SKRIPSI

SIFAT KELISTRIKAN *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* DENGAN VARIASI KONSENTRASI *DYE* BUBUK BUAH SENDUDUK (*Melastoma malabathricum*)

ELECTRICAL PROPERTIES OF DYE SENSITIZED SOLAR CELL WITH VARIED CONSENTRATIONS OF POWDERED-DYE OF MALABAR GOOSEBERRY (Melastoma malabathricum)

Eni Yuniawati
05021181722017

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021

RINGKASAN

ENI YUNIAWATI. Sifat Kelistrikan *Dye Sensitized Solar Cell* dengan Variasi Konsentrasi *Dye* Bubuk Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*) (Dibimbing oleh **TAMRIN).**

Sifat Kelistrikan *Dye Sensitized Solar Cell* dengan Variasi Konsentrasi *Dye* Bubuk Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*) telah diselesaikan. Pigmen antosianin (*dye*) dari buah senduduk dapat dijadikan sebagai sensitizer alternatif dalam lapisan *DSSC*. Ekstraksi zat warna antosianin pada penelitian ini dilakukan dengan metode ekstraksi *ultrasonic assisted extraction* (*UAE*) pada waktu terbaik 45 menit dengan suhu 35°C, dan pembuatan *dye* bubuk dengan metode pengeringan *foam-mat drying* pada suhu 60°C selama 10 jam. Penelitian ini menggunakan perlakuan variasi konsentrasi berbeda yakni 2, 4, 6, 8, dan 10%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi terbaik dari sifat kelistrikan *dye sensitized solar cell* (*DSSC*) yang menggunakan bubuk ekstrak buah senduduk (*Melastoma malabathricum*) yang dikeringkan dengan metode *foam-mat drying*. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2021 sampai dengan Juni 2021, di Laboratorium Energi dan Elektrifikasi, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Indralaya. Kaca *TCO* yang digunakan utuk kedua elektoda *DSSC* penelitian ini memiliki resistensi antata 1,2 kΩ sampai 14,6 kΩ. Parameter yang diamati dalam penelitian adalah kandungan kadar total antosianin, konsentrasi *dye* bubuk sebagai sensitizer, nilai tegangan dan arus, nilai daya *output* dan *input*, kadar air bahan, dan efisiensi *DSSC*. Kandungan total antosianin tertinggi diperoleh pada konsentrasi *dye* bubuk 10% dengan nilai sebesar 0,60 mg/L. Hasil percobaan yang diperoleh bahwa ekstrak *dye* bubuk buah senduduk dengan konsentrasi 4% menghasilkan nilai kelistrikan yang terbaik yakni I_{sc}: 0,0074 mA, V_{oc}: 808 mV, I_{max}: 0,0050 mA, V_{max}: 584 mV, P_{max}: 2,9200 mW, *FF*: 0,4884, dan efisiensi sebesar 1,9188%.

Kata kunci : buah senduduk, *dye* bubuk, efisiensi, *foam-mat dying*, konsentrasi *dye*.

SUMMARY

ENI YUNIAWATI. Electrical Properties of *Dye Sensitized Solar Cell* with Varied Concentrations of Powdered-*Dye* of Malabar Gooseberry (*Melastoma malabathricum*)(Guided by **TAMRIN).**

Electrical properties of *Dye Sensitized Solar Cell* with Varied Concentrations of Powdered-*Dye* of Malabar Gooseberry (*Melastoma malabathricum*) have been completed. pigment anthocyanin (*dye*) of malabar gooseberry can be used as a sensitizer alternative in layer *DSSC*. Extraction of *dye* anthocyanin in this study conducted by the method of extraction of *ultrasonic assisted extraction* (*UAE*) on the best time is 45 minutes with a temperature of 35℃, and the manufacture of dye powder using foam mat drying method at the temperature of 60℃ for 10 hours. This study uses different concentration variation, namely 2, 4, 6, 8 and 10%. This study aims to determine the best concentration of electrical properties of *dye sensitized solar cell* (*DSSC*) using powdered-*dye* extract of malabar gooseberry (*Melastoma malabathricum*) which was dried by method *foam-mat drying*. This research was conducted from April 2021 to June 2021, at the Energy and Electrification Laboratory, Department of Agricultural Technology, Faculty of Agriculture, Sriwijaya University, Indralaya. The *TCO* glass used for the two *DSSC* electrodes in this study has a resistance of 1.2 kΩ to 14.6 k. The parameter in this study were total anthocyanin content, powdered-*dye* concentration as a sensitizer, voltage and current values, output and input power values, water content of material, and *DSSC* efficiency. The highest total anthocyanin content was obtained at 10% dye powder concentration with a value of 0.60 mg/L. The results of the experiment showed that the *dye* extract of the powdered senduduk fruit with a concentration of 4% produced the best electrical values, namely *Isc*: 0.0074 mA, *Voc*: 808 mV, *Imax*: 0.0050 mA, *Vmax*: 584 mV, *Pmax*: 2,9200 mW, *FF*: 0,4884, and efficiency is 1,9188%.

Keywords: *malabar gooseberry*, *dye* concentration, *dye* powder, efficiency, *foam-mat drying*.

SKRIPSI

SIFAT KELISTRIKAN *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* DENGAN VARIASI KONSENTRASI *DYE* BUBUK BUAH SENDUDUK (*Melastoma malabathricum*)

ELECTRICAL PROPERTIES OF DYE SENSITIZED SOLAR CELL WITH VARIED CONSENTRATIONS OF POWDERED-DYE OF MALABAR GOOSEBERRY (Melastoma malabathricum)

Diajukan Sebagai Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknologi Pertanian
pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya

Eni Yuniawati
05021181722017

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021

LEMBAR PENGESAHAN

SIFAT KELISTRIKAN *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* DENGAN VARIASI KONSENTRASI *DYE* BUBUK BUAH SENDUDUK (*Melastoma malabathricum*)

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknologi Pertanian
pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya

Oleh:

Eni Yuniawati
05021181722017

Indralaya, Juli 2021

Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si.
NIP. 196309181990031004

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian

Dr. Ir. A. Muslim, M. Agr.
NIP 196412291990011001

Skripsi dengan Judul "Sifat Kelistrikan *Dye Sensitized Solar Cell* dengan Variasi Konsentrasi *Dye* Bubuk Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*)" oleh Eni Yuniawati telah dipertahankan di hadapan Komisi Penguji Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Juli 2021 dan telah diperbaiki sesuai saran dan masukan tim penguji.

Komisi Penguji

1. Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si. — Ketua (.....)
   NIP. 196309181990031004

2. Ir. Haisen Hower, M.P. — Penguji (.....)
   NIP. 196612061994031003

Indralaya, Juli 2021

Ketua Jurusan
Teknologi Pertanian

Dr. Ir. Edward Saleh, M.S.
NIP 196208011988031002

Koordinator Program Studi
Teknik Pertanian

Dr. Ir. Tri Tunggal, M. Agr.
NIP 196210291988031003

PERNYATAAN INTEGRITAS

Nama : Eni Yuniawati

NIM : 05021181722017

Judul : Sifat Kelistrikan *Dye Sensitized Solar Cell* dengan Variasi Konsentrasi *Dye* Bubuk Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*)

Menyatakan bahwa semua data dan informasi yang dimuat dalam hasil penelitian ini dibuat sesuai sumbernya. Apabila dikemudian hari ditemukan adanya unsur plagiasi dalam laporan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak mendapat paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, Juli 2021

Eni Yuniawati

RIWAYAT HIDUP

Penulis adalah salah satu mahasiswi Teknik Pertanian angkatan 2017 kelas Indralaya. Penulis merupakan anak terakhir dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Taufik (Alm) dan Ibu Rusmana, yang dilahirkan di Desa Tanjung Dayang Utara, 04 Juni 1999. Riwayat pendidikan penulis antara lain SD Negeri 2 Indralaya Selatan, SMP Negeri 3 Indralaya Selatan, dan SMA Negeri 1 Indralaya Selatan. Penulis terpilih menjadi salah satu peserta SNMPTN dan melanjutkan menuntut ilmu di Universitas Sriwijaya Indralaya, Fakultas Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian.

Penulis juga merupakan anggota Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI) dan juga sebagai Wakil Depertmen Minat dan Bakat Devisi Tari Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian (HIMATETA) periode 2018-2019 Universitas Sriwijaya.

Penulis telah melaksanakan kegiatan Praktik Lapangan di Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Ogan Ilir yang berjudul "Pengoperasian dan Pemeliharaan Traktor Tangan di Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Ogan Ilir" dan telah melakukan kegiatan KKN Khusus SNI Desa Tangguh Bencana di Desa Tanjung Dayang Utara, Kecamatan Indralaya Selatan, Kabupaten Ogan Ilir tahun 2020.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjat kepada Allah SWT yang maha kuasa, serta kepada Nabi besar kita yaitu Nabi Muhammad SAW. Karena berkat rahmat dan Ridho-Nya, penulis dapat mengerjakan skripsi ini yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S1.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Tamrin, selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul "Sifat Kelistrikan Dye Sensitized Solar Cell dengan Variasi Konsentrasi *Dye* Bubuk Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*)". Ucapan terima kasih terkhusus kepada kedua orang tua yang telah membantu dengan doa, serta untuk teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Pertanian 2017 yang telah memberi semangat, dukungan, membantu penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dan kesalahan, sehingga berharap kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan skripsi ini.

Indralaya, Juli 2021
Penulis

Eni Yuniawati

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT berkat rahmat ridhonya serta atas izinnya penulis dapat menyelesesaikan penelitian ini dengan baik. Kepada nabi besar kita Nabi Muhammad SAW atas berkah, kesabaran da keteguhan yang diberinya hingga membawa kehidupan kita sebagai manusia menjadi lebih baik lagi. Penulis mengucapkan terima kasih bagi seluruh rekan yang telah mendukung dan mendoakan penulis dalam kegiatan penelitian ini yakni:

1. Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si. sebagai pembimbing akademik dan juga pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pembelajaran, bekal, dan ilmu yang semoga selalu bermanfaat bagi penulis serta telah memberikan material, dukungan, nasehat, dan doa. Semoga ilmu yang diberikan untuk penulis menjadi keberkahan dan kebaikan yang selalu diridhoi Allah SWT.
3. Bapak Ir. Haisen Hower M.P. selaku penguji skripsi terima kasih telah menyempatkan waktu dan juga memberikan arahan, masukan, saran serta pembelajaran yang telah disampaikan untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga apapun yang telah bapak sampaikan kepada penulis menjadi ilmu yang bermanfaat untuk kedepannya. Amiinn
4. Orang tua yang sangat penulis sayangi dan penulis cintai yang selalu memberikan dukungan,doa, semangat, dan arahan yang baik pada penulis. Semoga Allah SWT selalu memberi kebahagiaan dan semoga Allah mengampuni segala kesalahan, khilaf dan dosa kedua orang tua penulis, mengampuni dosa ayah almarhum semoga dilapangkan kuburnya dan dijauhkan dari siksa kubur. Amin Allahumma Amin.
5. Kakak-kakak penulis yang sangat penulis hormati yang telah menjadi sosok kakak sekaligus sosok ayah untuk penulis. Teruntuk kakak yang telah membiayai materi untuk pendidikan penulis dari SD sampai dengan penulis menjadi mahasiswa di Universitas Sriwijaya, dan terima kasih atas

perjuangan selama ini untuk mendidik adik-adikmu. Semoga Allah SWT selalu memberi kesehatan, umur panjang dan dijauhkan dari fitnah dunia dan selalu diridhoi setiap kebaikan yang dicatat sebagai amal ibadah di sisi-Mu ya Allah SWT.

6. Kakak perempuanku Renatati yang paling kuhormati dan yang paling penulis sayangi terimakasih atas segala pemberian materi maupun nasihat yang baik untuk penulis dan terima kasih banyak telah menjadi kakak yang terbaik dan menjadi kakak perempuanku yang pengertian, perhatian, penyayang.
7. Mba Ratna widia ningsih terima kasih banyak mba atas segala apapun pembelajaran ilmu yang telah disampaikan, pertolongan dan bantuan yang telah diberikan yang sampai sekarang belum bisa penulis balas dan mungkin tidak bisa penulis balas sekali lagi penulis ucapkan terima kasih banyak mba, penulis akan selalu mengingat mba sampai kapanpun dan semoga mba selalu diberikan nikmat kesehatan, umur panjang, rezeki yang berkah. Dan juga semoga cepat mendapatkan jodoh yang terbaik didunia maupun akhirat. Aminn Allahumma Amiin.
8. Teman-teman satu pembimbing sekaligus teman-teman penelitian *DSSC*, Irma Santika dan Veni Carmelia Siagian yang selalu membantu penulis dan selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini. Semoga kita selalu saling mengingat di masa depan kelak.
9. Teman Teknik Pertanian 2017 Indralaya, atas segala kenangan terindah maupun kenangan terburuk, pembelajaran, dan pengalaman yang berkesan selama di masa bangku kuliah selama 4 tahun. Semoga kita kelak menjadi orang yang sukses dunia akhirat. Aminnn.
10. Teman cawa bacodku yang terbaik yang selalu aku sayangi dan tidak akan pernah aku lupakan Made Mandri, Yustika, Lestari Sumaja Putri, Pandu Dewan Prakasa yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi serta pembelajarannya.
11. Teman penulis Ayu Lastari dan Mira santika yang telah membantuku menyempatkan waktu untuk mencari buah senduduk yang akan digunakan penulis untuk penelitian, dan juga terima kasih atas dukungan,

semangat dan doa. Semoga kita bisa wisuda bareng yaa, semangattt untuk kita.

12. Keponakanku Repi Mariska yang juga telah membantu mencari buah senduduk walaupun hanya membantu dengan duduk diam saja dimotor.
13. Saudara dari ayahku uju kamisah dan tika terimakasih banyak atas motivasi dan doa, dan terima kasih sudah menolong serta membantu penulis mencari buah senduduk untuk penelitian penulis.

