosianin. Antosianin adalah senyawa flavonoid dan merupakan glikosida dari antosianidin yang terdiri dari 2-phenyl benzopyrylium (Flavium) tersubstitusi, memiliki sejumlah gugus hidroksil bebas dan gugus hidroksil termetilasi yang berada pada posisi atom karbon yang berbeda. Seluruh senyawa antosianin merupakan senyawa turunan dari kation flavilium, dua puluh jenis senyawa telah ditemukan. Tetapi hanya enam yang memegang peranan penting dalam bahan pangan yaitu pelargonidin, sianidin, delphinidin, peonidin, petunidin, dan malvidin (Ambarwati, 2014).



Gambar 2.11 Beberapa Jenis Struktur Antosianin (Ambarwati, 2014)

Dye yang digunakan sebagai sensitizer bisa berupa *dye* sintesis seperti kompleks *Ruthenium Polyridyl* N3, *black dye*, N719, C101 dengan efisiensi ~11% maupun *dye* alami yang berasal dari berbagai macam pigmen seperti antosianin dari ekstrak kubis merah, betalain dari ekstrak lobak merah, flavonoid dari ekstrak botuje, karotenoid dari ekstrak *kerria japonica*, klorofil dari ekstrak ganggang laut dimana ekstrak tersebut dapat diperoleh dari daun, buah, bunga maupun biji (Ludin, 2014).

Penelitian tentang efisiensi *dye* alami telah banyak dilakukan namun efisiensi *dye* sintesis masih lebih tinggi dari pada *dye* alami yang hanya ~1%. Namun penggunaan *dye* sintetik memiliki kekurangan diantaranya preparasi yang sulit, biaya produksi yang mahal serta beresiko toksik terhadap lingkungan. Sehingga penggunaan *dye* alami menjadi alternatif yang sangat menarik untuk

dikembangkan dikarenakan mudah diperoleh, sumbernya tidak terbatas, memiliki koefisien absorpsi yang panjang, efisiensi menangkap cahaya tinggi, biaya produksi murah, preparasinya mudah dan ramah lingkungan (Luo, 2009).

Dye berfungsi sebagai penyerap cahaya yang terserap pada permukaan TiO_2 . Dalam mencapai efisiensi energi yang tinggi pada DSSC, maka penting mengetahui sifat-sifat molekul *dye*. Sifat tersebut dijelaskan sebagai berikut (Halme, 2002):

1. *Dye* harus menyerap cahaya pada panjang gelombang sampai sekitar 920 nm.
2. Energi eksitasi *dye* harus sedikit lebih tinggi dari pita konduksi TiO_2 , tetapi belum memiliki energi dorongan cukup untuk proses injeksi elektron. Oleh karena itu, maka keadaan dasar molekul (*dye*) harus memiliki sedikit energi di bawah potensi redoks elektrolit.
3. Proses injeksi elektron dari keadaan tereksitasi pada pita konduksi semikonduktor harus cepat sehingga tidak menimbulkan reaksi lain.
4. Molekul *dye* yang terserap harus cukup stabil ketika bekerja di lingkungan.
5. *Dye* mampu terabsorb pada semikonduktor.
6. Memiliki sifat praktis, seperti mudah larut pada pelarut yang digunakan untuk impregnasi.

2.5 Daun Jati

Tanaman jati yang tumbuh di Indonesia berasal dari India. Tanaman yang mempunyai nama ilmiah *Tectona grandis linn. F.* Secara historis, nama *tectona* berasal dari bahasa portugis (*tekton*) yang berarti tumbuhan yang memiliki kualitas tinggi. Di Negara asalnya, tanaman jati dikenal dengan banyak nama

daerah, seperti *ching-jagu* (di wilayah Asam), *saigun* (Bengali), *tekku* (Bombay), dan *kyun* (Burma). Tanaman ini dalam bahasa Jerman dikenal dengan nama *teckatau teakbun*, sedangkan di Inggris dikenal dengan naman *teak* (Sumarna, 2004).

Secara morfologis, tanaman jati memiliki tinggi yang dapat mencapai sekitar 30-45 m dengan pemangkasan, batang yang bebas cabang dapat mencapai antara 15-20 cm. Diameter batang dapat mencapai 220 cm. Kulit kayu berwarna kecoklatan atau abu-abu yang mudah terkelupas. Pangkal batang berakar papan pendek dan bercabang sekitar 4. Daun berbentuk jantung membulat dengan ujung meruncing, berukuran panjang 20-50 cm dan lebar 15-40 cm, permukaannya berbulu. Daun muda (*petiola*) berwarna hijau kecoklatan, sedangkan daun tua berwarna hijau tua keabu-abuan. Tanaman jati tergolong tanaman yang menggugurkan daun pada saat musim kemarau, antara bulan Nopember hingga Januari. Setelah gugur, daun jati akan tumbuh lagi pada bulan Januari atau Maret. Tumbuhnya daun ini juga secara umum ditentukan oleh kondisi musim (Sumarna, 2004).



Gambar 2.12 Daun jati (Kembaren, 2013)

Berdasarkan hasil identifikasi sampel daun jati yang dilakukan di Hebarium Medanense, diperoleh klasifikasi tumbuhan sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Spermatophyta*

Class : *Dicotylodona*

Ordo : *Solanales*

Famili : *Verbenaceae*

Genus : *Tectona*

Spesies : *Tectona grandis L.f.*

Daun jati muda memiliki kandungan beberapa senyawa pigmen terutama antosianin. Senyawa antosianin ini memberikan warna merah, ungu, hingga merah gelap. Antosianin merupakan senyawa flavonoid yang memiliki kemampuan sebagai antioksidan (Ariviani, 2010). Pemanfaatan daun jati sebagai sumber pewarna dapat meningkatkan nilai ekonomis dan nilai guna daun tersebut. Pemanfaatan kandungan senyawa antosianin pada daun jati akan menghasilkan pewarna alami yang aman bagi kesehatan maupun lingkungan.

Daun jati muda memiliki kandungan pigmen alami yang terdiri dari pheophiptin, β -karoten, pelargonidin 3-glukosida, pelargonidin 3,7-diglukosida, klorofil dan dua pigmen lain yang belum diidentifikasi. Kulit daun jati mengandung bahan kimia yang terdiri dari asam, damar dan zat samak. Kandungan kimia yang terkandung dalam daunnya yaitu zat pahit, glukosa dan lemak. Efek farmakologis daun jati yaitu sebagai anti diare, astringen dan menguruskan badan dengan cara melarutkan lemak (Ati dkk, 2006).

2.6 Buah Mangsi

Buah mangsi atau dikenal dengan nama tampal besi (*Phyllanthus reticulatus* Poir atau *anisonema dubium* BL) termasuk ke dalam famili tumbuhan *Euphorbiaceae*. Tanaman ini dikenal dengan nama daerah: cocarenean, wawulitan, rembilu, congcongbelut, woriintalun. Tanaman ini dapat ditemukan di seluruh daerah yang beriklim tropis (2000 m di atas permukaan air laut). Di Indonesia tanaman ini didapatkan di pekarangan atau di kebun-kebun yang tanahnya tandus biasanya hidup liar sebagai tanaman pagar, sebagian kecil hidup pada hutan. Setiap 1 tanaman buah mangsi menghasilkan \pm 50 gram buah mangsi. Dalam 1 hektar tanah terdapat \pm 6000 pohon atau dapat menghasilkan 300 kilogram buah mangsi per bulan. Di Indonesia batang dan tangkainya dapat dimanfaatkan sebagai obat. Kandungan kimia untuk tanaman ini belum banyak diketahui tetapi dalam farmakologi tanaman ini memiliki sifat Tawar, kelat (astringen), netral dan sedikit beracun, melancarkan peredaran darah dan anti radang (Isnaini, 2009).

Deskripsi Botani Buah mangsi (Isnaini, 2009):

- a. Family : *Euphorbiaceae*
- b. Spesies : *Phyllanthus reticulatus*
- c. Varietas : *Reticulatus*
- d. Akar (*Radix*) : Akar tunggang yang bercabang
- e. Jenis batang (*caulis*) : Berkayu (lignosus) dan bentuk penampang batang bulat dan berwarna coklat keabu-abuan.
- f. Daun (*folium*) : Daun Majemuk menyirip berseling.
- g. Susunan tulang : Daun bertulang menyirip (*penninervis*).

- h. Ujung Daun : Tumpul (*obtusus*).
- i. Jenis Buah (*Fructus*) : Buah sejati majemuk ($\emptyset = 7$ mm)
- j. Bersifat *UniSexual* : Berjenis kelamin satu (bunga jantan saja / bunga betina saja)



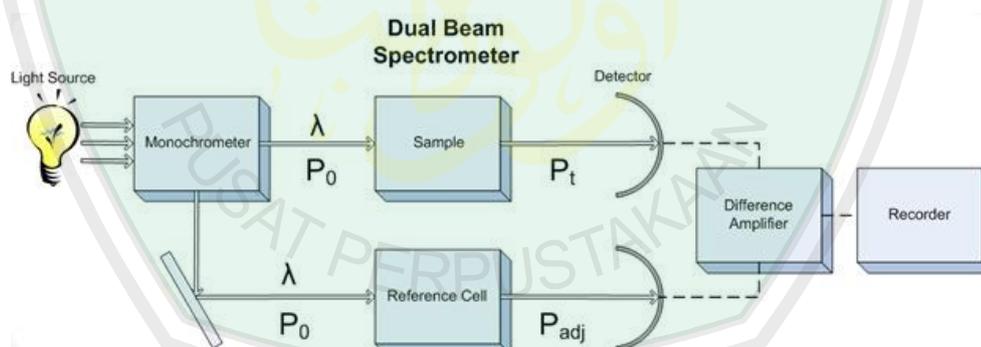
Gambar 2.13 Buah Mangsi (Isnaini, 2009)

2.7 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu metode identifikasi gugus fungsi dari sampel. Spektrum yang diabsorpsi oleh suatu senyawa adalah sejumlah sinar yang diserap oleh satu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Untuk senyawa berwarna akan memiliki satu atau lebih penyerapan spektrum yang tertinggi di daerah spektrum tampak (400-700 nm). Spektrum yang terserap pada ultraviolet (200-400 nm) dan daerah tampak terjadi karena adanya perubahan energi elektron terluar dari molekul yang disebabkan adanya ikatan atau bukan ikatan. Umumnya elektron yang berpindah tempat ini disebabkan adanya ikatan rangkap karbon-karbon atau pasangan nitrogen dengan oksigen. Biasanya cahaya tampak merupakan campuran dari cahaya yang mempunyai berbagai panjang gelombang, dari 400-700 nm. Transisi yang penting pada daerah ultraviolet dan

tampak yaitu transisi $n \rightarrow \pi^*$ dan $\pi \rightarrow \pi^*$, sedangkan transisi $n \rightarrow \sigma^*$ jarang terjadi (Fessenden dan Fessenden, 1982).

Pengertian spektroskopi dan spektrofotometri pada dasarnya sama yaitu di dasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik. Namun pengertian spektrofotometri lebih spesifik atau pengertiannya lebih sempit karena ditunjukkan pada interaksi antara materi dengan cahaya (baik yang dilihat maupun tidak terlihat). Sedangkan pengertian spektroskopi lebih luas misalnya cahaya maupun medan magnet termasuk gelombang elektromagnetik. Interaksi antara materi dengan cahaya disini adalah terjadi penyerapan cahaya, baik cahaya UV, Vis maupun IR oleh materi sehingga spektrofotometri disebut juga sebagai spektroskopi absorpsi (Umam, 2012).



Gambar 2.14 Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis (Umam, 2012)

Spektrum serapan ultraviolet dan tampak tidak didasarkan pada getaran atom dalam molekul tetapi pada kenyataan bahwa elektron tertentu yang terikat longgar dapat ditingkatkan ke arah energi yang lebih tinggi dengan menyerap radiasi yang berpanjang gelombang khas yang sesuai. Karena alasan itu spektrum ultraviolet dan tampak dapat dikelompokkan sebagai spektrum elektron. Dari segi

teori tidak ada perbedaan antara keduanya. Oleh karenanya penyerapan memerlukan adanya elektron yang terikat longgar, molekul yang mempunyai ikatan tak jenuh merupakan molekul yang menyerap di daerah UV (Umam, 2012).