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI v
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR LAMPIRAN x
BAB 1. PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Tujuan 5
1.3. Hipotesis 5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1. Energi Surya 6
2.2. *Dye Sensitized Solar Cell* (*DSSC*) 6
2.3. Komponen Penyusun *DSSC* 7
2.3.1. Elektoda Kerja 7
2.3.1.1. Kaca *Transparent Conductive Oxide* (TCO) 8
2.3.1.2. Pasta TiO_2 sebagai Semikonduktor 8
2.3.1.3. *Dye* Bubuk Alami 9
2.3.1.3.1. Persentase Pelarut terhadap *Dye* Bubuk 9
2.3.2.2. Larutan Elektrolit 11
2.3.2. Elektoda Pembanding 11
2.3.2.1. Katalisator 12
2.4. Tumbuhan Senduduk 12
2.5. Zat Warna Antosianin Buah Senduduk 14
2.6. Metode Pengeluaran Zat Aktif 15
2.7. Metode *Foam Mat Drying* 15
2.7.1. Kadar Air Bahan 17
2.8. Prinsip Kerja *DSSC* 17
2.9. Pengukuran dan Perhitungan *DSSC* 18
2.9.1. Pengukuran dan Perhitungan *DSSC* 18

2.9.2. Pengukuran dan Perhitungan Arus dan Tegangan 19
2.9.1. Perhitungan Daya 19
2.9.1. Perhitungan *Fill Factor* 20
2.9.1. Perhitungan Efisiensi terhadap Performa *DSSC* 20
BAB 3. PELAKSANAAN PENELITIAN..... 21
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan 21
3.2. Alat dan Bahan 21
3.3. Metode Penelitian 21
3.4. Cara Kerja 22
3.4.1. Persiapan Struktur *DSSC* 22
3.4.1.1. Pemotongan Kaca Substrat 22
3.4.1.2. Pembuatan *Dye* Bubuk sebagai Semikonduktor 23
3.4.1.3. Pembuatan Pasta TiO_2 24
3.4.1.4. Pembuatan Elektroda Kerja dan Elektroda Pembanding 25
3.4.2. Penyusunan dan Perangkaian *DSSC* 25
3.4.3. Pengujian Rangkaian *DSSC* 25
3.5. Parameter Penelitian 26
3.5.1. Pengukuran Kadar Antosianin *Dye* Bubuk 26
3.5.1.1. Pembuatan Buffer KCL pH 1.0 27
3.5.1.2. Pembuatan Buffer Na Sitrat pH 4.5 27
3.5.1.3. Perhitungan Kadar Air 28
3.5.2. Pengukuran dan Perhitungan Arus dan Tegangan 28
3.5.3. Perhitungan Daya 28
3.5.4. Perhitungan *Fill Factor* (Faktor Pengisian) 29
3.5.1. Perhitungan Efisiensi terhadap Performa *DSSC* 30
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1. Pengukuran Kadar Antosianin 31
4.2. Perhitungan terhadap Tegangan dan Arus 36
4.2.1. *DSSC* 1_{KBS} (*DSSC* 1 Kontrol Buah Senduduk) 38
4.2.2. *DSSC* $2\%_{BS}$ (*DSSC* 2% Buah Senduduk) 39
4.2.3. *DSSC* $4\%_{BS}$ (*DSSC* 4% Buah Senduduk)..... 40
4.2.4. *DSSC* $6\%_{BS}$ (*DSSC* 6% Buah Senduduk)..... 41

4.2.5. *DSSC* 8%$_{BS}$ (*DSSC* 8% Buah Senduduk) 41
4.2.6. *DSSC* 10%$_{BS}$ (DSSC 10% Buah Senduduk) 42
4.3. Perhitungan Daya 43
4.4. Perhitungan *Fill Factor* (FF) 45
4.5. Perhitungan Efisiensi *DSSC* 45
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN 47
5.1. Kesimpulan 47
5.2. Saran 47
DAFTAR PUSTAKA 48
LAMPIRAN 55

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Komponen penyusun *DSSC* 7

Gambar 2.2. Tumbuhan buah senduduk 13

Gambar 2.3. Struktur dasar benzopiran 14

Gambar 2.4. Prinsip kerja *DSSC* 17

Gambar 2.5. Kurva arus dan tegangan 19

Gambar 4.1. Grafik total antosianin dye bubuk buah senduduk 31

Gambar 4.2. Kurva (V-I) *DSSC* 1 sebagai kontrol 37

Gambar 4.3. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 2% 38

Gambar 4.4. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 4% 39

Gambar 4.5. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 6% 40

Gambar 4.6. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 8% 41

Gambar 4.7. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 10% 42

Gambar 4.8. Daya keluaran *DSSC* 1_{KBS}-$10\%_{BS}$ ($P_{output)}$ 43

Gambar 4.9. Daya masukan *DSSC* 1_{KBS}-$10\%_{BS}$ ($P_{input)}$ 43

Gambar 4.10. Perubahan nilai efisiensi *DSSC* 1_{KBS}-$10\%_{BS}$ 45

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Nilai kelistrikan *DSSC* perlakuan variasi konsentrasi berbeda..... 35

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Diagram alir penelitian 55

Lampiran 2. Diagram pembuatan *dye* bubuk 56

Lampiran 3. Data pengukuran antosianin 57

Lampiran 4. Data pengukuran arus dan tegangan *DSSC* 1_{KBS} 59

Lampiran 5. Data pengukuran arus dan tegangan *DSSC* $2\%_{BS}$..... 61

Lampiran 6. Data pengukuran arus dan tegangan *DSSC* $4\%_{BS}$..... 63

Lampiran 7. Data pengukuran arus dan tegangan *DSSC* $6\%_{BS}$..... 65

Lampiran 8. Data pengukuran arus dan tegangan *DSSC* $8\%_{BS}$..... 66

Lampiran 9. Data pengukuran arus dan tegangan *DSSC* $10\%_{BS}$..... 68

Lampiran 10. Data pengukuran intensitas cahaya 69

Lampiran 11. Perhitungan daya (input&output), *fill factor* (FF), dan efisiensi *DSSC* 70

Lampiran 12. Perhitungan konsentrasi 79

Lampiran 13. Perhitungan kadar air bahan 82

Lampiran 14. Dokumentasi kegiatan penelitian 83

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi secara umum dibutuhkan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari tidak hanya secara pribadi tetapi juga dalam kehidupan masyarakat, bangsa dan negara. Energi terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupan manusia. Jumlah kebutuhan energi yang paling banyak terdapat dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional yakni bahan bakar minyak. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kholiq (2015) menyatakan bahwa komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air: 3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan energi baru : 0,2%. Berdasarkan kondisi tersebut, seperti yang kita ketahui energi baru hanya 0,2% dengan ini menyadarkan manusia untuk segera mencari alternatif terbarukan dan mengembangkan sumber energi lain yang murah, mudah diperoleh, dan bersifat ramah lingkungan. Energi terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal yakni energi surya (Wulandari, 2018). Energi surya merupakan energi tepat guna, ekonomis, tersedia melimpah, dan dapat diperbarui terus menerus yaitu dengan memanfaatkan energi matahari kemudian diubah menjadi energi listrik (Maysha *et al*., 2013).

Indonesia merupakan wilayah yang beriklim tropis, wilayah indonesia yang dicirikan dengan melimpahnya cahaya matahari. Seperti yang kita ketahui suplai energi surya dari cahaya matahari diterima secara optimal di permukaan bumi mencapai 3 x 1024 joule tiap tahun (Yuliananda *et al.*, 2015). Para peneliti terus berusaha mencari dan menyediakan sumber energi alternatif yang terbarukan dan tepat guna. Salah satu energi yang saat ini masih terus dikembangkan adalah energi surya. Energi surya dapat diubah menjadi energi listrik, yang dapat bermanfaat dan berfungsi sebagai energi alternatif menggantikan energi fosil (Wulandari, 2018). Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik dengan memanfaatkan panel surya. Panel surya tersebut terdiri atas gabungan sel-sel kecil yang umumnya disebut sebagai sel surya.

Sel surya terbagi menjadi tiga generasi sel surya. Pertama generasi sel surya monokristal terbuat dari kristal tunggal merupakan panel yang paling efisien, yang menghasilkan daya listrik persatuan luas yang tinggi. Polikristal merupakan sel surya dengan multikristal, sel surya yang memiliki susunan kristal acak dengan luas permukaan lebih besar. Adapun jenis yang kedua, sel surya yang merupakan sel dengan struktur lapisan tipis (*thin film*). Adapun kelemahan dari sel surya jenis ini yakni susah didapatkan, mahal, dan tidak ramah lingkungan (Iwantono, 2018).

Sel surya fotoelektrokimia atau sel surya berbahan organik sering disebut dengan *Dye Sensitized Solar Cell* (*DSSC*) merupakan jenis ketiga dari perkembangan sel surya. *DSSC* pertama kali dikembangkan pada tahun 1991 oleh Gratzel dengan efisiensi tertinggi 11%. Sel surya ini berasal dari perkembangan nanoteknologi menggunakan bahan TiO_2 seperti yang dijelaskan oleh Gratzel dalam penelitiannya (Wulandari, 2018). Teknologi sel surya yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan bantuan *photosinsitizer* menggunakan *dye* merupakan pengertian secara umum dari *DSSC* (Dwioknain *et al*, 2019).

Penelitian tentang sel surya dengan menggunakan *dye* banyak dikembangkan karena keunggulan sel surya menggunakan *dye* (pigmen warna) diantaranya murah, pembuatannya mudah, bersifat ramah lingkungan, dan memiliki efisiensi yang tinggi. Salah satu komponen utama penyusun *DSSC* yang berfungsi untuk menyerap foton dan melepas elektron adalah *dye* sensitizer. Perkembangan teknologi sel surya sejauh ini berupa penggunaan *dye* sebagai sensitizer terbagi menjadi dua jenis, yaitu *dye* sintetis dan *dye* alami. Umumnya *dye* sintetis menggunakan bahan *ruthenium* yang dapat menghasilkan efisiensi 11-12% (Alimuddin, 2016). Adapun kelemahan dari *dye* sintetis adalah harga yang tinggi, bersifat membahayakan lingkungan, dan ketersediaannya di alam cukup rendah. *Dye* alami merupakan *dye* yang mudah diperoleh yang berasal dari bagian-bagian tumbuhan yang dapat diekstrak misalnya buah, bunga, akar, dan daun. Pigmen *dye* pada tumbuhan berfungsi sebagai fotosensitizer berupa pigmen antosianin, karoten, dan klorofil (Dahlan dan Fahyuan, 2014).

Tumbuhan senduduk merupakan salah satu jenis tumbuhan gulma yang berpotensi sebagai sumber pigmen antosianin. Bagian tumbuhan senduduk yang dapat dimanfaatkan adalah buahnya (Farida *et al*., 2015). Buah senduduk memiliki kandungan senyawa flavonoid dengan gugus kromofor atau ikatan rangkap terkonjugasi. Senyawa flavonoid dalam ekstrak buah senduduk mempunyai kecenderungan untuk menyerap cahaya tampak pada rentang 490 nm-535 nm. Golongan ini memiliki senyawa kimia organik dapat larut dalam pelarut polar, dan dominan memberikan warna ungu, *orange*, merah, biru, dan hitam pada tumbuhan yang memiliki golongan tingkat tinggi misalnya buah, bunga, biji-bijian, umbi-umbian dan sayuran (Priska *et al*., 2018).

Antosianin dapat diperoleh dari buah senduduk melalui proses ekstraksi. Penelitian terhadap aplikasi metode ekstraksi manurut Ayu *et al*. (2020) salah satunya adalah metode *Ultrasonic Assisted Ekstractoin* (*UAE*) menunjukkan penggunaan yang lebih sedikit volume pelarut, mempersingkat waktu ekstraksi, dan menghemat energi. Hal ini merupakan keunggulan utama dari metode ekstraksi dengan bantuan ultrasonik karena lebih efektif dibandingkan dengan metode ekstraksi yang lainnya. Ekstraksi bertujuan untuk mengeluarkan sifat atau zat aktif berupa pigmen warna yang akan digunakan sebagai *dye*. Buah senduduk akan dihaluskan secara mekanis tanpa mengubah sifat kimia dari bahan. Pengecilan ukuran tersebut bertujuan untuk memperluas permukaan bahan, dapat mendukung ekstraksi bahan, memperoleh produk suatu bahan dengan bentuk dan ukuran seragam.

Penelitian terhadap proses ekstraksi zat antosianin dari berbagai macam bahan sejauh ini masih menggunakan bahan segar secara langsung dengan fase larutan. Secara umum yang kita ketahui jenis *dye* yang saat ini dimanfaatkan adalah berbentuk cairan dengan metode penumbukan menggunakan mortar dan alu untuk pengecilan ukuran pada bahan dimana bentuk permukaan dan ukuran bahan belum seragam. Hal ini berpengaruh terhadap umur simpan, ketahanan bahan terhadap bakteri dan aplikasi pemakaian yang sulit sebab harus mengolah bahan terlebih dahulu sebelum digunakan. Salah satu solusi untuk dapat meminimalisir permasalahan tersebut adalah dengan membuat bahan yang telah diekstrak menjadi bubuk dengan metode pengeringan.

Pembuatan bubuk dapat diaplikasikan dengan teknologi tinggi yakni dengan menggunakan alat *spray drying* dan *freeze drying*. Namun alat ini tidak terjangkau dan terbilang mahal. Pengeringan adalah proses menurunkan kandungan kadar air dari suatu bahan. Suatu bahan dilakukan pengeringan bertujuan agar bahan memiliki umur simpan yang panjang atau lebih awet dan dapat diaplikasikan dengan cepat karena telah kering (Indriyani *et al*., 2013). Metode *foam mat drying* adalah metode pengeringan suatu bahan yang dibuat busa atau buih terlebih dahulu dan menggunakan bahan tambahan seperti telur dan tepung tapioka dan bisa juga menggunakan dextrin, bahan dikeringkan dengan menggunakan oven dengan suhu 50℃-80℃. Metode *foam-mat drying* merupakan metode yang sederhana dan dapat diaplikasikan dengan skala kecil (Iswari, 2007).

Dye bubuk merupakan pigmen warna hasil ekstraksi yang telah diubah menjadi bubuk dengan metode *foam-mat drying*. *Dye* bubuk memiliki keunggulan yakni umur simpan lebih panjang atau lebih awet, lebih mudah dalam pengaplikasian, jumlah bahan yang dibutuhkan lebih sedikit.

Menurut (Setiawan *et al*., 2015) menyatakan bahwa *dye* dari ekstrak kulit buah naga dapat menyerap cahaya pada rentang 320 nm-760 nm, dan rentang panjang gelombang 420 nm-580 nm penyerapan cahaya tinggi. Hal ini membuktikan terdapat kandungan antosianin pada puncak serapan rentang panjang gelombang tersebut. Pengurangan konsetrasi *dye* akan menurun secara konsisten dalam serapan optik. Semakin rendah konsentrasi maka senyawa zat warna yang dimiliki oleh *dye* semakin rendah, mengakibatkan puncak serapan optik menurun. Dalam hal ini konsentrasi *dye* berpengaruh terhadap performa *DSSC* yang akan dihasilkan karena sesuai penelitian yang telah dilakukan Faqih *et al* (2016) menyatakan bahwa tingginya konsentrasi *dye* akan mempengaruhi ketebalan lapisan *dye* di atas lapisan pasta TiO_2 yang berperngaruh sekali terhadap proses absorpsi cahaya oleh lapisan *dye* dan juga dapat meningkatakan konduktivitas aliran listrik. Dan juga berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Rusdiana (2014) menyatakan bahwa dengan variasi konsentrasi yang digunakan yakni 10%, 20%, 30% menunjukkan hasil nilai efisiensi sel surya yang dihasilkan terjadi peningkatan apabila konsentrasi dinaikkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam penelitian ini penulis akan melakukan perlakuan perbedaan tingkat konsentrasi ekstrak *dye* bubuk buah senduduk untuk memperoleh nilai efisiensi terbaik pada *Dye Sensitized Solar Cell* yang menggunakan bubuk ekstrak buah senduduk.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi terbaik dari sifat kelistrikan *Dye Sensitized Solar Cell* (*DSSC*) yang menggunakan bubuk ekstrak buah senduduk (*Melastoma malabathricum*) yang dikeringkan dengan metode *foam-mat drying*.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya

Kebutuhan manusia yang paling utama dalam kehidupan yakni energi. Karena setiap aktivitas atau kegiatan yang akan dilakukan oleh manusia pasti memerlukan energi. Saat ini ketersediaan energi yang diperoleh dari energi fosil akan mulai berkurang dengan meningkatnya kebutuhan energi bagi kehidupan manusia. Hal ini menyadarkan manusia untuk mencari energi alternatif sebagai energi pengganti dari energi fosil. Energi alternatif yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan energi surya. Energi surya adalah suatu sumber energi yang bersifat ramah lingkungan, tidak dapat habis karena diperoleh dari alam, dan dapat diperbaharui.

2.2. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*

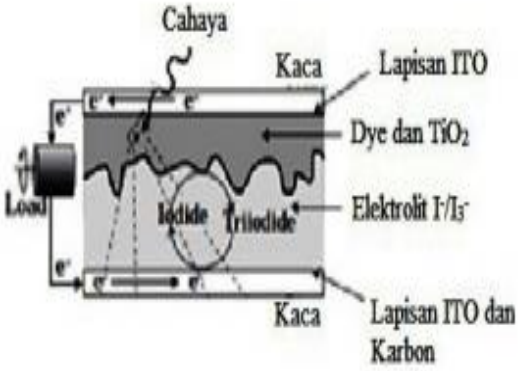
Energi surya yang umumnya dimanfaatkan sebagai energi alternatif yakni energi matahari karena energi matahari dalam bentuk foton dapat diubah menjadi energi listrik. Salah satu sel surya generasi ketiga yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan bantuan berbagai komponen penyusunnya adalah pengertian dari *Dye Sensitized Solar Cell*. Keunggulan *DSSC* adalah mudah dalam perawatanya, tidak akan habis karena bersumber dari energi surya, mudah dan cepat diaplikasikan, bahan yang digunakan mudah diperoleh dan murah. Prinsip kerja *DSSC* yakni terjadinya proses penyerapan cahaya dari matahari dan transfer elektron untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik (Mabruroh, 2019).

Jenis *dye* yang sering digunakan adalah *Rhutenium Complex* efisiensi yang dihasilkan sebesar 11%. Tetapi ketersediaan dan harganya terbilang mahal maka dicari alternatif lain, jenis *dye* yang akan digunakan dalam pembuatan *DSSC* yakni *dye* alami yang berasal dari tumbuhan seperti buah, daun, bunga, batang, dan akar (Mabruroh, 2019). *Dye* alami yang berasal dari tumbuhan yakni

tumbuhan senduduk yang terdapat beberapa bagian yaitu akar, batang, daun, dan bunga. Buah senduduk yang akan dimanfaatkan sebagai sinsitizer pada *DSSC* adalah bagian buahnya.

2.3. Komponen Penyusun *DSSC*

Komponen penyusun *DSSC* terdiri dari elektroda kerja, elektroda pembanding, dan larutan elektrolit seperti terlihat pada Gambar 2.1. Elektoda kerja adalah suatu komponen yang terdiri dari kaca *TCO*, pasta TiO_2, dan *dye* alami yang terletak di bagian atas. Elektoda pembanding adalah suatu kaca yang telah dilapisi katalis karbon yang terletak dibagian bawah komponen *DSSC* (Mabruroh, 2018). Bahan penyusun *DSSC* memiliki sifat stabil yang baik dalam kondisi teroksidasi maupun tereduksi serta bersifat kuat atau inert (Yuliarosa, 2019).



Sumber : Misbachudin *et al*. (2014)

Gambar 2.1. Komponen penyusun dssc

2.3.1. Elektroda kerja

Elektroda kerja merupakan tempat melekatnya luasan aktif lapisan pasta TiO_2 yang bersifat semikonduktor atau penghantar listrik dan tempat melekatnya *dye* alami pada *DSSC*.

2.3.1.1. Kaca *Transparent Conductive Oxide* (*TCO*)

Kaca *TCO* merupakan salah satu bagian komponen penyusun *DSSC* yang berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya matahari dan bersifat konduktif. Jenis *TCO* yang saat ini umum diperdagangkan adalah *Fluorinated Tin Oxide* (*FTO*) dan *Indium Tin Oxide* (*ITO*). Jenis kaca *ITO* mahal dan juga susah diperoleh atau bersifat langka. Salah satu material utama yang banyak dijual di pasaran adalah *TCO* dari *FTO* karena lebih murah dan mudah diperoleh (Ningsih, 2020). Berdasarkan penelitian Widiyandari *el al*. (2012) yang telah dilakukan sifat konduktifitas listrik pada kaca *FTO* relatif lebih tahan terhadap perlakuan panas dibandingkan dengan kaca *ITO*. Hal ini membuat kaca *FTO* lebih potensial saat digunakan sebagai elektroda pada *DSSC*. Keunggulan kaca *FTO* yakni lebih resistan, mudah diperoleh dan murah, dan ketersediaan bahan baku lebih banyak.

2.3.1.2. Pasta TiO_2 sebagai Semikonduktor

Salah satu bahan penyusun *DSSC* yang bersifat semikonduktor (penghantar listrik) memiliki celah energi yang lebar (3,2 eV-3,8 eV) adalah pengertian dari titanium dioksida (TiO_2). Pasta TiO_2 dalam *DSSC* berfungsi untuk mengikat *dye* dan sebagai akseptor (penerima) elektron. Lapisan pasta titanium dioksida memiliki sifat pengikat *dye* dan sifat optik yang baik. Hal ini sangat bergantung pada proses pendeposisian lapisan pasta TiO_2 dengan benar (Mabruroh, 2019).

Pendeposisian lapisan pasta TiO_2 terbagi menjadi beberapa metode yakni metode yang pertama *spray coating* merupakan metode dengan menggunakan air dan disemprotkan langsung pada bahan dengan bantuan nozzel. Metode yang kedua *spin coating* adalah metode dengan memanfaatkan gaya sentripetal dengan menggunakan alat *spin coater* pada benda putar dengan kecepatan putar tertentu. Adapun metode ketiga yakni *doctor blade*, metode *doctor blade* adalah metode dengan cara meletakkan pasta TiO_2 yang sudah dibuat ke substrat kaca yang sudah dilapisi selotip sesuai ketebalan pasta yang dinginkan, kemudian diratakan dengan batang pengaduk. Metode yang paling umum digunakan untuk

pendeposisian pasta TiO_2 yakni metode *doctor blade* karena prosesnya lebih cepat dan mudah diaplikasikan (Windi, 2017).

2.3.1.3. *Dye* Bubuk Alami

Dye merupakan zat warna yang diperoleh dari bagian tumbuhan seperti akar, batang, daun, bunga, dan buah. Zat warna merupakan komponen utama dalam penyerapan dan konversi elektron pada *DSSC*. *Dye* merupakan suatu hal yang terpenting dalam sistem *DSSC*, apabila tidak ada *dye* maka tidak akan ada proses penyerapan cahaya matahari dan tidak ada proses transfer elektron yang terjadi dalam *DSSC*.

Bahan *dye* pada *DSSC* yang dimanfaatkan adalah bahan segar secara langsung yang diekstrak menjadi *dye* alami dan diperoleh *dye* dengan fase cairan. Namun *dye* yang masih dalam fase cairan terdapat kelemahan yakni masa umur simpan relatif singkat, pengaplikasiannya cukup sulit karena harus mengolah bahan terlebih dahulu. Hal ini menjadi solusi untuk meminimalisir kelemahan tersebut adalah dengan membuat *dye* dari bahan segar buah senduduk (*Melastoma malabathricum*) yang diekstrak dan dikeringkan kemudian diperoleh bahan berupa *dye* bubuk dengan menggunakan metode pengeringan *foam-mat drying*.

2.3.1.3.1. Persentase Pelarut terhadap *Dye* Bubuk

Berdasarkan penelitian Putri *et al*. (2017) menyatakan bahwa pengertian konsentrasi merupakan besaran yang menunjukkan perbandingan antara jumlah zat terlarut terhadap pelarut. Umumnya cara menyatakan konsentrasi dengan satuan persen, molar, molal, fraksi mol dan bagian per sejuta (ppm). Apabila zat terlarut dalam jumlah besar maka larutan yang terbentuk memiliki konsentrasi pekat (tinggi) dan juga sebaliknya apabila zat terlarut dalam jumlah kecil maka larutan terbentuk memiliki konsentrasi encer (rendah). Kelanisrutan dapat didefinisikan bahwa konsentrasi *dye* merupakan perbandingan antara jumlah *dye* yang terlarut terhadap pelarut yang akan digunakan.

Berdasarkan penelitian Mursalin (2019) menyatakan bahwa perbandingan *dye* dengan pelarutnya mempengaruhi jumlah *dye* yang terserap secara optimal dipermukaan lapisan pasta TiO_2. Perbandingan konsentrasi *dye* yakni 30%, 50%, 70% dan 100% dimana efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 70% hubungan variasi konsentrasi terhadap efisiensi *DSSC* bersifat linear. Hal ini diakibatkan karena semakin besar molekul *dye* yang melekat pada lapisan pasta TiO_2 maka semakin besar elektron dalam *dye* yang dapat tereksitasi atau melompat keluar.

Penelitian yang dilakukan Cari *et al*. (2013) menyatakan bahwa hasil pengujian efisiensi yang diperoleh pada setiap sel dengan variasi konsentrasi 0,1%, 05%, dan 1% nilai efisiensi berturut-turut yakni $7{,}54 \times 10^{-4}$%, $1{,}72 \times 10^{-3}$% dan $2{,}33 \times 10^{-3}$%. Penambahan jumlah konsentrasi akan meningkatkan nilai efisiensi *DSSC* secara signifikan, dengan penambahan konsentrasi lebih besar mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik lebih baik dibandingkan dengan *DSSC* konsentrasi yang kecil. Pasangan elektron yang lebih besar melompat keluar maka menghasilkan arus dan tegangan lebih besar dan lebih baik. Penelitian Bashir *et al*. (2016) yang menyatakan bahwa nilai efisiensi dengan menggunakan *dye* dari kulit buah manggis akan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi, tingginya konsentrasi yang dibuat pada *dye* sangat berpengaruh terhadap penyerapan cahaya dalam lapisan *dye* yang terdapat pada elektroda kerja pada *DSSC* dan dapat meningkatkan aliran listrik.

Penelitian yang juga telah dilakukan Nurawan *et al*. (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pada struktur dssc dimondifikasi dengan bahan pembawa elektron dan pembawa *hole* (*hole transport material*). *Hole transport Material* (*HTM*) adalah suatu bahan yang dapat membantu proses muatan pada *DSSC* sehingga dihasilkan efisiensi tinggi, bahan yang digunakan yakni bahan dengan tingkat kestabilan yang tinggi dengan tingkatnenergi dan dengan tingkat energi *dye*. Spiro-ometad adalah bahan organik yang cocok untuk dijadikan *HTM* pada sel surya, karena memiliki daerah absorbansi rentang panjang gelombang ultraviolet maka proses absorpsi foton oleh *dye* tidak akan terganggu.

Penambahan *HTM* Spiro-ometad dengan variasi konsentrasi 5wt%, 7,5wt%, dan 10wt% dapat meningkatkan nilai efisiensi. Pada konsentrasi 7,5wt%

diperoleh nilai efisiensi yang tinggi yakni 8.73%, dengan penambahan *HTM* Spiro-ometad dalam komponen *DSSC* dapat mempercepat terjadinya transfer elektron dan juga dapat mengurangi rekombinasi muatan hingga nilai arus yang dihasilkan *DSSC* meningkat.

2.3.2.2. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit merupakan larutan yang digunakan untuk proses reaksi redoks pada elektroda pembanding. Elektrolit adalah suatu komponen terpenting pada *DSSC*, karena elektrolit berfungsi sebagai penyedia elektron atau pengganti elektron yang mengalami eksitasi pada *dye* (Mabruroh, 2019).

Jenis larutan elektrolit yang digunakan harus bersifat stabil dalam keadaan tereduksi atau teroksidasi, bersifat inert, dan memiliki transfer ion yang besar. Sifat kelistrikan *dye sensitized solar cell* yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan memperhatikan larutan elektrolit yang sesuai untuk digunakan. Elektrolit yang sering digunakan dalam sistem sel surya berupa elektrolit cair yakni berupa jenis elektrolit dengan pasangan redoks iodine dan triodine (I^-/I_3^-). Berdasarkan penelitian Kumara dan Prajitno (2012) menyatakan bahwa pasangan redoks pada elektrolit yang digunakan pada *DSSC* memiliki karakteristik ideal yakni secara termodinamika potensial redoks dari *dye* berlangsung sesuai sehingga menghasilkan tegangan sel yang maksimal.