Spektrofotometer UV-Vis yang pertama kali diperkenalkan untuk analisis kuantitatif adalah spektrofotometer UV-Vis dengan sistem optik radiasi berkas tunggal (*single beam*). Kemudian dengan kemajuan teknologi mulai dipopulerkan spektrofotometer UV-Vis radiasi berkas ganda (*double beam*). Salah satu kelemahan spektrofotometer radiasi berkas ganda adalah tidak mungkin kedua kuvet yang dipakai adalah benar-benar identik, dan intensitas radiasi yang menuju kedua kuvet juga tidak mungkin sama. Oleh sebab itu pada era terakhir ini sistem optik spektrofotometer UV-Vis cenderung kembali ke sistem optik radiasi berkas tunggal, karena ketepatan dan ketelitian pengukurannya lebih baik dari pada sistem optik radiasi berkas ganda. Sedangkan sistem optik radiasi berkas terpisah (*splitter beam*) pada prinsipnya adalah sama dengan sistem optik radiasi berkas tunggal, hanya saja peralatan optiknya lebih rumit sehingga memungkinkan terjadinya penurunan intensitas radiasi setelah melalui rangkaian sistem yang rumit dan panjang (Wardani, 2012).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimen untuk membuat DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) dengan bahan semikonduktor MgO-SnO₂ serta menggunakan *dye* dari ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *sensitizer*. Kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansinya, dan dianalisis sifat listriknya menggunakan multimeter digital.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Januari 2016, bertempat di Laboratorium Riset Material Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Fisika Zat Padat FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.3 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Neraca Digital
2. *Oven*
3. *Beaker Glass*
4. Spatula
5. Mortar dan alu
6. Cawan Petri
7. *Magnetic Stirrer*

8. Multimeter digital
9. *Scotch tape*
10. Pemotong kaca
11. Penjepit kertas
12. Gunting
13. Ayakan
14. *Ultrasonic Cleaner*
15. *Spektrofotometer UV-Vis*
16. Resistor (100 k Ω , 200 k Ω , 300 k Ω , 400 k Ω , 470 k Ω , 660 k Ω , 880 k Ω , 1 M Ω dan 2,2 M Ω)

3.4 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Serbuk semikonduktor MgO-SnO₂
2. Polivinil Alkohol (PVA)
3. Akuades
4. Pensil 2B
5. Iodin
6. Kalium Iodida
7. Kaca konduktif (LCD)
8. PEG
9. Daun jati
10. Buah mangsi
11. *Chloroform*

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pembuatan DSSC

1. Pembersihan Kaca LCD (Zamrani, 2013)

- a. Kaca LCD dipotong menjadi ukuran 2 cm x 2 cm.
- b. Kaca LCD yang telah dipotong dimasukkan pada *beaker glass* yang berisi aquades dan sabun pencuci piring kemudian disterilkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 60 menit.
- c. *Scotch tape* direkatkan pada sisi kaca LCD seperti pada gambar 3.1 sehingga diperoleh area pendeposisian dengan ukuran 1,5 cm × 1,5 cm.



Gambar 3.1 Pelapisan *Scotch Tape* pada Kaca LCD

2. Pembuatan Pasta MgO-SnO₂

- a. PVA sebanyak 0,5 gram dilarutkan dalam 10 mL aquades menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 350 rpm pada suhu 80 °C sampai membentuk gel.
- b. Serbuk MgO-SnO₂ sebanyak 0,5 gram dicampur dengan PVA sebanyak 2 tetes kemudian digerus hingga membentuk pasta.

3. Pelapisan MgO-SnO₂ pada Substrat

- a. Pasta MgO-SnO₂ dilapisan pada substrat LCD menggunakan metode *doctor Blade*.
- b. Lapisan MgO-SnO₂ dikeringkan di udara terbuka selama 15 menit kemudian dipanaskan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 20 menit.

4. Pembuatan Elektroda Pembanding (Septiana, dkk. 2007)

- a. Substrat LCD dilapisi dengan scotch tape seperti pada gambar 3.1
- b. Pensil 2B digoreskan searah pada substrat LCD yang tidak terlapisi scotch tape sehingga terbentuk lapisan karbon aktif.
- c. Lapisan karbon aktif dipanaskan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 20 menit.

5. Pembuatan Elektrolit Gel

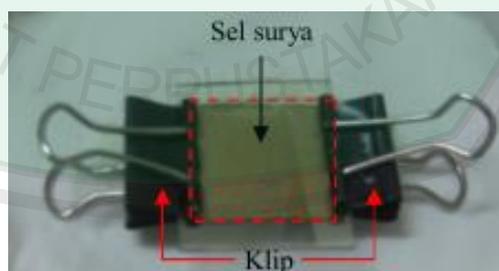
- a. Larutan elektrolit iodida/triiodida dibuat dari kalium iodida (KI) sebanyak 3 gram dicampurkan ke dalam 3 mL iodine dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit sehingga membentuk larutan dengan konsentrasi 0,5 M.
- b. 2,5 gram PEG dilarutkan ke dalam aquades 5 mL *chloroform* dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit sehingga membentuk konsentrasi 0,05 M.
- c. Kedua larutan dicampur dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 60 °C kemudian dimasukkan ke dalam botol tertutup.

6. Pembuatan Bahan *Dye*

- a. Daun jati dan buah mangsi dicuci sampai bersih.
- b. Masing-masing bahan ditimbang sebanyak 20 gram.
- c. Daun jati dan buah mangsi masing-masing dihancurkan menggunakan *blender* yang sebelumnya ditambahkan dengan aquades. Dengan perbandingan 1:3 untuk daun jati dan 2:3 untuk buah mangsi.
- d. Hasil penghalusan disaring kemudian dimasukkan dalam botol yang ditutup rapat dengan aluminium foil dan disimpan dalam lemari es.
- e. Elektroda kerja direndam dalam *dye* selama 6 jam, 12 jam dan 18 jam.

7. Perakitan DSSC

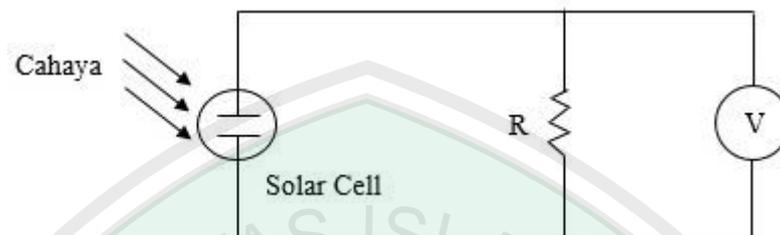
- a. Elektroda pembanding dilapisi dengan elektrolit redoks sebanyak 2 tetes.
- b. Elektroda pembanding (*counter electrode*) dan elektroda kerja ditempelkan secara berhadapan kemudian dijepit menggunakan klip kertas seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pembuatan *Prototipe* DSSC

- c. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber lampu halogen dan sinar matahari.

- d. Rangkain DSSC diukur nilai intensitas cahaya, tegangan dan arus menggunakan *multimeter digital*.



Gambar 3.3 Rangkaian Uji Listrik DSSC

3.6 Teknik Pengambilan Data

3.6.1 Karakterisasi Absorbansi Lapisan Semikonduktor MgO-SnO₂/Dye

Karakterisasi larutan *Dye* dilakukan di Laboratorium Fisika Zat Padat FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Lapisan semikonduktro MgO-SnO₂ yang telah direndam dalam *dye* dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui daya serap dan panjang gelombang lapisan tersebut.

Tabel 3.1 Tabel Pengujian UV-Vis

No.	<i>Dye sensitizer</i>	A (a.u)	λ (nm)
1	Buah mangsi		
2	Daun jati		

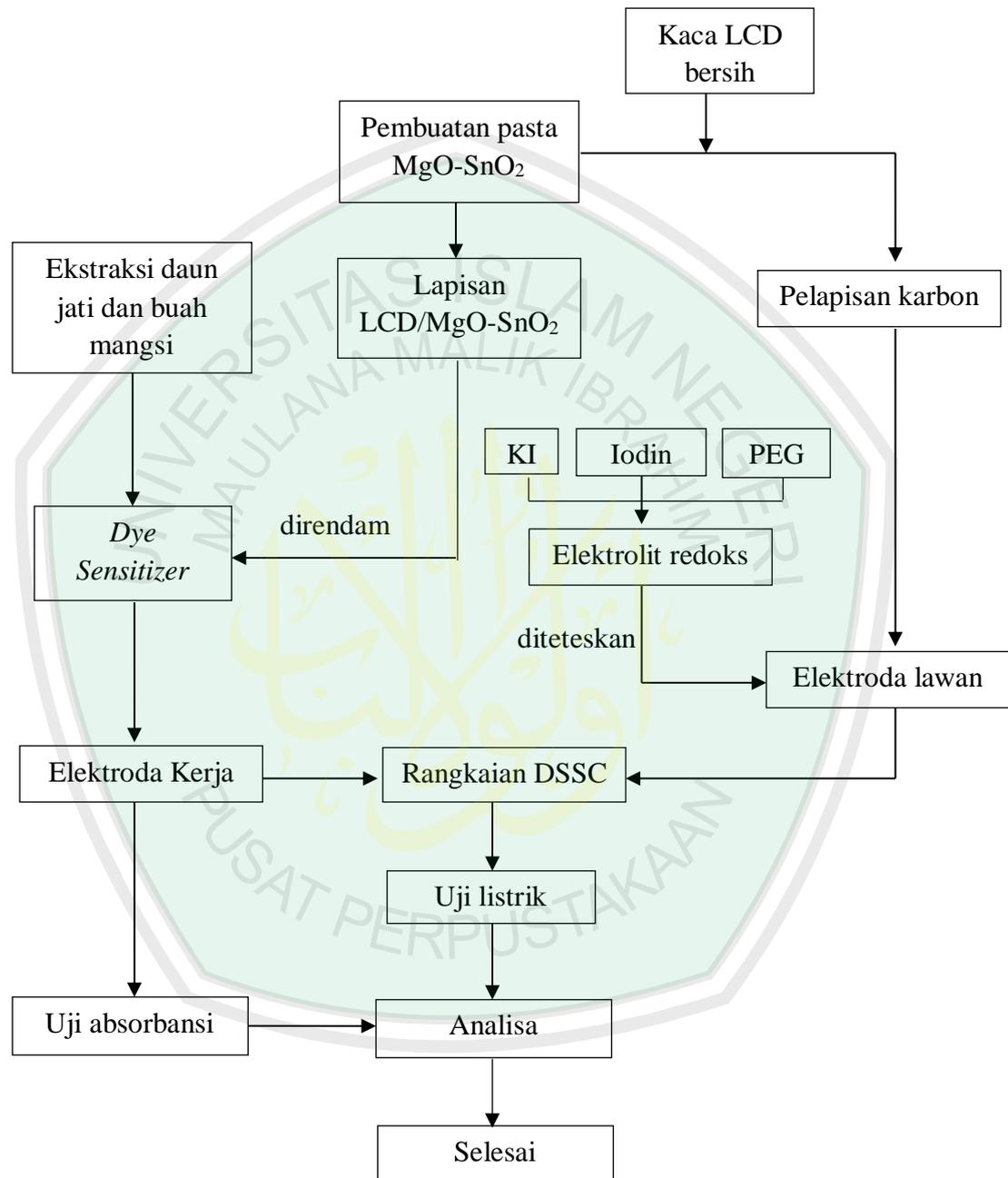
3.6.2 Pengujian Efisiensi DSSC

Lapisan DSSC yang terbentuk diukur arus dan tegangannya dengan menggunakan *multimeter digital*. Sumber cahaya menggunakan sinar matahari dan lampu halogen yang diarahkan tegak lurus terhadap permukaan sel surya.

Tabel 3.2 Tabel Pengujian Efisiensi DSSC

<i>Dye sensitizer</i>	Waktu perendaman	V(Volt)	I(A)	P(Watt)	η (%)
Daun jati	6 Jam				
	12 Jam				
	18 Jam				
Buah mangsi	6 Jam				
	12 Jam				
	18 Jam				
Tanpa perendaman					

3.7 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Proses perakitan DSSC dimulai dengan mempersiapkan material komponen penyusun DSSC. Material penyusun DSSC terdiri dari: elektroda kerja yang meliputi substrat LCD, pasta semikonduktor MgO-SnO₂, elektrolit, ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer*, serta elektroda lawan. Absorbansi lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ pada kaca LCD yang telah direndam dengan ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer* dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sedangkan pengujian performansi DSSC dilakukan menggunakan lampu halogen dan multimeter digital.

4.1.1 Preparasi Sampel

Tahap awal dari preparasi sampel DSSC dilakukan dengan memotong kaca LCD yang mempunyai resistansi sebesar 60-200 Ω menjadi ukuran 2 cm x 2 cm. Untuk meningkatkan transmisi pada kaca maka potongan kaca LCD diampelas hingga bening, namun tidak menghilangkan sifat konduktif pada kaca LCD. Selanjutnya, potongan kaca tersebut dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang telah berisi aquades dan sabun pencuci piring. *Beaker glass* berisi kaca LCD dan larutan pembersih dimasukkan ke dalam *ultrasonic cleaner* selama 60 menit untuk membersihkan kaca dan menghilangkan partikel-partikel yang tidak diperlukan. Kaca yang telah dibersihkan diberi pembatas menggunakan *scotch tape* dengan ukuran 1,5 cm x 1,5 cm sebagai daerah pendeposisian bahan semikonduktor

MgO-SnO₂ yang berperan sebagai elektroda kerja dan pendeposisi dengan karbon aktif sebagai elektroda lawan (*counter electrode*).