2.3.2. Elekroda Pembanding

Elektroda pembanding merupakan elekroda dengan kaca substrat yang telah dilapisi oleh katalis karbon. Elektroda pembanding yang berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat penghantaran elektron untuk bereaksi pada proses reduksi iodida dan triodida pada larutan elektrolit.

2.3.2.1. Katalisator

Katalisator berfungsi untuk mempercepat penghantaran elektron menuju larutan elektrolit. Katalis pada elektroda pembanding bertujuan untuk mempercepat elektron untuk bereaksi dengan larutan elektrolit. Katalis yang umum digunakan adalah platina, karena sangat efisien untuk diaplikasikan pada *DSSC* dan merupakan jenis katalis yang memiliki katalitik yang tinggi. Namun platina memiliki harga yang cukup mahal (Kumara dan Prajitno, 2012).

Katalis karbon yang sering digunakan adalah katalis dari hasil proses pembakaran lilin atau jelaga lilin. Hal ini sudah terbukti bahwa katalis karbon dari jelaga lilin baik digunakan pada *DSSC*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Ningsih (2020) menunjukan pelapisan *dye* pada elektroda pembanding menggunakan jelaga lilin sampai terlihat jelas lapisan karbon (berwarna hitam pekat), yang menghasilkan performa terbaik kelistrikan *DSSC* menggunakan pemeka cahaya dari ekstraksi dengan metode *UAE* dengan nilai efisiensi 8,26%. Keunggulan dari katalis karbon jelaga lilin adalah memiliki permukaan halus, bersifat homogen dan menempel dengan baik pada kaca substrat elektroda pembanding.

2.4. Tumbuhan Senduduk

Tumbuhan yang memiliki nama latin *Melastoma malabathricum* yang banyak dijumpai pada daerah beriklim tropis, subtropis, dan kepulauan pasifik. Tumbuhan ini berpotensi akan menghasilkan zat warna antosianin yakni warna ungu tua. Secara umum tumbuhan ini sering digunakan sebagai obat tradisional, yakni daunnya dapat dimanfaatkan untuk mengobati atau menyebuhkan luka berdarah maupun luka bakar (Rahayu *et al*., 2018). Tumbuhan senduduk dapat ditemukan di persawahan, semak-semak, dan lereng gunung. Tumbuhan senduduk terdiri dari akar, batang, daun, bunga dan buah. Pada akar dan batang tumbuhan senduduk mengandung steroid dan terpenoid. Daun senduduk memiliki senyawa kimia flavonoid, saponin, dan tanin begitu juga dengan bunga senduduk memiliki kandungan senyawa kimia flavonoid (Sari *et al*., 2016).

Tumbuhan senduduk yang akan dimanfaatkan adalah bagian buahnya. Pemanfaatan buah senduduk oleh masyarakat secara umum belum berdaya guna lebih dan dianggap sebagai tumbuhan gulma. Buah senduduk memiliki kandungan senyawa flavonoid, glikosida dan saponin. Glikosida kandungan yang dimiliki buah senduduk merupakan senyawa yang jika dihidrolisis akan menghasilkan satu atau lebih gula. Hal ini akan menyebabkan hasil dari *dye* bubuk alami buah senduduk yang telah dilakukan percobaan diperoleh hasil tekstur yang masih lengket, untuk itu bahan *dye* bubuk alami dapat disimpan pada lemari pendingin agar diperoleh kuantitas *dye* bubuk alami yang lebih optimal (Mujumdar, 2006).

Antosianin umumnya menimbulkan warna merah dan ungu pada buah dan bunga (Fitria *et al*., 2016). Tumbuah senduduk (buahnya) seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. mengandung antosianin merupakan bahan yang dapat digunakan sebagai sensitizer alami dalam pembuatan ekstrak *dye* bubuk.

Berdasarkan penelitian Fitria *et al*. (2016) menyatakan bahwa molekul pewarna dengan warna memiliki panjang gelombang lebih pendek seperti warna merah akan memberikan energi yang besar dapat mengeksitasi elektron, sehingga efisiensi mengubah energi lebih baik jika dibandingkan dengan warna dengan rentang panjang gelombang yang panjang.

Sumber : Defrina dan Sari (2020)

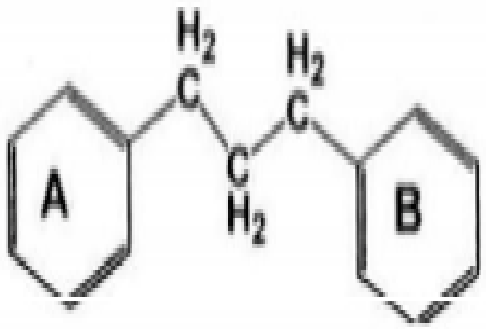
Gambar 2.2. Tumbuhan buah senduduk

2.5. Zat Warna Antosianin

Antosianin adalah zat warna alami yang aman digunakan karena antosianin tidak mengandung logam berat. Antosianin juga merupakan golongan senyawa kimia organik yang mudah larut dalam pelarut polar dan bersifat stabil pada kondisi asam (Priska *et al*., 2018). Penelitian yang dilakukan Tensiska *et al*. (2017) menyatakan beberapa pelarut yang besifat polar yakni air, etanol, dan etil asetat.

Berdasarkan penelitian Mukarromah (2016) menyatakan bahwa antosianin yang berasal dari bahasa yunani, bunga yang berarti *anthos* dan biru gelap yang berarti *kyanos*. Antosianin adalah zat yang dapat larut dalam air dan tersebar luas dalam bentuk bunga, buah dan juga dapat menghasilkan zat warna alami yakni dari warna merah sampai warna biru. Senyawa flavonoid yang termasuk dalam turunan benzopiran merupakan zat warna alami antosianin. Turunan benzopiran dengan struktur utama yang ditandai adanya dua cincin aromatik (C_6H_6) dihubungkan dengan tiga atom karbon yang membentuk cincin. Adapun struktur dasar benzopiran yang terlihat pada Gambar 2.3.

Berdasarkan penelitian Suranti (2020) ekstrak zat antosianin dapat diperoleh dengan menggunakan beberapa metode yakni, metode *Ultrasonic Assisted Axtraction* (*UAE*), *Mixrowave Assisted Extraction* (*MAE*) , kombinasi, dan matode maserasi. Antosianin dalam buah senduduk yang diperoleh berperan sebagai *dye* yang dapat menyerap energi matahari sehingga mampu mengeluarkan elektron sebagai salah satu sumber energi listrik.



Sumber: Mukarromah (2016)

Gambar 2.3. Struktur dasar benzopiran

Berdasarkan penelitian Maulina *et al*. (2014) Spektrum cahaya yang diserap zat antosianin kulit buah manggis cukup lebar dari rentang panjang gelombang 480-580 nm dan dengan panjang maksimum 532 nm warna yang terlihat yakni ungu kemerahan. Serapan ekstrak zat antosianin kulit buah manggis yang cukup lebar dapat meningkatkan performansi dari sel surya. Penelitian yang telah dilakukan Andari (2017) juga menyebutkan bahwa spektrum cahaya diserap ekstrak antosianin bunga *rosella* cukup lebar yakni 450-600 nm dengan panjang gelombang maksimum 553 nm. Dengan demikian zat antosianin dari bunga *rosella* sangat signifikan dan dominan menyerap cahaya tampak pada spektrum hijau (500-550 nm).

2.6. Metode Pengeluaran Zat Aktif

Metode pengeluaran zat aktif merupakan metode dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yang akan mengeluarkan zat aktif pada suatu bahan tertentu. Gelombang ultrasonik dengan frekuensi lebih besar dari 20 kHz sampai 10 MHz. Metode pengeluaran zat aktif ini umumnya disebut dengan metode *Ultrasonic Assited Extraction* (*UAE*).

Berdasarkan penelitian Ningsih (2012) yang menyatakan bahwa metode *Ultrasonic Assited Extraction* memiliki keunggulan bahan hasil ekstraksi yang dihasilkan lebih banyak dan dengan kondisi yang tidak rusak akibat suhu (terdegradasi), lama waktu dalam proses pengeluaran zat aktif relatif lebih singkat. Dalam hal ini maka dalam penelitian akan melakukan proses ekstraksi pengeluran zat aktif suatu bahan dengan metode *UAE*.

2.7. Metode *Foam-Mat Drying*

Metode *foam-mat drying* adalah suatu metode proses pengeringan dari bahan yang berfase larutan dengan pembuatan busa atau buih menggunakan bahan tambahan zat pembuih yakni putih telur dan bahan pengisi yakni dekstrin, dikeringkan dalam oven pada suhu 50-80℃ (Purbasari, 2019). Umumnya metode pembuatan bubuk siap saji dengan teknologi tinggi yakni menggunakan alat *spray*

drying. *Spray drying* merupakan alat yang canggih dan terbilang mahal. Dalam hal ini maka dilakukan pembuatan bubuk dengan metode *foam-mat drying* karena metode ini merupakan metode yang sederhana dan dapat diaplikasikan dalam skala kecil.

Berdasarkan penelitian Kusumah (2017) menyatakan bahwa tujuan dari penggunaan metode *foam-mat drying* untuk mempercepat proses pengeringan dengan penambahan bahan pembuih, semakin besar konsentrasi bahan pembuih yang digunakan maka akan meningkatkan luas permukaan dan memberi struktur berpori pada bahan sehingga kecepatan pengeringan akan meningkat. Adapun jenis bahan pembuih yang umumnya digunakan adalah putih telur (albumin), soda kue, gliserin, dan polysorbat 80. Dalam penelitian ini akan menggunakan putih telur (albumin) karena memiliki keunggulan yakni harga lebih murah, mudah diperoleh dan juga bersifat alami.

Penelitian yang dilakukan Kurniasari *et al*. (2019) juga menyatakan dengan adanya lapisan bahan pembuih akan lebih cepat kering dibandingkan dengan lapisan tanpa bahan pembuih. Hal ini disebabkan cairan akan lebih mudah bergerak melalui lapisan buih dari pada melalui lapisan padat. Penggunaan putih telur dengan mengetahui konsentrasi yang tepat maka konsentrasi buih yang semakin tinggi akan meningkatkan luas permukaan bahan dan dapat memungkinkan terjadi pemanasan disetiap bagian hingga proses penguapan air menjadi lebih cepat dan proses pengeringan juga lebih cepat.

Berdasarkan penelitian Haryanto (2016) juga menyatakan bahwa penambahan albumin atau putih telur dapat meningkatkan hasil total padatan pada bahan. Penggunaan bahan pembuih akan mempengaruhi jumlah rendemen yang akan diperoleh karena bahan pembuih berperan sebagai pembusa dalam metode *foam-mat drying* yang akan menghasilkan hasil total padat produk lebih meningkat maka rendemen bubuk juga akan meningkat. Penelitian yang dilakukan Noordia (2000) menyatakan bahwa penambahan bahan pembuih berupa putih telur 2% pada santan bubuk memperoleh perlakuan terbaik.

Penelitian yang juga dilakukan Yulinery dan Nurhidayat (2012) menyatakan bahwa penambahan dekstrin 2%, 5%, 10%, dan 15% akan memperoleh kualitas yang terbaik. Penambahan dektrin 10% pada suhu inlet

spray drying 125^{o}C menunjukkan hasil kualitas bubuk yang baik secara kimia, fisika dan organoleptik.

2.7.1. Kadar Air Bahan

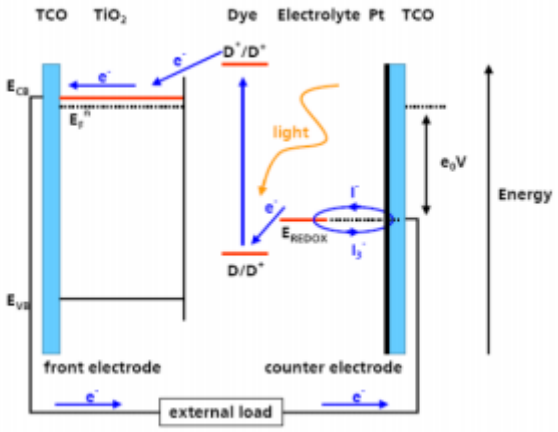
Berdasarkan penelitian Prasetya *el al*. (2019) menyatakan bahwa kadar air adalah sejumlah kandungan air yang terdapat pada bahan seperti bahan pertanian dan bahan lainnya. Penentuan kadar air pada suatu bahan bertujuan agar pada proses pengolahan bahan dapat penanganan yang tepat, dan tidak terjadi kerusakan pada bahan pangan. Secara umum kadar air digunakan dalam bidang ilmiah dan teknik dinyatakan dalam rasio dari kering total, kadar air dengan dua basis yaitu basis basah dan basis kering. Nilai kadar air dapat secara gravimetrik (massa) yakni menimbang masa air dengan bahan secara tidak langsung.

2.8. Prinsip Kerja *DSSC*

Dye Sensitized Solar Cell dapat melakukan kerja apabila memperoleh sinar dari lampu halogen. Pada *DSSC* prinsip kerja diawali dengan masuknya energi matahari dalam bentuk foton ke elektroda kerja (kaca *TCO*, pasta TiO_2, dan *dye*). Kemudian didalam *dye* terdapat elektron, elektron dalam *dye* tersebut akan melompat keluar menuju pasta TiO_2 dan ruang pada *dye* menjadi berlubang. Selanjutnya setelah elektron terinjeksi menuju pasta TiO_2, elektron akan berdifusi menuju elektroda pembanding melalui sirkuit luar dan melewati beban. Pada elektroda pembanding terdapat katalis karbon (jelaga lilin) yang berperan untuk mempercepat penghantaran elektron menuju larutan elektrolit.

Larutan elektrolit yang memiliki pasangan redoks iodin dan triodin akan bereaksi dengan elektron yang akan membentuk ion negatif. Ion negatif ini yang akan mengisi ruang pada *dye* yang berlubang sebelumnya. Siklus ini yang umumnya dinamakan siklus redoks, dan siklus ini akan berlangsung secara terus menurus yang akan menghasilkan arus listrik sampai larutan elektrolit belum habis atau kering. Dan dari siklus inilah terjadi konversi langsung dari energi

matahari menjadi energi listrik. Adapun prinsip kerja *DSSC* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Sumber: Andari (2017)

Gambar 2.4. Prinsip kerja dssc

2.9. Pengukuran dan Perhitungan *DSSC*

Tahapan untuk dapat mengetahui performa *DSSC* terbaik dari sampel yang diuji coba maka akan dilakukan pengukuran dan perhitungan pada kinerja *DSSC* yakni uji kadar antosianin *dye* bubuk buah senduduk berdasarkan metode perbedaan pH, pengukuran arus dan tegangan, perhitungan daya, perhitungan *fill factor* dan perhitungan efisiensi terhadap performa *DSSC*.

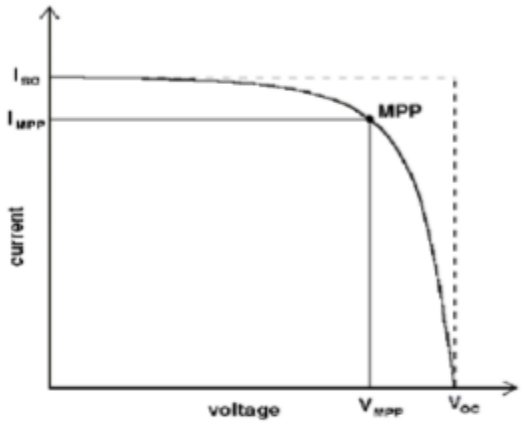
2.9.1. Perhitungan Kadar Antosianin Buah Senduduk

Kadar antosianin *dye* bubuk pada tumbuhan senduduk dapat diukur dan dihitung dengan menggunakan metode perbedaan pH. Ekstrak *dye* bubuk buah senduduk dilarutkan dengan volume tertentu dalam dua larutan buffer yang berbeda yakni Buffer KCL 0,025 M pH 1.0 dan buffer natrium asetat 0,4 M pH 4.5 sampel diuji akan memperoleh absorbansi $A_{\lambda vis\text{-}maks}$ (Gusti dan wrolted, 2001). Berdasarkan penelitian Megawati *el al*. (2020) menyatakan bahwa $A_{\lambda vis\text{-}maks}$ merupakan absorbansi di panjang gelombang maksimum. Panjang gelombang

maksimum dapat diperoleh dengan pengujian sampel dengan menggunakan spektrofotometer dari rentang panjang gelombang 510 – 700 nm, dan dilihat hasil yang diperoleh absorbansi terbesar.

2.9.2. Pengukuran dan Perhitungan Arus dan Tegangan

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan alat multimeter yang telah dihubungkan dengan rangkaian *DSSC*. Pengukuran mengubah energi matahari menjadi energi listrik dalam *DSSC* dinyatakan dalam bentuk kurva I-V seperti terlihat pada Gambar 2.5. apabila sel pada kondisi *open circuit* akan menghasilkan tegangan rangkaian terbuka (V_{OC}) yang mana tidak ada arus yang mengalir pada rangkaian. Dan saat sel pada kondisi *short circuit* akan menghasilkan arus rangkaian pendek (I_{SC}) sehingga arus mengalir.



Sumber : Andari (2017)

Gambar 2.5. Kurva arus dan tegangan

2.9.3. Perhitungan Daya

Daya merupakan jumlah energi yang mengalir per satuan waktu dengan satuan watt. Nilai arus dan tegangan yang dihasilkan akan mempengaruhi jumlah energi yang mengalir dalam *DSSC*, apabilai nilai arus dan tegangan besar maka nilai daya yang dihasilkan akan semakin besar. Pengukuran daya dapat dilakukan

dengan menggunakan persamaan yang terdiri dari daya input dan daya output (Mabruroh, 2019). Daya input dapat dihitung berdasarkan nilai hasil kali intensitas cahaya dengan luas permukaan aktif. Sedangkan daya output dapat dihitung berdasarkan nilai hasil kali berdasarkan tegangan rangkaian terbuka (V_{OC}), arus rangkaian pendek (I_{SC}) dan faktor pengisian.

2.9.4. Perhitungan *Fill Factor*

Fill factor umumnya disebut faktor pengisian merupakan suatu nilai yang diperoleh dengan hasil bagi antara arus maksimum (I_{maks}), tegangan maksimum (V_{maks}), arus rangkaian pendek (I_{SC}) dan tegangan rangkaian terbuka (V_{OC}). Semakin besar nilai faktor pengisian maka kinerja sel surya dalam efisiensi mengubah energi yang terjadi semakin baik (Yuliarosa, 2019).

2.9.5. Perhitungan Efisiensi terhadap Sifat Kelistrikan *DSSC*

Efisiensi *DSSC* menggambarkan banyaknya energi foton yang dapat diserap dan diubah kebentuk elektron. Efisiensi adalah nilai yang menentukan kualitas sifat kelistrikan dari *DSSC* secara keseluruhan. Menurut Yuliarosa (2019) menyatakan bahwa faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi adalah intensitas cahaya dan ekstrak *dye*. Besarnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke elektroda kerja, Semakin besar jumlah foton dalam proses konversi maka semakin besar arus yang dihasilkan oleh *DSSC*. Ekstrak *dye* berhubungan dengan spektrum cahaya, apabila cahaya banyak menyentuh komponen penyusun *dye*, maka jumlah foton dalam proses mengubah semakin banyak dan arus yang dihasilkan semakin banyak pula.

BAB 3
PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya pada Bulan April sampai Juni 2021.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang akan digunakan pada kegiatan penelitian ini adalah: 1) Alat Tulis, 2) Alat suntik ukuran 3 ml, 3) Aluminium foil, 4) Amperemeter, 5) Batang pengaduk kaca, 6)Blender, 7) Botol kaca transparan dan gelap, 8) Cawan petri, 9) Corong gelas, 10) *Cotton bud*, 11) Erlenmeyer 100 mL, 12) Gelas ukur 10 mL, 13) Gelas piala 50 mL, 100 mL, 14) Gunting Esco, 15) *Hair dryer* Fleco, 16) Kabel jumper, 17) Kertas saring, 18) Klip binder no.105, 19) Korek api, 20) Label 21) Lampu halogen Hapika 50 watt, 22) Luxmeter (HS1010), 23) Mistar montana, 24) Multimeter digital (DT-830H), 25) Mixer kecil, 26) Neraca Ohaus, 27) Oven kirin, 28) Pemotong kaca (PKC593), 29) Penjepit kabel jumper, 30) Pinset, 31) Pipet tetes, 32) Pisau, 33) Potensiometer 500 kΩ, 34) *Project board*, 35) *Refrigerator*, 36) Spatula besi, 37) Spektrofotometer UV-Vis, 38) Statif, 39) Spidol, 40) *Stopwatch* analog, 41) *Tissue*, 42) Voltmeter, 43) Wattmeter.

Adapun bahan yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini antara lain: 1) Akuades, 2) Asam asetat 0,25 N, 3) Buah Senduduk, 4) Bubuk TiO_2 (Titanium dioksida), 5) Dextrin, 6) Kaca *TCO* (*Transparent Conductive Oxide*), 7) Katalis karbon (jelaga lilin), 8) Larutan iodin 0,1 N, 9) Putih telur.

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan merupakan metode deksriptif dengan beberapa rangkaian penelitian, yakni : 1) Persiapan struktur *DSSC*, 2) Penyusunan

dan perangkaian lapisan *DSSC*, dan 3) Pengukuran *DSSC*.

Adapun *Dye Sensitized Solar Cell* dibuat dengan menggunakan substrat kaca *capasitive touch screen*. Ukuran substrat yang dibuat memiliki ukuran yaitu 2,5 cm x 2,5 cm x 0,1113 cm. Ketebalan satu lapis selotip adalah 0,01235 cm, dalam penelitian ini menggunakan ketebalan tiga lapis selotip yakni 0,03705 cm (3 lapis selotip x 0,01235 cm).

3.4. Cara Kerja

Adapun cara kerja yang dilaksanakan pada kegiatan penelitian ini yakni : 1) persiapan struktur *DSSC*, 2) Penyusunan dan perangkaian lapisan *DSSC* dan 3) pengukuran *DSSC* dan pengolahan data.

3.4.1. Persiapan Struktur *DSSC*

Kegiatan persiapan untuk membuat struktur *DSSC* adalah dimulai dengan pemotongan kaca substrat, pembuatan bubuk sensitizer (ekstrak buah senduduk yang dibuat menjadi bubuk melalui metode *foam-mat drying*), pembuatan pasta dari bubuk titanium dioksida (TiO_2) yang dicampur dengan asam asetat, pembuatan elektroda kerja (pendeposisian pasta TiO_2 dan pelapisan *dye*) dan elektoda lawan yang dilapisi katalis karbon berupa jelaga lilin.

3.4.1.1. Pemotongan Kaca Substrat

Tahapan yang dilakukan dalam pemotongan kaca substrat adalah:

1. Kaca substrat *capasitive touch screen* dipisahkan dari lapisan anti gores dan lapisan plastik pelindung.
2. Kaca selanjutnya diberi tanda dengan pensil ntuk menentukan luasan pemotongan yang diinginkan yaitu 2,5 cm x 2,5 cm.
3. Kemudian kaca subsrat dipotong dengan menggunakan alat pemotong kaca yakni *cutter glass* dan posisi harus tegak lurus yang dibantu mistar.

4. Kaca substrat yang sudah dipotong, selanjutnya dibersihkan dari bekas pensil dengan menggunakan *tissue* secara perlahan.

3.4.1.2. Pembuatan *Dye* Bubuk sebagai Sensitizer

Proses pembuatan ekstrak *dye* bubuk dengan bahan utama buah senduduk adalah:

1. Buah senduduk segar dibersihkan dengan air, kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 1:2 yakni 50 gram
2. Buah senduduk yang telah dihaluskan menggunakan blender dengan ditambahkan akuades sebagai pelarut sebanyak 100 mL, selanjutnya diekstraksi dengan metode *UAE* pada suhu 35℃ selama waktu 45 menit.
3. Kemudian larutan yang sudah homogen disaring menggunakan kertas saring dan diambil sarinya.
4. Ekstrak buah senduduk kemudian di tambah dengan 2% putih telur
5. Dextrin ditambahkan 10% sebagai bahan pengisi (*filler*)
6. Kemudian kocok dengan menggunakan *mixer* dengan waktu pengocokan selama 8 menit sampai menjadi *foam* atau berbuih
7. Rapikan aluminium foil diloyang oven
8. Tuangkan *foam* dari sari buah senduduk ke dalam loyang yang telah dilapisi aluminium foil
9. Kemudian keringkan dengan oven pada suhu 60℃ dan waktu 10 jam
10. Bahan yang telah kering kemudian disimpan dalam lemari pendingin selama 24 jam
11. Kemudian *dye* yang telah kering kemudian dikikis, dihaluskan dan diayak
12. Timbang *dye* bubuk menggunakan neraca analitik, *dye* bubuk dapat langsung diaplikasikan pada *DSSC* dengan perlakuan variasi konsentrasi bahan terhadap pelarut.

Adapun *DSSC* yang akan diuji dengan 5 sampel yang memiliki perlakuan konsentrasi ekstrak *dye* bubuk buah senduduk terhadap pelarut sebanyak 5 mL yakni:

1. *Dye* basah (tanpa proses pembubukan) yang diekstrak dengan metode *UAE* sebagai kontrol 1_{KBS}
2. Konsentrasi *dye* bubuk buah senduduk *DSSC* $2\%_{BS}$
3. Konsentrasi *dye* bubuk buah senduduk *DSSC* $4\%_{BS}$
4. Konsentrasi *dye* bubuk buah senduduk *DSSC* $6\%_{BS}$
5. Konsentrasi *dye* bubuk buah senduduk *DSSC* $8\%_{BS}$
6. Konsentrasi *dye* bubuk buah senduduk *DSSC* $10\%_{BS}$

3.4.1.3. Pembuatan Pasta TiO_2

1. Bubuk titanium dioksida (TiO_2) ditimbang 1 gram kemudian dituang ke dalam gelas beaker dengan ukuran 50 mL
2. Kemudian tambahkan asam asetat sebanyak 1,8 mL dan diaduk menggunakan spatula besi sampai homogen.

3.4.1.4. Pembuatan Elektroda Kerja dan Elektroda Pembanding

1. Kedua kaca substrat konduktif yaitu elektroda kerja dan elektroda lawan dibersihkan menggunakan tissue secara perlahan.
2. Multimeter alat yang digunakan untuk menentukan nilai resistivitas dengan mengarahkan pada sisi konduktif kaca subsrat.
3. Luasan kerja yang diinginkan bagian atas sisi konduktif direkatkan menggunakan selotip dengan ukuran 0,3 cm dan ukuran 0,15 cm di bagian kiri dan kanan elektroda kerja.
4. Pasta titanium dioksida (TiO_2) yang sudah homogen sebelumnya dideposisikan pada elektroda kerja dan ratakan menggunakan batang pengaduk kaca dengan sekali tekan, kemudian keringkan selama 5 menit menggunakan *hair dryer*.
5. Substrat kaca yang telah dilapisi pasta titanium dioksida, selanjutnya dimasukan dalam oven dengan suhu 105°C selama 5 menit.
6. Substrat kaca yang telah kering didinginkan pada suhu ruang selama 5-10 menit.

7. Pasta titanium dioksida (TiO_2) yang sudah homogen sebelumnya dideposisikan pada elektroda kerja dan ratakan menggunakan batang pengaduk kaca dengan sekali tekan, kemudian keringkan selama 5 menit menggunakan *hair dryer*.
8. Substrat kaca yang telah dilapisi pasta titanium dioksida, selanjutnya dimasukan dalam oven dengan suhu 105℃ selama 5 menit.
9. Substrat kaca yang telah kering didinginkan pada suhu ruang selama 5-10 menit.

3.4.2. Penyusunan dan Perangkaian *DSSC*

1. Elektroda kerja (yang telah dilapisi TiO_2 dan *dye* bubuk masing-masing sesuai perlakuan yang berbeda) dan elektroda lawan (dengan katalis karbon) kemudian kedua elektroda disatukan dengan keadaan berhadapan, dan beri sisi area *offset* sebagai penghubung untuk sirkuit luar.
2. Area sisi kanan dan kiri dijepit dengan menggunakan klip binder ukuran 105 agar merekat dengan baik.
3. Kedua sisi area *offset* elektroda selanjutnya dihubungkan dengan kabel jumper dan jepit dengan menggunakan penjepit kabel jumper.
4. Komponen *DSSC* yang sudah terbentuk lapisan roti (*sandwich*) kemudian ditetesi larutan elektrolit 0,5 mL pada celah *offset*.