Serbuk semikonduktor MgO-SnO₂ didapatkan dari penelitian sebelumnya (Fitriya, 2015). Komposit semikonduktor MgO-SnO₂ didapatkan dengan mencampurkan serbuk MgO (Merck KgA 64271, Germany) dan serbuk SnO₂ (Merck KgA 99%) dengan komposisi 7:3. Komposit tersebut dicampur dalam keadaan basah (*wet milling*) dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm serta menggunakan alkohol 96% sebanyak 100 mL sebagai pelarut. Proses pencampuran dilakukan selama 3 jam pada temperatur 50 °C dan 2 jam pada temperatur 100 °C, kemudian dikeringkan di udara terbuka. Campuran MgO-SnO₂ yang sudah kering digerus dengan menggunakan alu, kemudian diayak hingga diperoleh serbuk yang halus. Hasil ayakan tersebut dipanaskan pada temperatur kalsinasi sebesar 600 °C selama 1 jam. Pembuatan pasta MgO-SnO₂ dilakukan dengan menimbang 0,5 gram Polivinil Alkohol (PVA) dan dilarutkan dalam 10 mL aquades. Larutan tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* (cimarec) pada kecepatan 350 rpm dengan temperatur 80 °C sampai homogen dan membentuk gel. Kemudian menimbang serbuk semikonduktor MgO-SnO₂ sebanyak 0,5 gram dan dihaluskan menggunakan mortar yang sebelumnya ditambahkan 2 tetes larutan PVA. Penambahan PVA bertujuan untuk mempermudah ikatan pasta pada substrat. Pasta MgO-SnO₂ tersebut dilapiskan pada daerah deposisi kaca LCD yang telah dipersiapkan sebelumnya dengan menggunakan metode *doctor blade*. Kemudian dikeringkan di udara terbuka selama 15 menit. *Scotch tape* yang masih menempel pada kaca dilepas secara

perlahan sehingga lapisan pasta membentuk persegi ukuran 1,5 cm x 1,5 cm. Penggunaan *scotch tape* bertujuan untuk mengontrol ketebalan lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ pada kaca LCD, yaitu sekitar 30 μm. Kaca LCD yang telah dilapisi dengan semikonduktor MgO-SnO₂ dipanaskan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 20 menit. Proses pemanasan bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada lapisan semikonduktor yang terbentuk serta meratakan kristal MgO-SnO₂ sehingga merekat pada sisi konduktif kaca LCD.

Elektroda lawan dibuat dengan melapiskan karbon pada kaca LCD. Karbon yang digunakan berasal dari pensil 2B yang diarsir searah pada sisi konduktif kaca LCD. Kemudian dipanaskan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 20 menit. Pemanasan tersebut dimaksudkan agar partikel karbon menempel merata pada kaca LCD dan menghilangkan senyawa organik, yaitu lilin yang terdapat dalam kandungan karbon pensil. Kandungan pensil 2B dalam penelitian Sousa (2000) terdiri dari 74 % grafit, 20 % lempung (*clay*), dan 5 % lilin (*wax*). Penggunaan karbon pada elektroda lawan berfungsi sebagai katalis dalam mempercepat reaksi oksidasi yang terjadi dalam elektrolit redoks.

Larutan elektrolit dibuat dengan melarutkan 3 gram kalium iodida (KI) ke dalam 3 mL dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit sehingga membentuk larutan dengan konsentrasi 0,5 M. 2,5 gram PEG dilarutkan ke dalam 5 mL *chloroform* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Kedua larutan tersebut dicampur dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada temperatur 60 °C kemudian dimasukkan ke dalam botol tertutup.

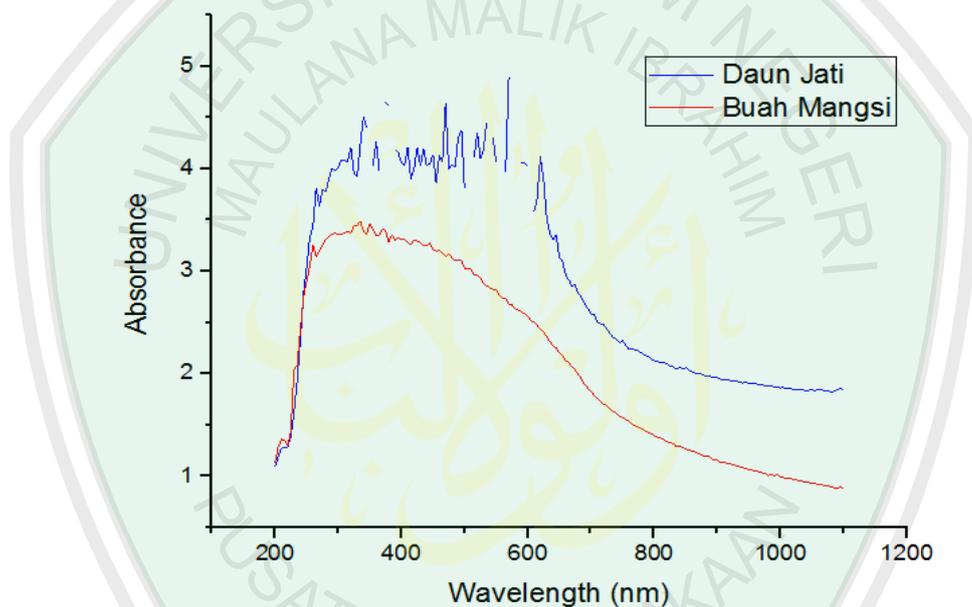
Dye terbuat dari ekstrak daun jati dan buah mangsi. Daun jati dan buah mangsi yang akan diekstrak, dicuci bersih dan ditimbang masing-masing 20 gram. Kemudian dihancurkan menggunakan blender yang sebelumnya ditambahkan aquades dengan perbandingan 1:3 untuk daun jati dan 2:3 untuk buah mangsi. Hasil penghalusan disaring menggunakan kertas saring, hasil penyaringan dimasukkan ke dalam botol dan ditutup dengan aluminium foil kemudian disimpan dalam lemari es. Elektroda kerja direndam dalam *dye* selama 6 jam, 12 jam, dan 18 jam.

Perakitan DSSC dilakukan dengan menempelkan elektroda lawan dan elektroda kerja secara berhadapan. Sisi kedua elektroda dijepit menggunakan klip kertas. Di antara kedua elektroda tersebut diteteskan elektrolit redoks sebanyak dua tetes. Fungsi penjepitan adalah untuk mempermudah penghimpitan kedua elektroda, sehingga dapat saling terhubung antara elektrolit dengan kedua elektroda. Penjepitan kedua sisi sel juga berguna untuk menjaga kedua elektroda sel tidak lepas pada saat pengukuran sel surya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber lampu halogen dan sinar matahari. Diukur nilai intensitas cahaya, tegangan dan arus pada rangkaian uji DSSC.

4.1.2 Pengujian Absorbansi Lapisan DSSC

Pengujian spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Fisika Zat Padat FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian ini menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Genesys 10S UV-Vis v4.003 2L9P286007). Pada spektrofotometer UV sinar kontinyu dihasilkan oleh lampu muatan *hydrogen* atau *deuterium*, sedangkan sinar *visible* dihasilkan oleh lampu *wolfram*.

Uji karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk mengetahui daya serap (absorbansi) dari lapisan semikonduktor MgO-SnO_2 dengan substrat LCD yang telah direndam dalam ekstrak daun jati dan buah mangsi sebagai *dye sensitizer*. Hasil karakterisasi absorbansi lapisan semikonduktor dengan substrat LCD yang direndam dalam *dye sensitizer* daun jati dan buah mangsi berperan sebagai elektroda kerja ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji UV-Vis Lapisan Semikonduktor MgO-SnO_2 Menggunakan *Dye Sensitizer* Daun Jati dan Buah Mangsi

Plot grafik hasil karakterisasi absorbansi pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa spektrum serapan lapisan semikonduktor MgO-SnO_2 di atas substrat LCD yang direndam menggunakan *dye sensitizer* daun jati terdapat pada daerah 300-600 nm dan menyerap pada panjang gelombang maksimum 570 nm (*visible*) dengan absorbansi sebesar 4,895 a.u, sedangkan buah mangsi menyerap pada daerah 300-500 nm dan memiliki panjang gelombang maksimum 350 nm (UV)

dengan absorbansi 3,468 a.u. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa spektrum lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ menggunakan *dye sensitizer* daun jati lebih tinggi dari pada perendaman dengan menggunakan buah mangsi.

Tabel 4.1 Absorbansi Maksimum Lapisan Semikonduktor MgO-SnO₂ dengan Variasi *Dye Sensitizer*

No.	<i>Dye sensitizer</i>	λ (nm)	A (a.u)
1.	Daun jati	570	4,895
2.	Buah mangsi	350	3,468

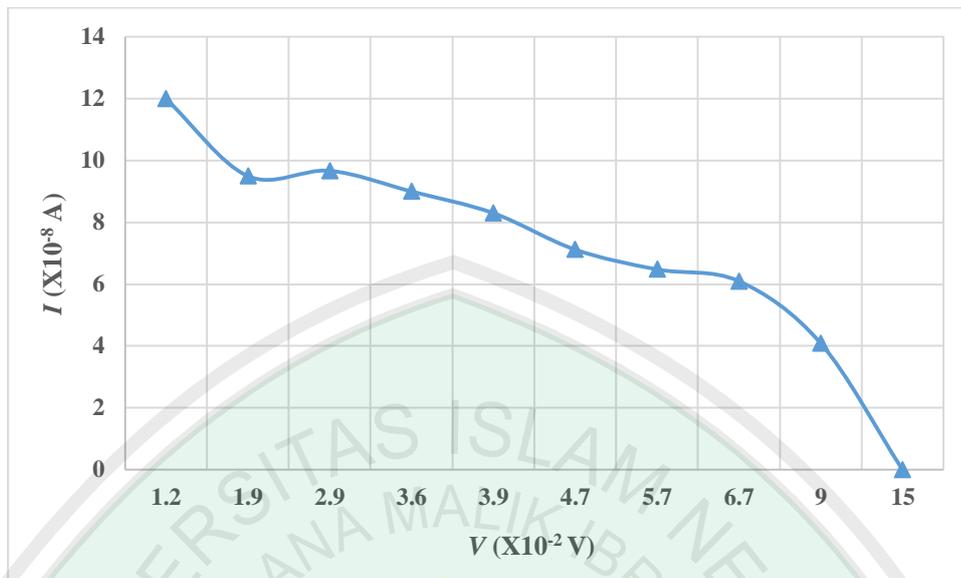
4.1.3 Pengujian Performansi DSSC

Pengujian performansi DSSC dilaksanakan di Laboratorium Listrik Magnet Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Sumber cahaya yang digunakan berasal dari sinar matahari dan lampu halogen. Intensitas lampu halogen yang digunakan sebesar 235 lux atau setara dengan 35,15 Watt/m². Pengukuran sifat listrik dilakukan menggunakan multimeter digital yaitu dengan menempatkan kutub positif pada elektroda kerja dan kutub negatif pada elektroda lawan. Parameter yang diukur berupa arus (I) dan tegangan (V), hasil pengukuran ditampilkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan DSSC

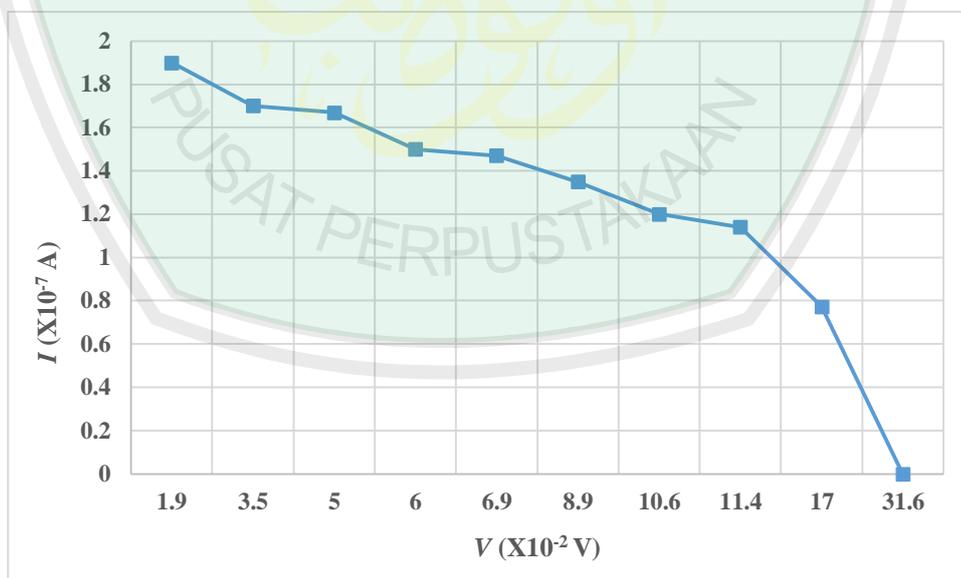
R(Ω)	Daun Jati		Buah Mangsi	
	V(V)	I(A)	V(V)	I(A)
0	0	-	0	-
100k	0,012	$1,20 \times 10^{-7}$	0,019	$1,90 \times 10^{-7}$
200k	0,019	$9,50 \times 10^{-8}$	0,035	$1,75 \times 10^{-7}$
300k	0,029	$9,67 \times 10^{-8}$	0,05	$1,67 \times 10^{-7}$
400k	0,036	$9,00 \times 10^{-8}$	0,06	$1,50 \times 10^{-7}$
470k	0,039	$8,30 \times 10^{-8}$	0,069	$1,47 \times 10^{-7}$
660k	0,047	$7,12 \times 10^{-8}$	0,089	$1,35 \times 10^{-7}$
880k	0,057	$6,48 \times 10^{-8}$	0,106	$1,20 \times 10^{-7}$
1 M	0,061	$6,10 \times 10^{-8}$	0,114	$1,14 \times 10^{-7}$
2.2 M	0,09	$4,09 \times 10^{-8}$	0,17	$7,73 \times 10^{-8}$
∞	0,15	0	0,316	0

Grafik hubungan I - V DSSC berbahan semikonduktor MgO-SnO₂ dengan menggunakan *dye sensitizer* daun jati yang direndam selama 6 jam. Pengujian dilakukan dengan sumber sinar dari lampu halogen ditunjukkan oleh gambar 4.2.



Gambar 4.2 Karakteristik I - V DSSC Menggunakan Dye dari Daun Jati dan Penyinaran dengan Lampu Halogen

Grafik hubungan I - V DSSC berbahan semikonduktor MgO - SnO_2 dengan menggunakan dye sensitizer buah mangsi yang direndam selama 6 jam. Pengujian dilakukan dengan sumber sinar dari lampu halogen ditunjukkan oleh gambar 4.3.



Gambar 4.3 Karakteristik I - V DSSC Menggunakan Dye dari Buah Mangsi dan Penyinaran dengan Lampu Halogen

Gambar 4.2 dan 4.3 merupakan grafik kurva I - V yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan multimeter digital dengan variasi resistor, mulai hambatan nol (0) sampai tak hingga (∞). Parameter yang dapat diketahui dari grafik I - V adalah arus *short circuit* I_{sc} , tegangan *open circuit* V_{oc} , arus maksimum I_m dan tegangan maksimum V_m . I_{sc} merupakan arus yang muncul ketika hambatan $R = 0$, sedangkan V_{oc} merupakan tegangan muncul ketika hambatan $R = \infty$. Sementara I_m dan V_m merupakan arus dan tegangan yang menghasilkan daya maksimum. Dari kurva I - V pada gambar 4.2 dan 4.3 diketahui bahwa V_{oc} yang dihasilkan dengan perendaman daun jati adalah 0,15 V, sedangkan dengan perendaman ekstrak buah mangsi sebesar 0,316 V. Nilai I_{sc} tidak dapat diketahui karena arus terlalu kecil. Daya maksimum diperoleh dari perkalian arus dan tegangan maksimum, untuk mengetahui nilai arus yang dihasilkan dari DSSC dapat menggunakan pendekatan hukum Ohm, yaitu menggunakan persamaan :

$$I = \frac{V}{R}$$

Data hasil pengukuran tegangan dan arus dapat digunakan untuk menghitung daya (P) dan efisiensi (η) dengan menggunakan persamaan :

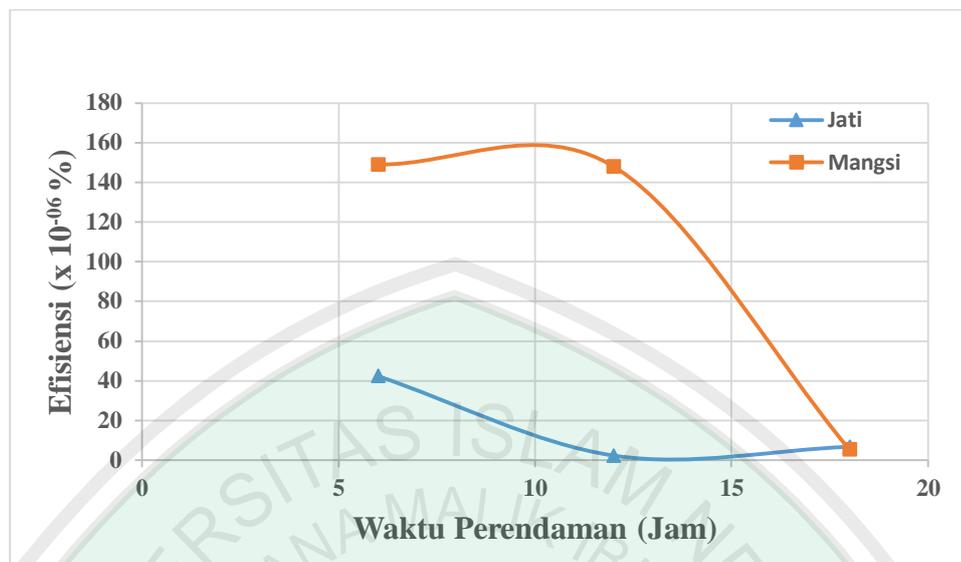
$$\eta = \frac{P}{i \cdot A} \times 100\%$$

dengan η adalah efisiensi, P adalah daya yang merupakan hasil kali dari tegangan (V) dan arus (I), i adalah intensitas cahaya dan A adalah luasan kaca LCD. Hasil perhitungan performansi DSSC ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Performansi DSSC dengan Sumber Cahaya dari Lampu Halogen

<i>Dye sensitizier</i>	Waktu perendaman	V(Volt)	I(A)	P(Watt)	η (%)
Daun jati	6 Jam	0,061	$6,10 \times 10^{-8}$	$3,72 \times 10^{-9}$	$4,234 \times 10^{-5}$
	12 Jam	0,021	$9,55 \times 10^{-9}$	2×10^{-10}	$2,281 \times 10^{-6}$
	18 Jam	0,036	$1,64 \times 10^{-8}$	$5,89 \times 10^{-10}$	$6,7 \times 10^{-6}$
Buah mangsi	6 Jam	0,17	$7,73 \times 10^{-8}$	$1,31 \times 10^{-8}$	$1,49 \times 10^{-4}$
	12 Jam	0,069	2×10^{-7}	$1,38 \times 10^{-8}$	$1,48 \times 10^{-4}$
	18 Jam	0,032	$1,46 \times 10^{-8}$	$4,71 \times 10^{-10}$	$5,36 \times 10^{-6}$
Tanpa perendaman		$3,85 \times 10^{-4}$	$3,85 \times 10^{-9}$	$1,48 \times 10^{-12}$	$1,68 \times 10^{-8}$

Hasil pengukuran peromansi DSSC menunjukkan efisiensi DSSC dengan menggunakan lampu halogen sebagai sumber cahaya. Hasil uji listrik tersebut menyatakan bahwa efisiensi DSSC dengan menggunakan ekstrak buah mangsi lebih tinggi dari pada penggunaan ekstrak daun jati sebagai *dye sensitizier*. Efisiensi tertinggi dari DSSC dengan menggunakan ekstrak daun jati sebagai *dye sensitizier* didapatkan pada perendaman selama 6 jam yaitu $4,234 \times 10^{-5}$ %, sedangkan yang menggunakan ekstrak buah mangsi diperoleh pada perendaman selama 6 jam yaitu $1,49 \times 10^{-4}$ %. Grafik hubungan waktu perendaman dengan efisiensi ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Waktu Perendaman dengan Efisiensi

4.2 Pembahasan

Prinsip kerja DSSC melibatkan tiga proses utama yaitu eksitasi *dye* oleh foton, pemanfaatan pita konduksi dan reaksi redoks pada larutan elektrolit. Foton yang melewati kaca konduktif diabsorpsi oleh fotosensitizer dan mengeksitasi elektron dari *dye* ke keadaan tereksitasi. Melalui transfer muatan, elektron yang berada pada keadaan tereksitasi akan turun ke pita konduksi dari semikonduktor, elektron akan mengalir lewat elektroda menuju elektroda lawan. Elektroda lawan akan bereaksi dengan elektrolit yang menyebabkan terjadinya reaksi redoks pada elektrolit. Reaksi redoks pada elektrolit pada gilirannya akan memberikan elektron kepada fotosensitizer dan siap untuk dieksitasi lagi untuk memulai siklus berikutnya.

Gambar 4.1 menunjukkan nilai absorbansi lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ menggunakan *dye* daun jati lebih tinggi daripada lapisan MgO-SnO₂ yang direndam dalam *dye* buah mangsi. Hal ini berbanding terbalik dengan penelitian

Yulianti (2015) yang menyatakan bahwa buah mangsi menyerap spektrum hijau yaitu pada panjang gelombang 500-560 nm (Pancaningtyas, 2010) dan memiliki kandungan flavonoid dengan panjang gelombang 530 nm di daerah *visible*. Penelitian sebelumnya menunjukkan ekstrak daun jati memiliki serapan cahaya pada panjang gelombang 278,8-332,9 nm (Munandar, 2014). Nilai absorbansi lapisan dengan *dye* buah mangsi menurun dikarenakan ekstrak buah mangsi mengalami degradasi sebelum dilakukan pengujian UV-Vis dan lapisan *dye* yang terbentuk pada semikonduktor kurang rata. Nilai absorbansi elektroda kerja tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, daya serap *dye sensitizer*, tebal lapisan semikonduktor pada kaca LCD serta ukuran butir bahan semikonduktor. Semikonduktor MgO-SnO₂ dan *dye sensitizer* masing-masing mempunyai nilai absorbansi yang berbeda-beda, sehingga lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ dengan ekstrak buah mangsi dan daun jati yang berperan sebagai elektroda kerja menghasilkan nilai absorbansi lapisan.

Menurut Fitriya (2015) fasa MgO menyerap pada panjang gelombang 510 nm, SnO₂ menyerap pada daerah *visible*, fasa Mg₂SnO₄ menyerap pada panjang gelombang rendah antara 200-400 nm dan fasa MgSnO₃ menyerap panjang gelombang pada daerah *visible*. Ningtyas (2015) menyatakan bahwa absorbansi maksimum bahan campuran MgO-SnO₂ menyerap pada rentang panjang gelombang 300-400 nm dan mempunyai absorbansi 0,7-1,5 a.u pada daerah sinar tampak. Pencampuran bahan MgO dan SnO₂ dapat meningkatkan nilai absorbansi pada sel surya. Sifat absorpsi bahan sangat dipengaruhi oleh struktur atom dalam bahan sehingga proses-proses yang dapat merubah sifat fisis bahan secara

otomatis akan berpengaruh pada sifat optis bahan. Perubahan struktur atom akan menyebabkan perubahan sifat-sifat makro suatu bahan. Atom sangat berperan dalam penentuan sifat fisis, sifat listrik maupun sifat optik bahan.

Pengujian listrik DSSC dilakukan untuk mengetahui besarnya efisiensi DSSC, yang dihitung dari nilai tegangan dan arus yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi pewarna berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks. Sedangkan arus yang dihasilkan oleh sel surya sama dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja pewarna yang digunakan (Maddu, 2007).

Uji listrik DSSC dilakukan di luar ruangan menggunakan sumber cahaya dari matahari dan di dalam ruangan menggunakan lampu halogen. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa DSSC berhasil mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Hasil uji listrik menyatakan efisiensi tertinggi diperoleh dari DSSC dengan menggunakan ekstrak buah mangsi daripada daun jati sebagai *dye sensitizer*. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa prototip DSSC diuji tanpa perendaman menghasilkan tegangan $3,85 \times 10^{-4}$ V dan arus $3,85 \times 10^{-9}$ A, sehingga menghasilkan daya sebesar $1,48 \times 10^{-12}$ W/m² dan efisiensinya $1,68 \times 10^{-8}$ %. Hasil tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan DSSC yang diberikan perlakuan perendaman menggunakan *dye sensitizer* dari buah mangsi dan daun jati. Hal ini menyatakan bahwasannya *dye* sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi DSSC.