3.4.3. Pengujian Rangkaian *DSSC*

1. Lampu halogen dipasang dengan berdiri tegak lurus pada jarak 10 cm terhadap *DSSC*.
2. *DSSC* dihubungkan menggunakan kabel jumper dengan *project board* yang terhubung dengan rangkaian potensiometer, amperemeter, voltmeter.
3. Rangkaian *DSSC* yang telah terhubung kemudian diatur dan selanjutnya pengukuran dimulai, apabila nilai tegangan dan arus sudah kondisi stabil maka data yang akan diperoleh lebih akurat (tepat).

4. Data pengukuran arus dan tegangan akan diketahui pada tampilan layar display alat multimeter, dan untuk mengetahui nilai arus dan tegangan pada *DSSC* potensiometer diputar setiap 15 detik secara kontinyu.
5. Pengukuran data tegangan (V_{OC}) pertama dapat terlihat sebelum pemutaran potensiometer pada posisi arus sama dengan nol, data nilai arus (I_{SC}) terahir dapat terlihat pada putaran terahir potensiometer tegangan sama dengan nol.
6. *Stopwatch* yang digunakan pada waktu pengukuran arus dan tegangan saat pengukuran berlangsung.
7. Selanjutnya data yang diperoleh dicatat dan pengukuran diulangi setiap masing-masing perlakuan konsentrasi ekstrak *dye* bubuk.

3.5. Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang akan diamati dalam penelitian ini yakni: 1) Pengukuran kadar antosianin *dye* bubuk buah senduduk, 2) Pengukuran arus dan tegangan, 3) Perhitungan daya, 4) Pengukuran kadar air bahan *dye* (buah senduduk) 5) Pengukuran faktor pengisian dan 6) Perhitungan efisiensi *DSSC*.

3.5.1. Pengukuran Kadar Antosianin *Dye* Bubuk

Kadar antosianin *dye* bubuk pada tumbuhan senduduk dapat diukur dan dihitung dengan menggunakan metode perbedaan pH. Terlebih dahulu dengan melarutkan sampel pertama dengan buffer KCL pH 1.0 dan sampel kedua dengan buffer Na sitrat PH 4.5 dari kedua sampel tersebut diuji yang akan memperoleh absorbansi panjang gelombang maksimum ($A_{\lambda vis\text{-}maks}$). Panjang gelombang maksimum diperoleh dengan pengujian sampel pada rentang panjang gelombang 500-700 nm dan diketahui panjang gelombang maksimum. Absorbansi dari sampel yang telah dilarutkan (A) ditentukan dengan rumus:

$A= (A_{\lambda Vis\text{-}max} - A_{700})$ pH 1.0 – $(A_{\lambda Vis\text{-}max} - A_{700})$ pH 4.5 .....(1)

$A= (A_{510} - A_{700})$ pH 1.0 – $(A_{510} - A_{700})$ pH 4.5 .....(2)

data absorbansi sampel yang diperoleh selanjutnya menghitung total antosianin pada sampel dihitung dengan rumus:

Total antosianin = $\frac{(Ax\ MWxDFx1000)}{(\in x\ l)}$.....(3)

Keterangan:

A : Absorbansi dari sampel

$\in$: Absortivitas molar sianidin -3- glukosa = 26900 ^{L}/mol.cm

DF : Faktor Pengeceran

l : Lebar kuvet 1 cm

MW : Berat molekul sianidin -3- glukosida = 449,2 ^{g}/mol

1000 : Faktor pengubah dari gram ke miligram

3.5.1.1. Pembuatan Buffer KCL pH 1.0

1. KCL 1,49 gram dilarutkan dengan 100 mL pelarut aquades
2. Kemudian larutan KCL diambil dengan pipet sebanyak 25 mL dan ditambah dengan larutan pekat HCL 48,5 mL dan masukkan ke dalam labu takar sampai tanda batas 100 mL dan diatur pH hingga mencapai pH 1.0

3.5.1.2. Pembuatan Buffer Na Sitrat pH 4.5

1. Asam sitrat (C6H8O7) dilarutkan sebanyak 2,101 gram dalam gelas beaker ukuran 100 mL (diberi label A)
2. Natrium sitrat ($C6H5O7Na_32H_2O$) dilarutkan sebanyak 2,941 gram ke dalam gelas beaker ukuran 100 mL (diberi label B).
3. Selanjutnya ambil larutan pada label A sebanyak 26,75 mL dan label B sebanyak 23,25 mL dengan pipet tetes dan masukkan dalam labu takar sampai tanda batas 100 mL dan kemudian diatur pH hingga mencapai pH 4.5

3.5.1.3. Perhitungan Kadar Air

Perhitungan kadar air berdasarkan metode oven kering dengan rumus perhitungan kadar air basis basah persamaan (4) dan kadar air basis kering persamaan (5) dan hasil akhir berupa kadar total padatan dalam satuan persen persamaan (6).

$$Kadar\ air\ (b/b) = \frac{a-b}{a} x100\% \quad \text{.....(4)}$$

$$Kadar\ air\ (b/k) \frac{a-b}{b} x100\% \quad \text{.....(5)}$$

$$Kadar\ Total\ Padatan = \frac{b}{a} x100\% \quad \text{.....(6)}$$

Keterangan:
a : berat awal sampel (gram)
b : berat konstan konstan sampel (gram)

3.5.2. Pengukuran Arus dan Tegangan

Multimeter merupakan alat yang digunakan untuk pengukuran arus dan tegangan yang telah terhubung pada rangkaian *DSSC*. Sumber cahaya lampu halogen dinyalakan dan mulai pengukuran arus dan tegangan, nilai data hasil pengukuran dicatat secara manual dan akan dibuat kurva I-V. Setelah dilakukan pengukuran aus dan tegangan, dilakukan juga pengukuran arus pendek (I_{sc}) dan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Arus maksimum yang terukur saat tegangan sama dengan nol merupakan arus pendek (*short circuit*), dan pada saat kondisi tidak ada arus yang mengalir menyebabkan arus maksimum merupakan tegangan rangkaian terbuka (*open circuit*).

3.5.3. Perhitungan Daya

Intensitas cahaya bersumber dari lampu halogen yang kuat atau lemah akan mempengaruhi daya penyerapan oleh *DSSC*. Berdasarkan penelitian Ningsih (2020) yang menyatakan bahwa jarak 10 cm cahaya lampu terhadap *DSSC* merupakan jarak terbaik untuk sumber cahaya yang akan memancarkan energi yang selanjutnya energi akan diubah menjadi cahaya tampak. Muchammad

dan Setiawan (2011) menyatakan bahwa pengukuran daya serap oleh *DSSC* dapat dilakukan menggunakan persamaan (7).

$P_{input} = J \times A$.....(7)

Keterangan

P_{input} : Daya diserap oleh DSSC dari sumber cahaya (mW)

J : Intensitas Cahaya (mW/cm^2)

A : Luas permukaan aktif (cm^2)

Besar daya yang diperoleh sel surya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8) sesuai penyataan Pratiwi (2016) yakni:

$P_{input} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF$.....(8)

Keterangan

P_{input} : Daya yang dihasilkan (mW)

V_{OC} : Tegangan rangkaian terbuka (mW)

I_{SC} : Hubungan arus pendek (mA)

FF : *Fill factor*

3.5.4. Perhitungan *Fill Factor* (faktor pengisian)

Nilai yang menunjukkan perbandingan daya keluaran maksimum, hasil kali arus maksimum dengan tegangan maksimum terhadap arus pendek dan tegangan rangkaian terbuka adalah pengertian dari *fill factor*. Menurut Ningsih (2020) perhitungan *fill factor* dapat menggunakan persamaan (9).

$$FF=\frac{I_{max} \times V_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \text{.....(9)}$$

Keterangan

FF : *Fill factor*

I_{max} : Arus maksimum (mA)

V_{max} : Tegangan maksimum (mV)

3.5.5. Perhitungan Efisiensi *DSSC*

Perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh *DSSC* (P_{output}) dengan daya yang diserap luasan area aktif (P_{input}) merupakan pengertian dari efisiensi. Perhitungan efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan (10), sesuai pernyataan Ardianto *et al.* (2015). Perhitungan efisiensi pada *DSSC* menggambarkan banyaknya energi foton yang diserap dan diubah dalam bentuk elektron sehingga menjadi energi listrik.

$$\eta = \left(\frac{P_{output}}{P_{input}}\right) x\ 100\% \quad \text{.....(10)}$$

Keterangan

η : Efisiensi *DSSC* (%)

P_{output} : Daya yang dihasilkan (mW)

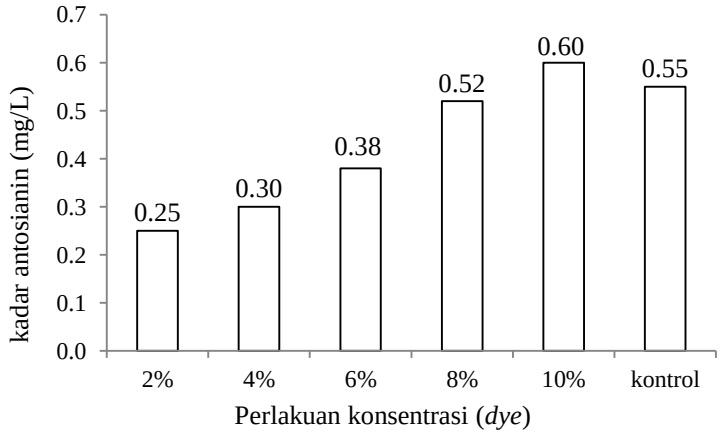
P_{input} : Daya yang diserap (mW)

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengukuran Kadar Antosianin

Antosianin yang terdapat pada buah senduduk dapat diukur berdasarkan data absorbansi *dye*. Pengukuran absorbansi yang diuji dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui daerah serapan panjang gelombang yang tertinggi dari ekstrak *dye* bubuk yang digunakan. Umumnya daerah serapan panjang gelombang yang dianalisa pada rentang panjang gelombang 500 nm-700 nm (Megawati *et al*, 2020). Pada penelitian ini pengambilan data absorbansi dilakukan pada rentang panjang gelombang 510 nm dan 700 nm.

Nilai absorbansi yang diukur dan dihitung dengan metode perbedaan pH. Ekstrak *dye* bubuk buah senduduk ditimbang sebanyak 0,5 gram dan dilarutkan dengan pelarut aquades kemudian dibuat perlakuan konsentrasi 2, 4, 6, 8, 10%. Masing-masing variasi kosentrasi tersebut diambil berdasarkan faktor pengenceran 1:5 yakni 0,5 ml dengan pelarut 5 ml, larutan yang digunakan adalah larutan buffer KCL pH 1 dan larutan buffer Natrium Sitrat pH 4,5. Adapun nilai absorbansi yang diperoleh berdasarkan data sampel dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik total antosianin *dye* bubuk buah senduduk

Berdasarkan data tersebut, maka dilakukan perhitungan total antosianin pada masing-masing sampel. Hasil yang telah dihitung menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kadar pigmen antosianin seiring dengan penambahan konsentrasi. Nilai total antosianin tertinggi berada pada sampel 6_{BS} pada konsentrasi 10% yakni dengan nilai sebesar 0,60 mg/L, sedangkan total pigmen antosianin terendah berada pada sampel 2_{BS} dengan konsentrasi 2% sebesar 0,25 mg/L. Adapun pada sampel *dye* kontrol antosianin diperoleh nilai sebesar 0,55 mg/L yang memiliki selisih yang kecil dengan sampel 10% (ditunjukkan pada grafik Gambar 4.1.). Adapun keseluruhan data perhitungan total antosianin dapat dilihat pada Lampiran 2.

Pada penelitian proses ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan 100 gram buah senduduk yang ditambah dengan pelarut akuades 200 mL memperoleh hasil ekstraksi sebanyak 120 mL, maka hasil rendemen *dye* kontrol sebesar 40%. Sedangkan dari 100 g buah senduduk yang ditambah 200 mL pelarut akuades memperoleh 1,9 g *dye* bubuk, maka rendemen *dye* bubuk yakni sebesar 1,9%.

Antosianin merupakan pigmen dengan golongan kimia organik yang mudah larut dalam pelarut polar seperti: air, etanol, HCL, etil asetat. Pigmen antosianin ini bersifat stabil pada kondisi asam (Priska *et al*., 2018). Besarnya rendemen yang diperoleh pada proses ekstraksi dipengaruhi oleh jenis pelarut, apabila pelarut yang digunakan mempunyai sifat kelarutan yang sama dengan bahan maka senyawa yang ditarik pada bahan juga besar. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Sholehatiningsih (2019) menyatakan bahwa *DSSC* dengan variasi pelarut pada proses ektraksi buah Lampeni mempengaruhi efisiensi yang diperoleh. Adapun efisiensi tertinggi yang diperoleh yakni pada ekstrak Lampeni dengan menggunakan pelarut etanol + HCL yakni sebesar 0.14% lebih besar dibandingkan dengan pelarut akuades, etanol, HCL dengan nilai efisiensi masing-masing sebesar 0.00095%, 0.0052% dan 0,0171%.

Faktor utama yang mempengaruhi kadar pigmen terus meningkat pada setiap kenaikan konsentrasi adalah tingkat kepekatan larutan. Menurut Yahmin (2019) menyatakan bahwa konsentrasi larutan menunjukkan banyaknya zat terlarut dalam suatu larutan. Adapun secara kualitatif apabila terdapat banyak zat yang terlarut maka disebut sebagai larutan pekat, sedangkan larutan dengan

jumlah zat terlarut sedikit maka disebut sebagai larutan encer. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa jumlah zat terlarut pada perlakuan konsentrasi 10% (lebih pekat) lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan konsentrasi lainnya.

Kadar pigmen antosianin berpengaruh terhadap kinerja *DSSC* yang dihasilkan. Adapun secara teoritis, semakin tinggi kadar pigmen (*dye*) antosianin maka kinerja yang dihasilkan semakin baik. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Lahsmin (2016) menunjukkan bahwa *dye* ekstrak daun pacar kuku menghasilkan kinerja terbaik pada konsentrasi tertinggi yaitu 30%, dengan efisiensi sebesar 0,0033%. Adapun hasil penelitian Ahmadian (2015) membuktikan bahwa terdapat relasi antara peningkatan kadar pigmen antosianin terhadap kenaikan efisiensi *DSSC*. Penggunaan *dye* dari ekstrak buah *bluberry* dengan kadar pigmen antosianin sebesar 250 mg/100 g telah menghasilkan efisiensi *DSSC* sebesar 0,17%. Berdasarkan uraian tersebut disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara peningkatan kadar pigmen antosianin terhadap kinerja *DSSC*.