Nilai absorbansi tinggi dari molekul *dye* dipengaruhi oleh interaksi yang kuat antar molekul pigmen flavonoid. Semakin tinggi kemampuan *dye* dalam

menyerap foton, maka performansi DSSC semakin meningkat. Hal ini dikarenakan di dalam sel surya berbasis DSSC, pigmen atau *dye* berfungsi sebagai absorber foton sinar matahari. Jika energi foton yang diserap semakin tinggi maka nilai tegangan yang dihasilkan juga semakin tinggi. Pada penelitian ini, pengujian listrik DSSC menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi dihasilkan oleh semikonduktor MgO-SnO₂ yang direndam dengan *dye* buah mangsi.

Efisiensi DSSC dipengaruhi oleh absorbansi *dye* dan bahan semikonduktor yang digunakan. Absorbansi sebanding dengan koefisien absorpsi. Semakin tinggi koefisien absorpsi maka laju terciptanya *electron-hole* semakin tinggi. Berdasarkan data hasil penelitian diketahui bahwa jati mempunyai absorbansi lebih tinggi dari pada mangsi. Koefisien absorpsi daun jati terjadi pada panjang gelombang 570 nm dan mangsi 325 nm, sehingga energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron lebih rendah dari pada energi yang dibutuhkan pada *dye* mangsi dan elektron yang tereksitasi pada *dye* jati lebih banyak daripada *dye* mangsi.

Hasil dari eksitasi elektron tersebut kemudian menuju ke pita konduksi semikonduktor MgO-SnO₂. Laju terciptanya *electron-hole* *dye* jati lebih tinggi daripada *dye* mangsi, maka elektron yang terkumpul pada pita konduksi MgO-SnO₂ dengan *dye* jati lebih banyak daripada *dye* mangsi. Elektron yang berada pada pita konduksi bebas bergerak, namun jika elektron tersebut terlalu banyak maka akan menghambat laju aliran elektron. Hal ini menyebabkan elektron yang mengalir melewati rangkaian luar menuju ke *counter electrode* semakin lambat. Elektron yang terdapat pada *counter electrode* kemudian mengalir melalui

elektrolit dan berekombinasi kembali dengan *dye* yang telah teroksidasi. Jumlah rekombinasi elektron tidak sebanding dengan elektron yang tereksitasi (elektron yang tereksitasi pada *dye* lebih banyak dari pada elektron yang berekombinasi). Hal tersebut yang menyebabkan efisiensi DSSC dengan *dye* jati lebih rendah daripada dengan *dye* mangsi.

Performansi DSSC juga dipengaruhi oleh kemampuan absorpsi *dye* dalam menyerap foton. Absorpsi terjadi ketika foton bertumbukan langsung dengan atom-atom pada material. Foton akan mengalami perlambatan atau berhenti saat menumbuk material. Energi foton yang diserap oleh atom kemudian digunakan oleh elektron di dalam atom tersebut untuk bertransisi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Absorpsi menyatakan besarnya cahaya yang diserap oleh lapisan tipis dari total cahaya yang disinarkan. Absorpsi suatu senyawa pada suatu panjang gelombang tertentu bertambah dengan semakin banyaknya molekul yang mengalami transisi (Dewi, 2012).

Efisiensi DSSC dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya jenis semikonduktor, sumber cahaya, ukuran butir, konduktivitas, fasa dan struktur semikonduktor. Komposisi 7MgO:3SnO₂ mempunyai ukuran butir yang paling kecil yaitu sebesar 17,82 nm, hal ini sesuai dengan nilai efisiensi yang paling tinggi terdapat pada komposisi 7MgO:3SnO₂ mempunyai konduktivitas yang sangat tinggi yaitu sebesar 21,446 (Ωm)⁻¹, sehingga ketika dikenai cahaya elektron akan mudah berpindah dari HOMO ke LUMO (Fitriya, 2015). Ukuran kristal yang kecil dapat menampung *dye* lebih banyak karena terdapat banyak rongga di dalam lapisan semikonduktor. Sebaliknya jika ukuran kristal besar,

maka terdapat sedikit rongga, sehingga dapat menampung sedikit *dye* dan efisiensi yang dihasilkan juga kecil karena foton yang diserap dan pasangan *electron-hole* yang dihasilkan menjadi sedikit.

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa lama perendaman mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan. Pada DSSC dengan *dye* dari daun jati, efisiensi maksimum dihasilkan pada lama perendaman selama 6 jam, kemudian efisiensi menurun pada perendaman 12 jam dan naik kembali pada perendaman 18 jam. Sedangkan pada DSSC dengan *dye* buah mangsi menghasilkan efisiensi maksimum pada perendaman selama 6 jam dan mengalami penurunan pada lama perendaman 12 dan 18 jam. Karakteristik DSSC yang direndam lebih lama rata-rata menghasilkan keluaran yang lebih kecil. Hal ini karena *dye* yang mampu diabsorpsi oleh lapisan semikonduktor memiliki batas maksimal untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat pada lapisan semikonduktor. Semakin banyak *dye* yang menempel pada lapisan semikonduktor akan menyebabkan lapisan semikonduktor tertutup oleh *dye*, sehingga menghambat laju dari elektron yang tereksitasi oleh *dye* menuju elektroda. Semakin lama perendaman terjadi penurunan tegangan dan arus karena sebagian besar lapisan semikonduktor terdegradasi oleh larutan *dye*, sehingga lapisan semikonduktor yang berfungsi untuk menampung elektron dari *dye* kurang optimal karena kemampuan lapisan semikonduktor untuk mengikat *dye* kurang maksimal. Nilai keluaran yang rendah disebabkan oleh *dye* yang kurang maksimal dalam menyerap cahaya. Selain itu, nilai keluaran DSSC juga ditentukan oleh mekanisme transfer dan transport elektron. Transfer elektron dari *dye* teroksidasi ke dalam lapisan semikonduktor

yang diperkirakan belum optimal, demikian juga transfer elektron di dalam lapisan semikonduktor berjalan baik dikarenakan hambatan lapisan yang sangat besar.

Intensitas cahaya juga berpengaruh terhadap nilai efisiensi DSSC. Perbandingan hasil uji listrik menggunakan sumber cahaya dari sinar matahari dan lampu halogen sangat berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi maksimum dihasilkan dari DSSC dengan menggunakan sumber cahaya matahari daripada lampu halogen (Lampiran 2). Hal ini dikarenakan panjang gelombang matahari adalah polikromatis, sedangkan cahaya lampu halogen mempunyai panjang gelombang dari 371,3 nm sampai 697,7 nm (Armynah, dkk.), sehingga lebih banyak gelombang yang diserap pada pengukuran menggunakan cahaya matahari. Kemampuan DSSC untuk menghasilkan listrik sangat bergantung terhadap banyaknya foton yang ditangkap oleh *dye* dan panjang gelombang serapan *dye*, karena proses kinerja DSSC dimulai ketika cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel diserap oleh *dye*. Jumlah foton tersebut bergantung pada intensitas cahaya yang mampu ditransmisikan oleh kaca konduktif. Semakin besar intensitas yang mampu ditransmisikan oleh kaca, maka semakin besar keluaran dari DSSC (Umam, 2012). Intensitas transmisi dari kaca yang tinggi mengakibatkan elektron dari *dye* yang tereksitasi lebih banyak, karena cahaya yang mampu diserap oleh *dye* juga lebih banyak.

4.3 DSSC dalam Pandangan Islam

Islam memandang hubungan antara keilmuan dengan ketakwaan itu sangat erat. Mencermati langit dan bumi serta keagungannya, demikian juga aturan yang

berlaku pada unsur-unsur alam natural, merupakan salah satu jalan terbaik untuk memahami keagungan penciptanya. Allah menyeru manusia untuk memahami keagungan makhluk, sejatinya mengajak mereka untuk berpikir tentang pencipta makhluk-makhluk tersebut.

Islam memandang berpikir sebagai media untuk mendekatkan diri kepada Allah SWT. Sebab dengan berpikir, manusia menyadari posisinya sebagai hamba dan memahamai fungsinya sebagai *khalifatullah* di muka bumi. Tugas manusia yaitu menghambakan diri kepada Allah SWT dengan beribadah. Dengan berpikir, manusia mengetahui betapa kuasanya Allah SWT menciptakan alam semesta dengan kekuatan maha dahsyat, dan dirinya sebagaimana manusia sangat kecil dan tidak berarti apa-apa di hadapan Allah SWT yang Maha Kuasa. al-Qur'an berkali-kali merangsang manusia, khususnya orang beriman, agar banyak memikirkan dirinya, lingkungan sekitarnya dan alam semesta. Karena dengan berpikir, manusia akan mampu mengenal kebenaran, yang kemudian untuk diimani dan dipegang teguh dalam kehidupan, Allah berfirman dalam al-Qur'an:

أَفَمَنْ يَعْلَمُ أَنَّمَا أُنزِلَ إِلَيْكَ مِنْ رَبِّكَ الْحَقُّ كَمَنْ هُوَ أَعْمَى , إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُو الْأَلْبَابِ

“maka apakah orang yang mengetahui bahwa apa yang diturunkan Tuhan kepadamu adalah kebenaran, sama dengan orang buta? Hanya orang berakal saja yang dapat mengambil pelajaran”(QS. al-Ra'd [13]:19).

Ayat tersebut merupakan sebuah seruan yang jelas untuk melihat, menganalisis, dan mengkaji secara ilmiah tentang semua makhluk, tentang semua fenomena kosmologi. al-Qur'an tidak menuntut untuk menerima begitu saja yang disampaikan kepada manusia, tetapi juga memaparkan masalah dan

membuktikannya melalui eksperimen-eksperimen. Allah menyuruh manusia mempelajari *sunnatullah* dalam segala bentuk ilmu pengetahuan.

Penjelasan ayat di atas menunjukkan pandangan Islam terhadap sains dan teknologi, bahwa islam tidak pernah mengekang umatnya untuk maju dan modern. Sebaliknya, Islam sangat mendukung umatnya untuk bereksperimen dalam hal apapun, termasuk sains dan teknologi. Bagi Islam, sains dan teknologi adalah termasuk ayat-ayat Allah yang perlu digali dan dibuktikan kebenarannya. DSSC merupakan salah satu upaya pengembangan teknologi sebagai alternatif dari masalah yang terjadi di bumi terkait dengan kelangkaan energi.

Pembuatan DSSC memanfaatkan tumbuh-tumbuhan sebagai *dye sensitizer*. Allah telah menciptakan berbagai macam tumbuh-tumbuhan diharapkan agar manusia dapat memanfaatkannya. Allah menciptakan segala sesuatu yang ada di bumi dan langit untuk manusia. berbagai ciptaan tersebut diberikan untuk manusia sebagai nikmat dan memikirkannya, maka manusia dapat bersyukur kepada-Nya. Disamping itu Allah SWT menyeru manusia untuk senantiasa beribadah kepada-Nya, sebagaimana yang telah dijelaskan dalam firman Allah:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَ بِهِ مِنَ الثَّمَرَاتِ رِزْقًا لَكُمْ، وَسَخَّرَ لَكُمُ الْفُلْكَ لِتَجْرِيَ فِي الْبَحْرِ بِأَمْرِهِ، وَسَخَّرَ لَكُمُ الْأَنْهَارَ (٣٢) وَسَخَّرَ لَكُمُ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ دَائِبَيْنِ، وَسَخَّرَ لَكُمُ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ (٣٣) وَأَتَّكُم مِّنْ كُلِّ مَاسَأَلْتُمُوهُ، وَإِن تَعُدُّوا نِعْمَتَ اللَّهِ لَا تُحْصُوهَا، إِنَّ الْإِنْسَانَ لَظَلُومٌ كَفَّارٌ (٣٤)

“Allah-lah yang telah menciptakan langit dan bumi dan menurunkan air hujan dari langit, kemudian Dia mengeluarkan dengan air hujan itu berbagai buah-buahan menjadi rezeki untukmu; dan Dia telah menundukkan bahtera bagimu

supaya bahtera itu, berlayar di lautan dengan kehendak-Nya, dan Dia telah menundukkan (pula) bagimu sungai-sungai. Dan Dia telah menundukkan (pula) bagimu matahari dan bulan yang terus menerus beredar (dalam orbitnya); dan telah menundukkan bagimu malam dan siang. Dan Dia telah memberikan kepadamu (keperluanmu) dan segala apa yang kamu mohonkan kepadanya. Dan jika kamu menghitung nikmat Allah, tidaklah dapat kamu menghinggakannya. Sesungguhnya manusia itu, sangat zalim dan sangat mengingkari (nikmat Allah)”(QS. Ibrahim [14] : 32-34).