Adapun faktor lain yang berpengaruh terhadap kadar pigmen antosianin *dye* bubuk secara keseluruhan antara lain, seperti: tingkat kematangan buah senduduk, metode pengeringan *dye* menjadi bubuk dan bahan pengisi yang digunakan serta kadar air pada buah senduduk.

Tingkat kematangan buah merupakan faktor yang mempengaruhi kadar pigmen antosianin, karena ada tiga jenis tingkat kematangan buah yakni *mature* (mentah), *ripe* (matang), dan *over ripe* (lewat matang). Buah yang baik digunakan adalah buah dengan tingkat kematangan *ripe*, karena buah pada tingkat kematangan *ripe* merupakan buah dengan tingkat kematangan yang ideal untuk diolah. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Rangkuti dan Syahputra (2019) ditunjukkan bahwa nilai stabilitas warna sawit buah mentah dengan nilai 11, buah matang dengan nilai 17, dan buah lewat matang 13. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tingkat kematang buah yang baik pada buah yang matang karena nilai stabilitas warna buahnya lebih tinggi dari buah mentah maupun buah yang sudah lewat matang.

Pemilihan metode pengeringan *foam-mat drying* berdasarkan penggunaan suhu yang lebih rendah dan waktu yang lebih singkat yakni pada suhu 60℃ dan waktu selama 10 jam yang dibutuhkan dibandingkan dengan metode pengeringan yang lain. Prinsip kerja *foam-mat drying* yakni dengan memanfaatkan lapisan buih yang akan memperbesar luas permukaan sehingga mempercepat proses penguapan air dengan suhu yang lebih rendah dan tidak merusak kualitas pigmen antosianin. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Kusumah (2017) yang menyatakan bahwa tujuan dari penggunaan metode *foam-mat drying* dapat mempercepat proses pengeringan dengan penambahan bahan pembuih, maka akan meningkatkan luas permukaan dan memberi struktur berpori pada bahan.

Kadar air bahan juga merupakan faktor yang mempengaruhi kadar pigmen antosianin. Sejumlah kandungan air yang terdapat pada bahan dengan cara menguapkan sebagian air yang terdapat pada bahan melalui energi panas adalah pengertian secara umum kadar air, dalam hal ini bahan yang digunakan yakni buah senduduk. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kadar air pada buah senduduk yang betujuan untuk mengetahui jumlah kadar air pada buah senduduk sehingga diperoleh *dye* bubuk dengan kadar air yang paling minimal. Hal tersebut bertujuan untuk menjaga kualitas *dye* baik saat disimpan maupun saat akan digunakan sebagai sensitizer pada *DSSC*. Kadar air dapat ditentukan dengan dua basis yakni basis basah dan basis kering. Basis basah merupakan persentase dari masa air bahan yang dibagi dengan masa basah bahan (masa bahan yakni masa keseluruhan), sedangkan basis kering merupakan persentase dari masa air bahan dibagi masa bahan kering. Hal ini sesuai hasil penelitian nilai kadar air basis basah yang diperoleh 77,04% dan kadar air basis kering sebesar 335% perhitungan kadar air dapat dilihat pada Lampiran 13.

Rendemen yang diperoleh menunjukkan besarnya ekstrak yang dihasilkan pada proses ekstraksi apabila hasil ekstrak yang diperoleh besar maka pigmen warna antosianin yang dikeluarkan juga besar. Pada penelitian ini nilai rendemen yang dihasilkan *dye* bubuk lebih rendah dibandingkan dengan nilai rendemen *dye* kontrol. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yakni total antosianin *dye* bubuk 8% lebih rendah dari *dye* kontrol. Pada penelitian pengukuran kadar air *dye*

bubuk tidak dilakukan pengujian, namun kadar air *dye* bubuk diindikasikan lebih rendah dibandingkan dengan *dye* kontrol. Dalam hal ini mengidikasikan kadar air pada dye bubuk lebih rendah dibandingkan dengan *dye* kontrol karena pada *dye* bubuk dilakukan proses pengeringan. *Dye* bubuk yang dihasilkan dari proses pengeringan *foam-mat drying* mengindikasikan bahwa *dye* bubuk memiliki kandungan air lebih rendah dibandingkan dengan *dye* kontrol (tanpa proses pengeringan).

Bahan pengisi yang digunakan juga merupakan faktor yang mempengaruhi kadar pigmen antosianin. Bahan pengisi secara umum berpengaruh dalam peningkatan jumlah total padatan. Namun, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Khairiyah (2019) yang menyatakan bahwa konsentrasi bahan pengisi yang semakin meningkat mengakibatkan konsentrasi antosianin rendah, pH semakin tinggi dan total asam yang rendah. Hal ini disebabkan karena pada penambahan konsentrasi bahan pengisi yang digunakan maka total padatan semakin bertambah dapat disimpulkan bahwa semakin banyak konsentrasi bahan pengisi yang digunakan, maka akan mengakibatkan kadar antosianin rendah oleh karena itu bahan pengisi yang digunakan hanya sebesar 10% dari total bahan baku *dye*. Bahan pengisi dengan jumlah konsentrasi yang tepat akan meningkatkan total padatan tanpa berpengaruh terhadap kualitas bahan, selain itu bahan pengisi juga berfungsi melapisi zat aktif di dalam bahan untuk melindungi dari kerusakan bahan akibat pengeringan.

Antosianin merupakan zat warna alami yang berperan sebagai fotosensitizer pada struktur *DSSC*. Antosianin pada buah senduduk berperan sebagai *dye* yang dapat menyerap energi matahari sehingga dapat menghasilkan elektron, elektron akan melompat keluar dan *dye* menjadi berlubang. Elektron tersebut yang akan diinjeksikan pada lapisan pasta TiO_2 selanjutnya akan berdifusi menuju elektroda pembanding melalui sirkuit luar dan melewati beban. Elektroda pembanding terdapat katalis karbon yang berfungsi untuk mempercepat penghantaran elektron menuju larutan elektrolit, larutan elektrolit yang memiliki pasangan redoks iodin dan triodida akan bereaksi dengan elektron yang membentuk ion negatif. Ion negatif tersebut akan mengisi ruang pada *dye* yang berlubang sebelumnya, siklu

ini dinamakan siklus redoks dan akan berlangsung terus menerus yang akan menghasilkan arus listrik.

4.2. Perhitungan terhadap Tegangan dan Arus

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan sesuai dengan jumlah sampel atau jumlah *DSSC* yang dibuat. Hasil *dye* bubuk yang yang akan dibuat yakni 5 sampel dengan perlakuan variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8, 10%. Perhitungan konsentrasi dapat dilihat pada Lampiran 12.

Pada kegiatan pengukuran tegangan dan arus dengan menggunakan alat multimeter digital dan amperemeter yang telah terhubung pada media *project board*. Lapisan *DSSC* yang telah siap diuji dihubungkan dengan rangkaian media *project board* dengan menggunakan *jumper cable* pada area sisi *offset*. Pengukuran dilakukan dengan sumber cahaya lampu halogen yang telah dinyalakan.

Jarak yang terbaik akan memperoleh nilai intensitas cahaya yang besar sehingga dapat diserap secara optimal oleh variabel beban. Variabel beban yang digunakan pada penelitian ini adalah potensiometer 500 kΩ. Selanjutnya untuk mengetahui besar atau kecilnya nilai hambatan yakni dengan cara merubah arah putaran potensiometer dari titik terendah ke tertinggi, hal ini bertujuan agar memperoleh nilai tegangan dan arus. Data pasangan tegangan dan arus diperoleh berdasarkan pemutaran variabel beban potensiometer dengan nilai tegangan dan arus yang berbanding terbalik.

Tabel 4.1. Nilai kelistrikan *DSSC* perlakuan variasi konsentrasi berbeda

DSSC	Karakteristik kelistrikan						
	Voc (mV)	*Isc* (mA)	*Vmax* (mV)	*Imax* (mA)	Poutput (mW)	FF	Efiensi (%)
1 KBS	420	0.0104	177	0.0067	1.19	0.27	0.76
2%BS	627	0.0106	285	0.0071	2.02	0.30	1.31
4%BS	808	0.0074	584	0.005	2.92	0.48	1.92
6%BS	739	0.0052	553	0.0031	1.71	0.44	1.08
8%BS	727	0.0071	445	0.0035	1.56	0.30	1.02
10%BS	567	0.0042	350	0.0023	0.81	0.33	0.51

Adapun nilai kelistrikan yang diperoleh dan diketahui dari data pengukuran tegangan dan arus adalah a) nilai tegangan rangkaian terbuka b) arus hubungan pendek c) nilai tegangan maksimal d) nilai arus maksimal e) nilai *fill factor* f) nilai efisiensi g) nilai daya *output*. Data tersebut secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

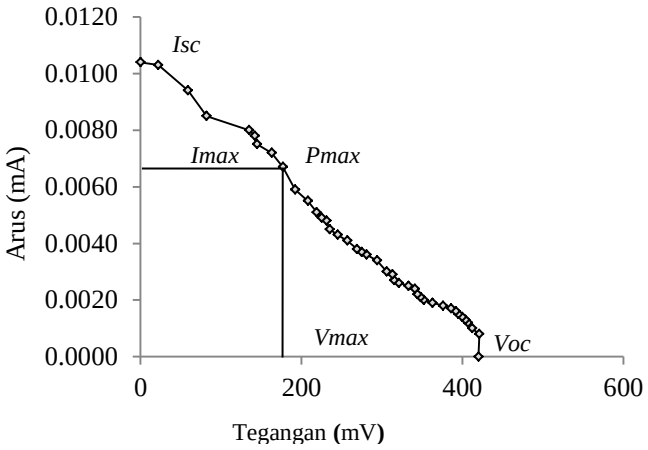
Data arus dan tegangan diperoleh dengan mengukur *DSSC* menggunakan serangkaian alat multimeter, voltmeter dan potensiometer yang dihubungkan dengan *project board* dengan *cable jumper* untuk mengetahui seberapa besar nilai arus dan tegangan dihasilkan. Pengujian sel dilakukan dibawah sinar lampu halogen dengan rerata intensitas cahaya yang digunakan sebesar 320,47 W/m^2. Pengukuran dilakukan dengan memutar secara perlahan potensiometer dari hambatan nol sampai hambatan maksimum. Penambahan larutan elektrolit sebelum pengukuran dilakukan dengan tujuan untuk mengganti elektron pada *dye* yang elektronnya telah mengalami eksitasi dan *dye* yang berlubang. Larutan elektrolit yang diinjeksikan pada lapisan *DSSC* akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

Berdasarkan data tabel 4.1. menunjukkan bahwa *dye* bubuk buah senduduk yang dibuat variasi konsentrasi berbeda bepengaruh terhadap nilai kelistrikan pada *DSSC* yang telah diuji. Sifat kelistrikan *DSSC* terus bertambah seiring dengan penambahan konsentrasi dari 2-4% pada penambahan konsentrasi dari 6% sampai 10% sifat kelistrikan *DSSC* terus menurun secara berurutan. Hal tersebut mengindikasikan sifat kelistrikan *DSSC* hanya akan meningkat pada batas tertentu yakni *dye* dengan konsentrasi 4%. Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan bahwa terdapat pengaruh kadar *dye* bubuk pada sifat kelistrikan *DSSC* yang dihasilkan. Hal tersebut juga didukung oleh hasil penelitian yang telah dilakukan Salafudin *et al*. 2017 yang menyatakan bahwa hubungan antara volume larutan *dye* dengan pelarut terhadap efisiensi *DSSC* cenderung tidak bersifat linear, volume larutan *dye* yang tinggi terjadi penurunan efisiensi yang disebabkan karena molekul *dye* yang mengalami pengumpulan antara sesama molekul. Banyaknya molekul *dye* dalam larutan berpengaruh pada saat proses injeksi pada lapisan aktif TiO_2 sehingga molekul *dye* terserap pada pori TiO_2 dan molekul-molekul *dye* yang berikatan dengan partikel TiO_2 berpengaruh terhadap jumlah

elektron yang diinjeksikan ke elektroda kerja, elektron yang bereaksi menjadi terhambat atau tidak efisien.

4.2.1. *DSSC* 1_{KBS} (*DSSC* 1 kontrol buah senduduk)

DSSC 1_{KBS} yakni perlakuan sampel 1 kontrol buah senduduk yang menggunakan *dye* segar hasil ekstraksi dengan metode *UAE* selama 45 menit dan suhu 35℃ yang memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 4.2.

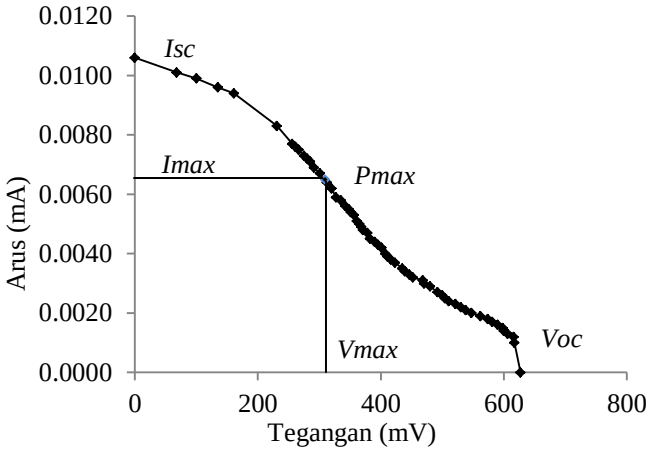


Gambar 4.2. Kurva (V-I) *DSSC* 1 sebagai kontrol

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka yakni sebesar 420 mV, dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol diperoleh hasil 0,0104 mA, nilai tegangan maksimal yakni 177 mV, nilai arus maksimal 0,0067 mA, dan nilai daya maksimal yakni 1,1859 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 10,25 menit. Pada tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus dapat dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, dimana tingkat kestabilan kecil akan menghasilkan luas area *fill factor* (faktor pengisian) yang rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang masih rendah dengan nilai *fill factor* yang diperoleh yakni 0,2715.

4.2.2. *DSSC* 2%$_{BS}$ (*DSSC* 2% buah senduduk)

DSSC 2%$_{BS}$ yakni perlakuan sampel buah senduduk dengan konsentrasi 2% yang menggunakan *dye* bubuk dengan hasil ekstraksi dengan metode *UAE* selama 45 menit dan suhu 35° dan dengan menggunakan metode pengeringan *foam-mat drying* pada waktu pengeringan selama 10 jam dan suhu 60° yang memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 4.3.