Dalam surat Ibrahim ayat 34, Allah berfirman tentang nikmat yang ada di langit dan bumi, ayat ini menyatakan bahwasannya Allah memenuhi semua keperluan manusia. manusia tidak mampu menghitung seluruh karunia Allah. Walaupun demikian manusia masih tidak bersyukur dan tidak mempergunakan nikmat tersebut di jalan yang benar. Bentuk rasa syukur tersebut dapat berupa pemanfaatan ciptaan Allah yang ada di langit dan bumi. Ayat sebelumnya, menunjukkan bahwa Allah menciptakan buah-buahan serta menundukkan matahari dan bulan sebagai rezeki bagi manusia, yang diharapkan manusia dapat memanfaatkannya dengan baik. Pada pembuatan DSSC, peneliti memanfaatkan buah mangsi dan daun jati sebagai *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sinar matahari. Hal tersebut menunjukkan bahwasannya sudah ditunjukkan adanya pemanfaatan terhadap ciptaan Allah. Buah mangsi yang merupakan tumbuhan liar sering kali dianggap sebagai tumbuhan yang kurang bermanfaat. Begitu pula dengan daun jati yang jarang dimanfaatkan, karena selama ini pemanfaatan pohon jati lebih dominan pada kayu. Namun dalam penelitian DSSC, kedua tumbuhan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai *dye* dan mempunyai peran penting dalam proses mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan di atas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Spektrum serapan lapisan semikonduktor MgO-SnO₂ yang direndam menggunakan *dye sensitizer* daun jati terdapat pada panjang gelombang 300-600 nm dan menyerap pada panjang gelombang maksimum 570 nm (*visible*) dengan nilai absorbansi sebesar 4,895 a.u, sedangkan buah mangsi menyerap pada daerah 300-500 nm dan memiliki panjang gelombang maksimum 350 nm (UV) dengan absorbansi 3,468 a.u.
2. Efisiensi maksimum DSSC berbahan semikonduktor MgO-SnO₂ menggunakan *dye sensitiser* dari ekstrak daun jati didapatkan pada lama perendaman 6 jam, yaitu sebesar $4,234 \times 10^{-5}$ %. Sedangkan dengan menggunakan ekstrak buah mangsi diperoleh efisiensi maksimum pada lama perendaman 6 jam, yaitu $1,49 \times 10^{-04}$ %.
3. Lama perendaman dalam *dye* mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan. Karakteristik DSSC yang direndam lebih lama rata-rata menghasilkan keluaran yang lebih kecil.

5.2 Saran

1. Proses pendeposisian lapisan semikonduktor menggunakan metode yang lebih baik agar lebih terkontrol ketebalan lapisan.

2. Perlu digunakan kaca yang memiliki konduktivitas yang lebih tinggi seperti kaca ITO atau FTO.
3. Pengujian listrik lebih baik dilakukan menggunakan multimeter dalam orde yang lebih kecil dan menggunakan hambatan yang lebih kecil.
4. Proses pengujian listrik sebaiknya dilakukan pengulangan. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data yang akurat dan ketelitian dari pengukuran dapat diketahui.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qarni, 'Aidh. 2007. *Tafsir Muyassar Jilid 2*. Jakarta: Qisthi Press.
- Araujo, G. R. 1989. *Compound Semiconductor Solar Cells. Antonio Luque. Solar Cells and Optics for Photovoltaic Concentrations*. England: IOP Publishing Ltd.
- Ariviani S. 2010. *Total Antosianin Ekstrak Buah Salam dan Korelasinya dengan Kapasitas Anti Peroksidasi pada Sistem Linoelat*. *Agrointek* 4(2): 121-127.
- Armynah, Fidyatul, dkk. *Pemanfaatan Kamera Digital untuk Menggambar Panjang Gelombang Spektrum Berbagai Jenis Lampu*. Universitas Hasanudin.
- Ash-Shiddieqy, Muhammad Hasbi. 2002. *Tafsir al-Qur'anul Majid An-Nur Jilid 2*. Semarang: Pustaka Rizki Putra.
- Ati, Neltji Herlina. 2006. *Komposisi dan Kandungan Pigmen Pewarna Alami Kain Tenun Ikat di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timor*. *UKSW: Salatiga. Indo. J. Chem.*, 2006, 6 (3), 325-331.
- Callister, Jr, WilliaM D. 2007. *Materials Science and Engineering Seven Edition*. A John Willey & Sons, Inc., Publication.
- Callister, Jr, WilliaM D. 2014. *Materials Science and Engineering Nine Edition*. A John Willey & Sons, Inc., Publication.
- Chmiel, Ghering, Uhlendorf. 1998. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC): Progress Toward Application, 2nd World Conference and Exhdition on Photovoltaic Solar Energy Conversion*. Austria: Vienna.
- Considine, Glenn D. 2005. *Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry Fifth Edition*. A John Willey & Sons, Inc., Publication.
- Dali, dkk. 2009. *Large Improvement of Photon Capture for a Dye-Sensitized Solar Cell Integrated with a Fluorescent Layer*. Guangzhou: IOP Publishing.
- Fessenden dan Fessenden. 1982. *Kimia Organik*. Jakarta: Erlangga.
- Fitriya, Laili Nur. 2015. *Pengaruh Variasi Komposisi terhadap Sifat Listrik Bahan Semikonduktor MgO-SnO₂*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Gleue, Alan. 2008. *Building The Gratzel Solar Cell*. The Gratzel Solar Cell Project Summer NSF, 9-16.
- Grätzel, Michael. 2003. *Dye-Sensitised Solar Cells*, journal of Photochemistry and Photobiology, Vol.4, 145-153.

- Halme, J. 2002. (Thesis) *Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells: Technical Review and Preliminary Tests*. Helsinki: Helsinki University Of Technology.
- Huang, Feng. dkk. 2004. *Synthetic and Electrochemical Performance of Nanosized Magnesium Tin Composite Oxides*. China: Department of Chemistry, Wuhan University.
- Isnaini, Nasfi Aprilia. 2009. *Pembuatan Zat Warna Alami untuk Tekstil dari Buah Mangsi*. Skripsi (Tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Jedynak, L. dkk. 2011. *Refractoris from the MgO-Al₂O₃-SnO₂ System for Metallurgical Application*. *Ceramic Material*. 63, 1: 34-39.
- Juoro, Umar. 2011. *Kebenaran Al-Qur'an dalam Sains*. Jakarta: Pustaka Cidesindo.
- Kay, A. Gratzel, M. 1996. *Low Cost Photovoltaic Modules Based on Dye Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide and Carbon Powder*. *Solar Energy Materials & Solar Sel*, Vol. 44, Hal. 99-117.
- Kembaren, Riaha br. 2013. *Ekstraksi dan Karakterisasi Serbuk Nano Pigmen dari Daun Tanaman Jati (Tectona grandis linn. F)*. Lampung: Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung.
- Khuzaifah, Siti. 2014. *Karakteristik Absorpsi Ekstrak Krokot (Portulaca Oleracea L.) Sebagai Sensitiser Alami untuk Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Krane, Kenneth. 2014. *Fisika Modern*. Jakarta: UI Press.
- Ludin, N.A., dkk. 2014. *Review on The Development of Nature Dye Photosensitizer for Dye Sensitized Solar Cel*. *Renewable and Suinable Energy*, 386-396.
- Luo, dkk. 2009. *From Salmon Pink to Blue Natural Sensitizer for Solar Cell*. *Molekular And Biomolecular Spectroscopy*, 936-942.
- Maddu, A., Zuhri. M., Irmansyah. 2007. *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye*. *Makara Teknologi ITB*, Vol. 11, No. 2, November 2007, Hal. 78-84.
- Malvino, B.T. 1986. *Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor penghantar Transistor dan Rangkaian Terpadu*. Jakarta: Erlangga.
- Meng, S. Kaxiras, E. 2010. *Electron and Hole Dynamics in Dye-Sensitized Solar Cells: Influencing Factors and Systematic Trends*. China: Chinese Academy of Science Press.

- Moss, 2002. Struktur dasar benzopiran. <http://lib.unnes.ac.id/19663/I/4311409032> (Diakses 22 Mei 2016).
- Mulyono, Agus dan A. Abtokhi. 2006. *Fisika dan al-Qur'an*. Malang: UIN Press.
- Noor. 2007. *Pygment in The Plant for Food and Medicine*. Yogyakarta: Gajah Mada University.
- Nugrahawati, Dewi. 2012. *Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Mawar Merah (Rosa Damascena Mill) Sebagai Pewarna Alami Berbasis Antosianin*. Skripsi (Tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- O'Regan dan Gratzel. 1991. *A Low Cost, High Eficiency Solar Cell Based On Dye Sensitized Coloidal TiO₂ film*. Nature, 737-740.
- Pohan, A. S. K dan Ratna, G. W. 2010. *Prospek Bilayer Dye of Organic Solar Cell sebagai Solusi untuk Mengatasi Krisis Energi dan Pemanasan Global*. Bogor: IPB.
- Prasetyo, E. 1999. *Dasar Fisika Energi*. Jakarta: Universitas Gunadarma Press.
- Rahman, Arif. 2011. *Fabrikasi dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO untuk Aplikasi DSSC*. skripsi (tidak diterbitkan). Depok: UI.
- Ramadhani, Khalid dan Prof. Dr. Syafsir Akhlus, MSc. 2009. *Pengaruh Hubungan Seri-Paralel Pada Rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik*. Surabaya: ITS.
- Ripna, Habib. 2007. *Sintesis dan Karakterisasi Cairan Ionik Berbasis Garam Benzotriazolium sebagai Elektrolit Redoks pada Sel Surya Tersensitisasi Zat Warna*. Jakarta: FPMIPA UPI.
- Rosyida, Noor Ashfia. 2012. *Ekstrak Antocyanin Bunga Sepatu (Hibiscus Rosa Sinensis L.) Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya Berbasis Titanium Dioksida (TiO₂)*. Skripsi (Tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Senevirathna dkk. 2006. *Stability of the SnO₂/MgO Dye-sensitized Solar Cell*. Solar Energy Material & Solar Cell 91(544-547).
- Septina, W., D. Fajarisandi, dan M. Aditia. 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*, Bandung: Laporan Penelitian Bidang Energi, ITB.
- Smestad dan Gratzel. 1998. *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter*. J, Chem, Educ. 75, 752-756.

- Subodro, Rohmat. 2013. *Ekstraksi Pewarna Bahan Antosianin Kulit Terong Ungu Sebagai Pewarna Alami pada Sel Surya Dye Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Surakarta: Universitas Nahdlatul Ulama'.
- Sumarna, Yana. 2010. *Budidaya jati*. Bogor: Panduan Swadaya.
- Sunardi dan Kartika Sari. 2014. *Pengaruh Waktu Milling Titanium Dioksida Doping Dye Tectona Grandis Terhadap Sifat Listrik Solar Sel*. Salatiga: Universitas Jenderal Soedirman.
- Syafarudin, C. 2010. *Perbandingan Unjuk Kerja Antara Panel Sel Surya Berpenjejak dengan Panel Surya Diam*. Teknologi Elektro Vol. 69 No.1 Janusri-Juni 2010.
- Syuhada, Dwi Bayuwati, Sulaiman. 2008. *Pembuatan Konduktor Transparan Thin Film SnO₂ dengan Menggunakan Teknik Spray Pyrolysis*. Jurusan Fisika Himpunan Fisika Indonesia. Vol.8, No.1. ISSN No. 0854-3046.
- Umam, chairul, dkk. 2012. *Sintesa dan Karakterisasi Sel Surya TiO₂ Tersensitisasi Dye dari Tinta Sotong dan Ekstrak Teh Hitam*. Skripsi (Tidak diterbitkan). Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Wardani, Laras Andria. 2012. *Validasi Metode Analisis dan Penentuan Kadar Vitamin C pada Minuman Buah Kemasan dengan Spektrofotometri UV-Visible*. Skripsi (Tidak diterbitkan). Jakarta: Universitas Indonesia.
- Yandri, Valdi Rizki. 2012. *Prospek Pengembangan Energi Surya untuk Kebutuhan Listrik Indonesia*. Padang: Universitas Andalas.
- Yuwono, A. H., Dhaneswara, D., Ferdiansyah, A., Rahman, Arif. 2011, *Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna Berbasis Nanopartikel TiO₂ Hasil Proses Sol Gel dan Perlakuan Pasca Hidrotermal*. Jurnal material dan energi indonesia Vol. 01 no. 03. 127-140
- Zamrani, R.A. dan Gontjang Prajitno. 2013. *Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Kulit Buah Manggis Sebagai Dye Sensitizer dengan Metode Doctor Blade*. Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol. 1, No.2.



LAMPIRAN

Lampiran 1
Data Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis

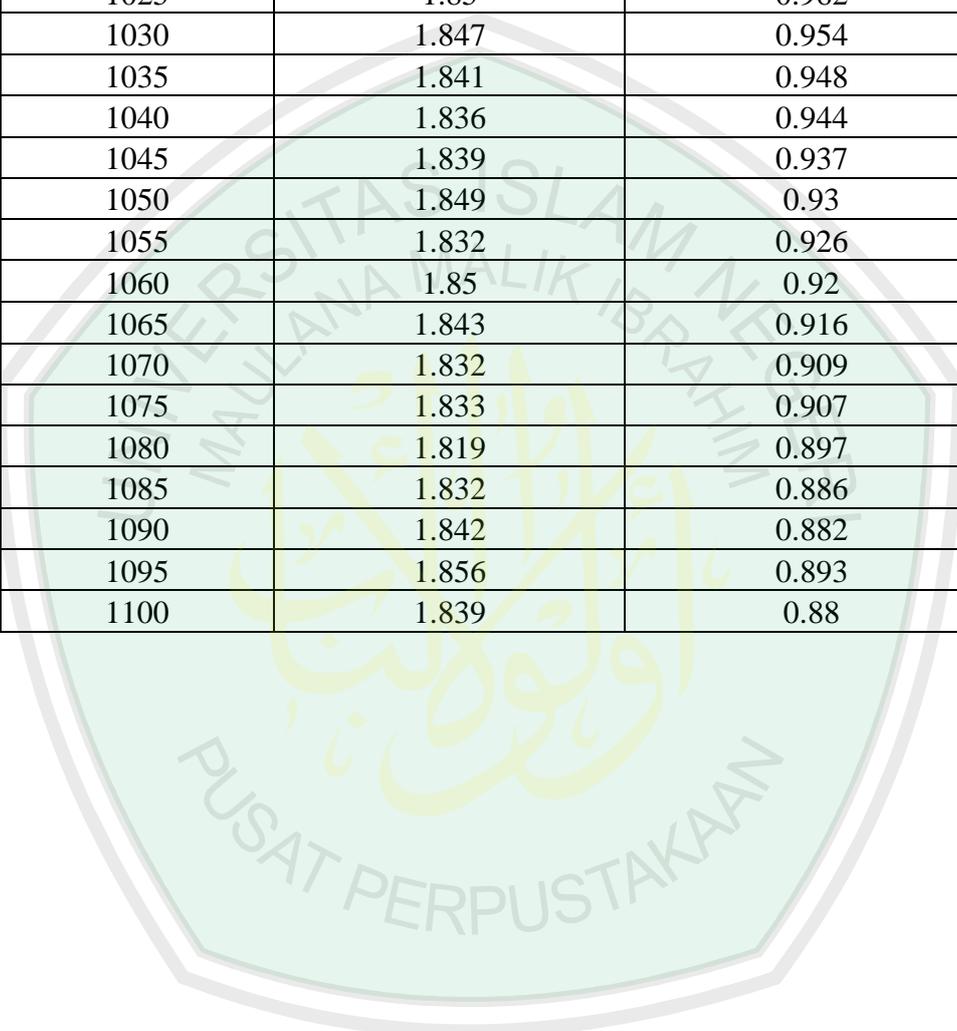
Wavelength (nm)	Absorbance (a.u) Daun Jati	Absorbance (a.u) Buah Mangsi
200	1.097	1.136
205	1.187	1.284
210	1.269	1.361
215	1.284	1.348
220	1.285	1.298
225	1.385	1.43
230	1.625	2.039
235	1.912	2.082
240	2.323	2.419
245	2.781	2.751
250	3.041	2.905
255	3.329	3.051
260	3.429	3.253
265	3.812	3.142
270	3.637	3.196
275	3.802	3.253
280	3.777	3.312
285	3.891	3.339
290	4.005	3.36
295	3.979	3.376
300	4.005	3.356
305	4.086	3.36
310	4.084	3.373
315	4.07	3.385
320	4.21	3.375
325	3.953	3.441
330	3.927	3.441
335	4.243	3.491
340	4.502	3.391
345	4.397	3.357
350	****	3.468
355	4.032	3.408
360	4.261	3.348
365	3.984	3.352
370	****	3.412
375	4.646	3.395
380	4.615	3.286

385	****	3.356
390	4.184	3.296
395	4.163	3.333
400	4.054	3.307
405	4.033	3.311
410	4.208	3.276
415	3.902	3.258
420	3.999	3.308
425	4.206	3.294
430	4.031	3.279
435	4.193	3.248
440	4.028	3.249
445	4.05	3.279
450	4.141	3.208
455	3.861	3.197
460	4.126	3.204
465	4.069	3.179
470	4.642	3.145
475	3.994	3.169
480	4.043	3.133
485	4.018	3.104
490	4.307	3.104
495	4.376	3.103
500	3.803	3.029
505	****	3.022
510	****	3.025
515	4.121	2.959
520	4.356	2.961
525	4.105	2.933
530	4.189	2.879
535	4.458	2.859
540	****	2.838
545	4.305	2.823
550	4.065	2.82
555	****	2.763
560	****	2.736
565	3.969	2.74
570	4.895	2.679
575	****	2.672
580	4.619	2.637
585	****	2.618

590	4.06	2.602
595	4.051	2.587
600	4.024	2.563
605	****	2.52
610	3.584	2.502
615	3.705	2.47
620	4.116	2.431
625	3.895	2.402
630	3.526	2.372
635	3.363	2.312
640	3.305	2.269
645	3.355	2.255
650	3.138	2.203
655	3.099	2.172
660	2.962	2.127
665	2.914	2.106
670	2.85	2.069
675	2.869	2.036
680	2.78	1.989
685	2.746	1.952
690	2.685	1.899
695	2.636	1.859
700	2.587	1.827
705	2.577	1.79
710	2.509	1.762
715	2.484	1.734
720	2.48	1.707
725	2.441	1.683
730	2.388	1.654
735	2.355	1.635
740	2.341	1.613
745	2.304	1.584
750	2.323	1.572
755	2.279	1.55
760	2.239	1.534
765	2.243	1.506
770	2.228	1.494
775	2.225	1.476
780	2.201	1.462
785	2.184	1.446
790	2.171	1.426

795	2.15	1.415
800	2.124	1.398
805	2.119	1.383
810	2.104	1.37
815	2.112	1.356
820	2.098	1.339
825	2.071	1.326
830	2.067	1.318
835	2.044	1.287
840	2.062	1.291
845	2.048	1.281
850	2.058	1.266
855	2.038	1.256
860	2.015	1.247
865	2.005	1.235
870	2.002	1.219
875	1.995	1.205
880	1.978	1.193
885	1.976	1.2
890	1.972	1.175
895	1.967	1.158
900	1.964	1.157
905	1.948	1.127
910	1.941	1.139
915	1.947	1.125
920	1.932	1.126
925	1.925	1.11
930	1.926	1.101
935	1.922	1.093
940	1.911	1.086
945	1.914	1.073
950	1.907	1.064
955	1.903	1.06
960	1.901	1.051
965	1.896	1.043
970	1.891	1.033
975	1.882	1.03
980	1.876	1.003
985	1.881	1.016
990	1.872	1.004
995	1.868	1.013

1000	1.863	0.992
1005	1.865	0.986
1010	1.855	0.977
1015	1.855	0.975
1020	1.849	0.968
1025	1.85	0.962
1030	1.847	0.954
1035	1.841	0.948
1040	1.836	0.944
1045	1.839	0.937
1050	1.849	0.93
1055	1.832	0.926
1060	1.85	0.92
1065	1.843	0.916
1070	1.832	0.909
1075	1.833	0.907
1080	1.819	0.897
1085	1.832	0.886
1090	1.842	0.882
1095	1.856	0.893
1100	1.839	0.88



Lampiran 2
Data Hasil Uji Listrik DSSC

1. Lampu Halogen

Tanpa perendaman

R (Ω)	Int (Watt/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	35.15	0	0	0	0
1×10^5	35.15	3.85×10^{-4}	3.85×10^{-9}	1.48×10^{-12}	1.68677×10^{-8}
2×10^5	35.15	4.54×10^{-4}	2.27×10^{-9}	1.03×10^{-12}	1.17278×10^{-8}
3×10^5	35.15	5.02×10^{-4}	1.67×10^{-9}	8.40×10^{-13}	9.55918×10^{-9}
4×10^5	35.15	5.36×10^{-4}	1.34×10^{-9}	7.18×10^{-13}	8.17343×10^{-9}
4.7×10^5	35.15	5.60×10^{-4}	1.19×10^{-9}	6.67×10^{-13}	7.59299×10^{-9}
6.6×10^5	35.15	5.69×10^{-4}	8.62×10^{-10}	4.91×10^{-13}	5.58233×10^{-9}
8.8×10^5	35.15	5.76×10^{-4}	6.55×10^{-10}	3.77×10^{-13}	4.29039×10^{-9}
1×10^6	35.15	6.22×10^{-4}	6.22×10^{-10}	3.87×10^{-13}	4.40266×10^{-9}
2.2×10^6	35.15	6.28×10^{-4}	2.85×10^{-10}	1.79×10^{-13}	2.04001×10^{-9}
∞	35.15	6.31×10^{-4}	0	0	0

Daun jati 6 jam

R (Ω)	Int (Watt/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	35.15	0	0	0	0
1×10^5	35.15	0.012	1.2×10^{-7}	1.44×10^{-9}	1.63869×10^{-5}
2×10^5	35.15	0.019	9.5×10^{-8}	1.81×10^{-9}	2.05405×10^{-5}
3×10^5	35.15	0.029	9.67×10^{-8}	2.8×10^{-9}	3.19014×10^{-5}
4×10^5	35.15	0.036	9×10^{-8}	3.24×10^{-9}	3.68706×10^{-5}
4.7×10^5	35.15	0.039	8.3×10^{-8}	3.24×10^{-9}	3.6827×10^{-5}
6.6×10^5	35.15	0.047	7.12×10^{-8}	3.35×10^{-9}	3.80878×10^{-5}
8.8×10^5	35.15	0.057	6.48×10^{-8}	3.69×10^{-9}	4.20147×10^{-5}
1×10^6	35.15	0.061	6.1×10^{-8}	3.72×10^{-9}	4.23442×10^{-5}
2.2×10^6	35.15	0.09	4.09×10^{-8}	3.68×10^{-9}	4.18984×10^{-5}
∞	35.15	0.15	0	0	0

Daun jati 12 jam

R (Ω)	Int (Watt/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	35.15	0	0	0	0
1×10^5	35.15	0.002	2×10^{-8}	4×10^{-11}	4.55192×10^{-7}
2×10^5	35.15	0.003	1.5×10^{-8}	4.5×10^{-11}	5.12091×10^{-7}
3×10^5	35.15	0.004	1.33×10^{-8}	5.33×10^{-11}	6.06923×10^{-7}
4×10^5	35.15	0.005	1.25×10^{-8}	6.25×10^{-11}	7.11238×10^{-7}
4.7×10^5	35.15	0.006	1.28×10^{-8}	7.66×10^{-11}	8.71644×10^{-7}
6.6×10^5	35.15	0.008	1.21×10^{-8}	9.7×10^{-11}	1.1035×10^{-7}
8.8×10^5	35.15	0.01	1.14×10^{-8}	1.14×10^{-10}	1.29316×10^{-6}
1×10^6	35.15	0.011	1.1×10^{-8}	1.21×10^{-10}	1.37696×10^{-6}
2.2×10^6	35.15	0.021	9.55×10^{-9}	2×10^{-10}	2.28113×10^{-6}
∞	35.15	0.092	0	0	0

Daun jati 18 jam

R (Ω)	Int (Watt/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	35.15	0	1×10^{-7}	0	0
1×10^5	35.15	0.004	1×10^{-7}	4×10^{-10}	4.55×10^{-6}
2×10^5	35.15	0.005	2.5×10^{-8}	1.25×10^{-10}	1.42×10^{-6}
3×10^5	35.15	0.009	3×10^{-8}	2.7×10^{-10}	3.07×10^{-6}
4×10^5	35.15	0.01	2.5×10^{-8}	2.5×10^{-10}	2.84×10^{-6}
4.7×10^5	35.15	0.011	2.34×10^{-8}	2.57×10^{-10}	2.93×10^{-6}
6.6×10^5	35.15	0.014	2.12×10^{-8}	2.97×10^{-10}	3.38×10^{-6}
8.8×10^5	35.15	0.018	2.05×10^{-8}	3.68×10^{-10}	4.19×10^{-6}
1×10^6	35.15	0.019	1.9×10^{-8}	3.61×10^{-10}	4.11×10^{-6}
2.2×10^6	35.15	0.036	1.64×10^{-8}	5.89×10^{-10}	6.7×10^{-6}
∞	35.15	0.128	0	0	0

Buah mangsi 6 jam

R (Ω)	Int (Watt/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	35.15	0	0	0	0
1×10^5	35.15	0.019	1.9×10^{-7}	3.61×10^{-9}	4.10811×10^{-5}
2×10^5	35.15	0.035	1.75×10^{-7}	6.13×10^{-9}	6.97013×10^{-5}
3×10^5	35.15	0.05	1.67×10^{-7}	8.33×10^{-9}	9.48317×10^{-5}
4×10^5	35.15	0.06	1.50×10^{-7}	9×10^{-9}	1.02418×10^{-4}
4.7×10^5	35.15	0.069	1.47×10^{-7}	1.01×10^{-8}	1.15275×10^{-4}
6.6×10^5	35.15	0.089	1.35×10^{-7}	1.2×10^{-8}	1.36575×10^{-4}
8.8×10^5	35.15	0.106	1.20×10^{-7}	1.28×10^{-8}	1.45299×10^{-4}
1×10^6	35.15	0.114	1.14×10^{-7}	1.3×10^{-8}	1.47892×10^{-4}
2.2×10^6	35.15	0.17	7.73×10^{-8}	1.31×10^{-8}	1.49489×10^{-4}
∞	35.15	0.316	0	0	0

Buah mangsi 12 jam

R (Ω)	Int (Watt/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	35.15	0	0	0	0
1×10^5	35.15	0.034	3.4×10^{-7}	1.16×10^{-8}	1.3155×10^{-4}
2×10^5	35.15	0.051	2.55×10^{-7}	1.3×10^{-8}	1.47994×10^{-4}
3×10^5	35.15	0.059	1.97×10^{-7}	1.16×10^{-8}	1.32044×10^{-4}
4×10^5	35.15	0.069	1.73×10^{-7}	1.19×10^{-8}	1.35448×10^{-4}
4.7×10^5	35.15	0.075	1.60×10^{-7}	1.2×10^{-8}	1.36194×10^{-4}
6.6×10^5	35.15	0.083	1.26×10^{-7}	1.04×10^{-8}	1.18781×10^{-4}
8.8×10^5	35.15	0.089	1.01×10^{-7}	9×10^{-9}	1.02431×10^{-4}
1×10^6	35.15	0.091	9.10×10^{-8}	8.28×10^{-9}	9.42361×10^{-5}
2.2×10^6	35.15	0.099	4.50×10^{-8}	4.46×10^{-9}	5.0697×10^{-5}
∞	35.15	0.142	0	0	0

Buah mangsi 18 jam

R (Ω)	Int (Watt/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	35.15	0	0	0	0
1×10^5	35.15	3.4×10^{-3}	3.40×10^{-8}	1.16×10^{-10}	1.3155×10^{-6}
2×10^5	35.15	6.9×10^{-3}	3.45×10^{-8}	2.38×10^{-10}	2.70896×10^{-6}
3×10^5	35.15	1.06×10^{-2}	3.53×10^{-8}	3.75×10^{-10}	4.26211×10^{-6}
4×10^5	35.15	1.12×10^{-2}	2.80×10^{-8}	3.14×10^{-10}	3.56871×10^{-6}
4.7×10^5	35.15	1.32×10^{-2}	2.81×10^{-8}	3.71×10^{-10}	4.21876×10^{-6}
6.6×10^5	35.15	1.62×10^{-2}	2.45×10^{-8}	3.98×10^{-10}	4.52502×10^{-6}
8.8×10^5	35.15	1.96×10^{-2}	2.23×10^{-8}	4.37×10^{-10}	4.9678×10^{-6}
1×10^6	35.15	2.05×10^{-2}	2.05×10^{-8}	4.2×10^{-10}	4.78236×10^{-6}
2.2×10^6	35.15	3.22×10^{-2}	1.46×10^{-8}	4.71×10^{-10}	5.3632×10^{-6}
∞	35.15	3.96×10^{-2}	0	0	0

2. Sinar Matahari

Tanpa perendaman

R (Ω)	Intensitas (lux)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	902	0	0	0	0
1×10^5	895	4.30×10^{-3}	4.30×10^{-8}	1.85×10^{-10}	5.52386×10^{-7}
2×10^5	859	6.70×10^{-3}	3.35×10^{-8}	2.24×10^{-10}	6.98642×10^{-7}
3×10^5	861	9.80×10^{-3}	3.27×10^{-8}	3.20×10^{-10}	9.9416×10^{-7}
4×10^5	909	1.05×10^{-2}	2.63×10^{-8}	2.76×10^{-10}	8.10743×10^{-7}
4.7×10^5	945	1.34×10^{-2}	2.85×10^{-8}	3.82×10^{-10}	1.08096×10^{-6}
6.6×10^5	890	1.47×10^{-2}	2.23×10^{-8}	3.27×10^{-10}	9.83624×10^{-7}
8.8×10^5	936	2.1×10^{-2}	2.39×10^{-8}	5.01×10^{-10}	1.43156×10^{-6}
1×10^6	601	1.88×10^{-2}	1.88×10^{-8}	3.53×10^{-10}	1.57242×10^{-6}
2.2×10^6	929	2.41×10^{-2}	1.10×10^{-8}	2.64×10^{-10}	7.59843×10^{-7}
∞	848	7.59×10^{-2}	0	0	0

Daun jati 6 jam

R (Ω)	Intensitas (lux)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	264	0	0	0	0
1×10^5	264	0.007	7×10^{-8}	4.90×10^{-10}	4.96273×10^{-6}
2×10^5	179	0.015	7.5×10^{-8}	1.13×10^{-9}	1.68046×10^{-5}
3×10^5	214	0.022	7.33×10^{-8}	1.61×10^{-9}	2.01576×10^{-5}
4×10^5	278	0.027	6.75×10^{-8}	1.82×10^{-9}	1.75288×10^{-5}
4.7×10^5	424	0.029	6.17×10^{-8}	1.79×10^{-9}	1.12839×10^{-5}
6.6×10^5	330	0.041	6.21×10^{-8}	2.55×10^{-9}	2.06366×10^{-5}
8.8×10^5	412	0.059	6.7×10^{-8}	3.96×10^{-9}	2.56716×10^{-5}
1×10^6	269	0.087	8.7×10^{-8}	7.57×10^{-9}	7.52341×10^{-5}
2.2×10^6	209	0.106	4.82×10^{-8}	5.11×10^{-9}	6.53388×10^{-5}
∞	237	0.113	0	0	0

Daun jati 12 jam

R (Ω)	Intensitas (lux)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	667	0	0	0	0
1×10^5	711	0.008	8×10^{-8}	6.40×10^{-10}	2.67421×10^{-6}
2×10^5	722	0.019	9.5×10^{-8}	1.81×10^{-9}	7.42721×10^{-6}
3×10^5	663	0.029	9.67×10^{-8}	2.80×10^{-9}	1.25617×10^{-5}
4×10^5	719	0.037	9.25×10^{-8}	3.42×10^{-9}	1.41417×10^{-5}
4.7×10^5	716	0.26	5.53×10^{-7}	1.44×10^{-7}	5.9679×10^{-4}
6.6×10^5	737	0.314	4.76×10^{-7}	1.49×10^{-7}	6.0219×10^{-4}
8.8×10^5	729	0.324	3.68×10^{-7}	1.19×10^{-7}	4.86145×10^{-4}
1×10^6	724	0.357	3.57×10^{-7}	1.27×10^{-7}	5.22978×10^{-4}
2.2×10^6	728	0.398	1.81×10^{-7}	7.2×10^{-8}	2.93831×10^{-4}
∞	721	0.481	0	0	0

Daun jati 18 jam

R (Ω)	Intensitas (lux)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	724	0	8.1×10^{-6}	0	0
1×10^5	708	0.239	2.50×10^{-6}	5.98×10^{-7}	2.256×10^{-3}
2×10^5	712	0.294	1.5×10^{-6}	4.41×10^{-7}	1.656×10^{-3}
3×10^5	718	0.323	1.1×10^{-6}	3.55×10^{-7}	1.323×10^{-3}
4×10^5	718	0.341	9×10^{-7}	3.07×10^{-7}	1.143×10^{-3}
4.7×10^5	683	0.327	7×10^{-7}	2.29×10^{-7}	8.96×10^{-4}
6.6×10^5	690	0.342	5×10^{-7}	1.71×10^{-7}	6.63×10^{-4}
8.8×10^5	678	0.352	4×10^{-7}	1.41×10^{-7}	5.55×10^{-4}
1×10^6	663	0.351	4×10^{-7}	1.40×10^{-7}	5.66×10^{-4}
2.2×10^6	619	0.371	2×10^{-7}	7.42×10^{-8}	3.21×10^{-4}
∞	724	0.412	0	0	0

Buah mangsi 6 jam

R (Ω)	Intensitas (lux)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	804	0	0	0	0
1×10^5	808	0.047	4.7×10^{-7}	2.21×10^{-8}	7.30992×10^{-5}
2×10^5	803	0.067	3.35×10^{-7}	2.24×10^{-8}	7.47364×10^{-5}
3×10^5	808	0.083	2.77×10^{-7}	2.3×10^{-8}	7.59892×10^{-5}
4×10^5	813	0.089	2.23×10^{-7}	1.98×10^{-8}	6.51265×10^{-5}
4.7×10^5	820	0.094	2×10^{-7}	1.88×10^{-8}	6.13017×10^{-5}
6.6×10^5	778	0.106	1.61×10^{-7}	1.70×10^{-8}	5.85082×10^{-5}
8.8×10^5	458	0.114	1.3×10^{-7}	1.48×10^{-8}	8.62164×10^{-5}
1×10^6	810	0.125	1.25×10^{-7}	1.56×10^{-8}	5.15779×10^{-5}
2.2×10^6	805	0.139	6.32×10^{-8}	8.78×10^{-9}	2.91702×10^{-5}
∞	817	0.172	0	0	0

Buah mangsi 12 jam

R (Ω)	Intensitas (lux)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	611	0	0	0	0
1×10^5	612	0.012	1.2×10^{-7}	1.44×10^{-9}	6.29129×10^{-6}
2×10^5	583	0.025	1.25×10^{-7}	3.13×10^{-9}	1.43321×10^{-5}
3×10^5	666	0.03	1×10^{-7}	3×10^{-9}	1.20441×10^{-5}
4×10^5	682	0.041	1.03×10^{-7}	4.2×10^{-9}	1.6476×10^{-5}
4.7×10^5	665	0.047	1×10^{-7}	4.7×10^{-9}	1.88975×10^{-5}
6.6×10^5	687	0.057	8.64×10^{-8}	4.92×10^{-9}	1.91592×10^{-5}
8.8×10^5	692	0.072	8.18×10^{-8}	5.89×10^{-9}	2.27617×10^{-5}
1×10^6	679	0.075	7.5×10^{-8}	5.63×10^{-9}	2.21504×10^{-5}
2.2×10^6	705	0.084	3.82×10^{-8}	3.21×10^{-9}	1.2164×10^{-5}
∞	670	0.094	0	0	0

Buah mangsi 18 jam

R (Ω)	Intensitas (lux)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	η (%)
0	690	0	0	0	0
1×10^5	690	7×10^{-3}	7×10^{-8}	4.9×10^{-10}	1.89878×10^{-6}
2×10^5	716	8.50×10^{-3}	4.25×10^{-8}	3.61×10^{-10}	1.34904×10^{-6}
3×10^5	712	9.70×10^{-3}	3.23×10^{-8}	3.14×10^{-10}	1.1778×10^{-6}
4×10^5	728	1.42×10^{-2}	3.55×10^{-8}	5.04×10^{-10}	1.85146×10^{-6}
4.7×10^5	716	1.63×10^{-2}	3.47×10^{-8}	5.65×10^{-10}	2.11102×10^{-6}
6.6×10^5	687	2.15×10^{-2}	3.26×10^{-8}	7.00×10^{-10}	2.72587×10^{-6}
8.8×10^5	680	2.80×10^{-2}	3.18×10^{-8}	8.91×10^{-10}	3.5031×10^{-6}
1×10^6	625	2.89×10^{-2}	2.89×10^{-8}	8.35×10^{-10}	3.57309×10^{-6}
2.2×10^6	727	3.86×10^{-2}	1.75×10^{-8}	6.77×10^{-10}	2.49084×10^{-6}
∞	740	5.18×10^{-2}	0	0	0

Lampiran 3
Gambar Penelitian



Pembersihan kaca



Magnetic stirrer



Pembuatan pasta



Pelapisan pasta



Elektroda lawan



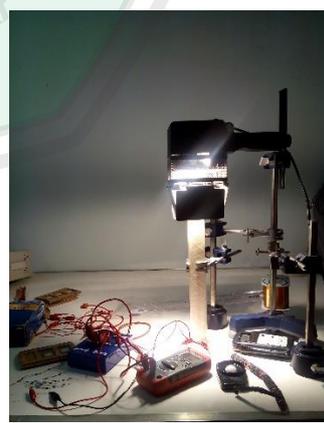
Elektroda kerja



Uji UV-Vis



Perakitan DSSC



Uji listrik