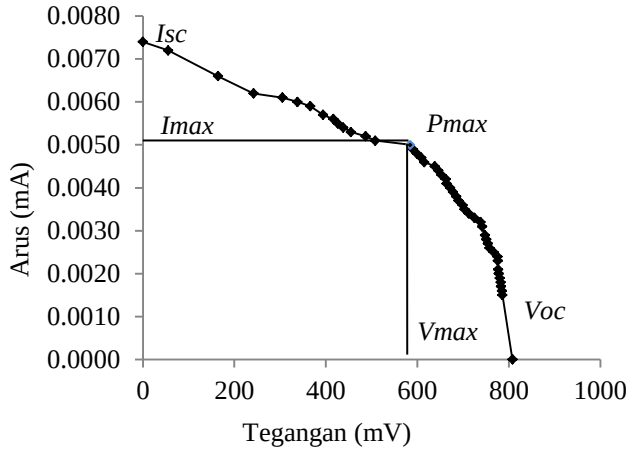


Gambar 4.3. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 2%

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka yakni sebesar 627 mV, dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol diperoleh hasil 0,0106 mA, nilai tegangan maksimal yakni 309 mV, nilai arus maksimal 0,0065 mA, dan nilai daya maksimal yakni 2,0085 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 15,25 menit. Pada tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus dapat dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, dimana tingkat kestabilan kecil akan menghasilkan luas area *fill factor* (faktor pengisian) yang rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai *fill factor* yang diperoleh yakni 0,3045.

4.2.3. *DSSC* 4%$_{BS}$ (*DSSC* 4% buah senduduk)

DSSC 4%$_{BS}$ yakni perlakuan sampel buah senduduk dengan konsentrasi 4% yang menggunakan *dye* bubuk dengan hasil ekstraksi dengan metode *UAE* selama 45 menit dan suhu 35°, dan dengan menggunakan metode pengeringan *foam-mat drying* pada waktu pengeringan selama 10 jam dan suhu 60° yang memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 4.4.

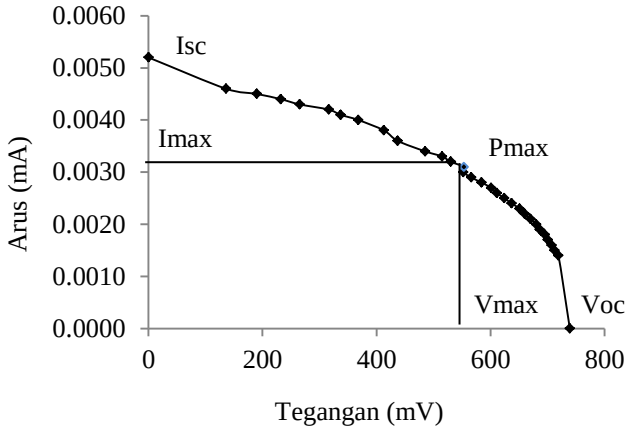


Gambar 4.4. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 4%

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka yakni sebesar 808 mV, dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol diperoleh hasil 0,0074 mA, nilai tegangan maksimal yakni 584 mV, nilai arus maksimal 0,0050 mA, dan nilai daya maksimal yakni 2,9200 mW. Kestabilan pengukuran Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 12,25 menit. Pada tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus dapat dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, dimana tingkat kestabilan kecil akan menghasilkan luas area fill factor (faktor pengisian) yang rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang terbaik dari seluruh hasil pengukuran *fill factor* dengan nilai *fill factor* yang diperoleh yakni 0,4884.

4.2.4. *DSSC* 6%$_{BS}$ (*DSSC* 6% buah senduduk)

DSSC 6%$_{BS}$ yakni perlakuan sampel buah senduduk dengan konsentrasi 6% yang menggunakan *dye* bubuk dengan hasil ekstraksi dengan metode *UAE* selama 45 menit dan suhu 35°, dan dengan menggunkan metode pengeringan *foam-mat drying* pada waktu pengeringan selama 10 jam dan suhu 60° yang memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 4.5.



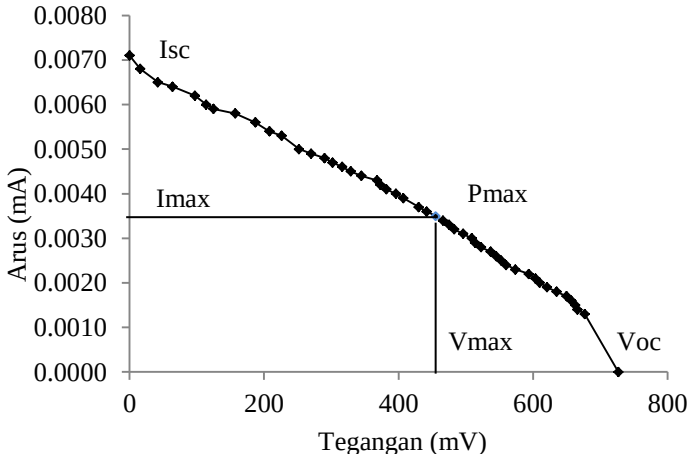
Gambar 4.5. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 6%

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka yakni sebesar 739 mV, dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol diperoleh hasil 0,0052 mA, nilai tegangan maksimal yakni 553 mV, nilai arus maksimal 0,0031 mA, dan nilai daya maksimal yakni 1,7143 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 8 menit. Pada tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus dapat dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, dimana tingkat kestabilan kecil akan menghasilkan luas area *fill factor* (faktor pengisian) yang rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai *fill factor* yang diperoleh yakni 0,4461.

4.2.5. *DSSC* 8%$_{BS}$ (*DSSC* 8% buah senduduk)

DSSC 8%$_{BS}$ yakni perlakuan sampel buah senduduk dengan konsentrasi 8% yang menggunakan *dye* bubuk dengan hasil ekstraksi dengan metode *UAE* selama

45 menit dan suhu 35°, dan dengan menggunakan metode pengeringan *foam-mat drying* pada waktu pengeringan selama 10 jam dan suhu 60° yang memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 4.6.



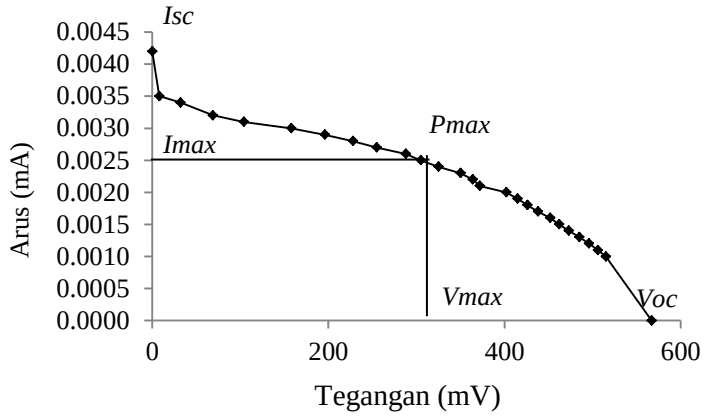
Gambar 4.6. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 8%

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka yakni sebesar 727 mV, dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol diperoleh hasil 0,0071 mA, nilai tegangan maksimal yakni 455 mV, nilai arus maksimal 0,0035 mA, dan nilai daya maksimal yakni 1,5925 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 12,25 menit. Pada tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus dapat dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, dimana tingkat kestabilan kecil akan menghasilkan luas area *fill factor* (faktor pengisian) yang rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai *fill factor* yang diperoleh yakni 0,3017.

4.2.6. *DSSC* 10%$_{BS}$ (*DSSC* 10% buah senduduk)

DSSC 10%$_{BS}$ yakni perlakuan sampel buah senduduk dengan konsentrasi 10% yang menggunakan *dye* bubuk dengan hasil ekstraksi dengan metode UAE selama 45 menit dan suhu 35°, dan dengan menggunakan metode pengering

foam-mat drying pada waktu pengeringan selama 10 jam dan suhu 60° yang memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 4.7.

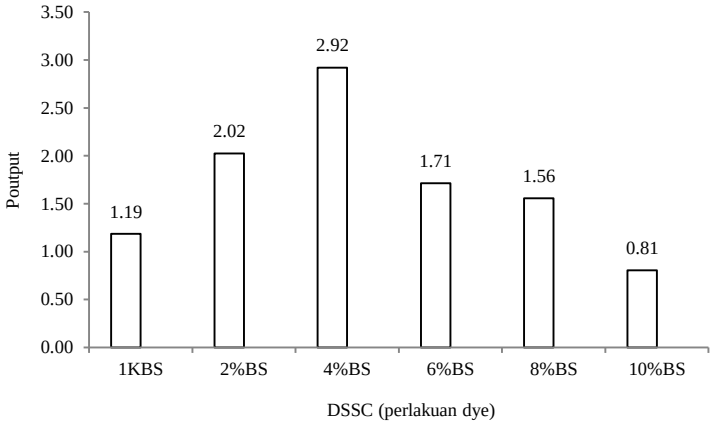


Gambar 4.7. Kurva (V-I) *DSSC* konsentrasi 10%

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka yakni sebesar 567 mV, dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol diperoleh hasil 0,0042 mA, nilai tegangan maksimal yakni 350 mV, nilai arus maksimal 0,0023 mA, dan nilai daya maksimal yakni 0,8050 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 6,25 menit. Pada tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus dapat dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, dimana tingkat kestabilan kecil akan menghasilkan luas area *fill factor* (faktor pengisian) yang rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai *fill factor* yang diperoleh yakni 0,3380.

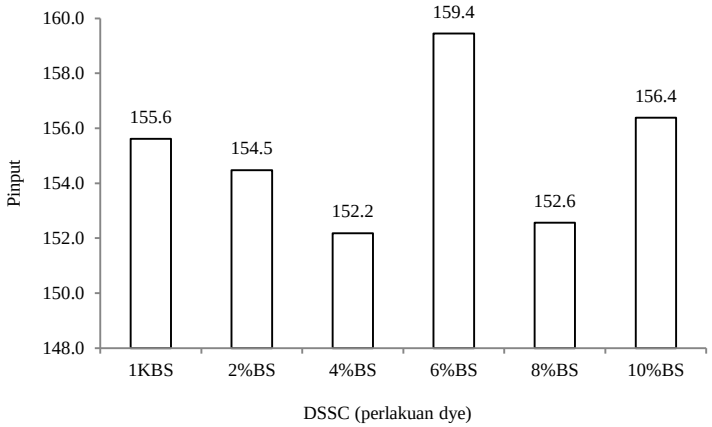
4.3. Perhitungan Daya

Data nilai tegangan dan arus yang telah diperoleh berdasarkan pengukuran, kemudian digunakan untuk perhitungan dan memperoleh nilai daya. Adapun masing-masing nilai daya dari *DSSC* 1_{KBS}-$10\%_{BS}$ terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Daya keluaran *DSSC* 1_{KBS}-$10\%_{BS}$ (P_{output})

Nilai daya *output* diperoleh berdasakan hasil kali nilai tegangan rangkaian terbuka, hubungan arus pendek, dan nilai *fill factor*. Nilai daya *output* berbanding lurus dengan nilai efisiensi yang mana jika nilai daya *output* pada lapisan *DSSC* tinggi maka nilai efisiensi yang diperoleh juga besar. Data nilai daya *output* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.9. Daya masukan *DSSC* 1_{KBS}-$10\%_{BS}$ (P_{input})

Daya *input* bertujuan untuk dapat menjalankan siklus redoks pada *DSSC* yang akan diuji. Nilai daya *input* diperoleh berdasarkan hasil kali intensitas cahaya dengan luas permukaan aktif, nilai intensitas cahaya diperoleh dari cahaya lampu halogen dengan rata-rata nilai intensitas cahaya pada pengukuran *DSSC*

1_{KBS}-$10\%_{BS}$ adalah sebesar 40566 lux atau 320,476 W/m^2 dan dapat dilihat pada Gambar 4.9.

4.4. Perhitungan *Fill Factor* (FF)

Nilai *fill factor* dapat dipengaruhi oleh nilai arus maksimal, tegangan maksimal, arus hubungan pendek dan tegangan rangkaian terbuka. Adapun nilai *fill factor* yang diperoleh pada penelitian ini secara berurutan adalah *DSSC* 1_{KBS} dengan nilai 0,2714, *DSSC* $2\%_{BS}$ 0,3044, *DSSC* $4\%_{BS}$ 0,4883, *DSSC* $6\%_{BS}$ 0,4461, *DSSC* $8\%_{BS}$ 0,3017, *DSSC* $10\%_{BS}$ 0,3380.

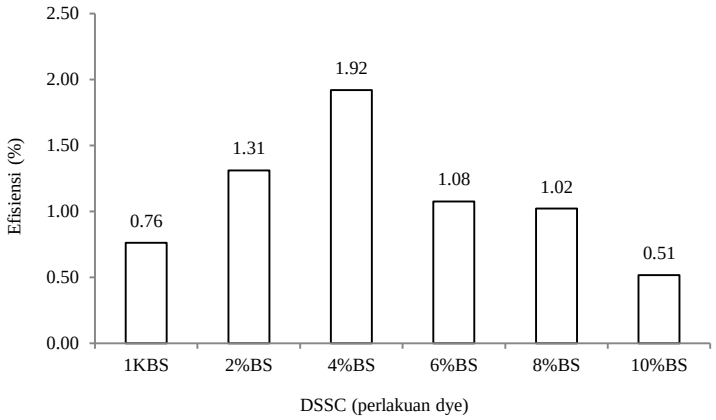
Berdasarkan data nilai yang diperoleh nilai *fill factor* terbesar terdapat pada *DSSC* $4\%_{BS}$ dengan nilai sebesar 0,4883 dan nilai terkecil terdapat pada *DSSC* $10\%_{BS}$ dengan nilai sebesar 0,3380 nilai *fill factor* dapat mempengaruhi nilai daya yang diperoleh, semakin besar nilai *fill factor* yang diperoleh maka nilai daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Tingkat kestabilan pengukuran *DSSC* juga mempengaruhi tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus dimana kestabilan pengukuran *DSSC* berbanding lurus dengan luasan area *fill factor*.

4.5. Perhitungan Efisiensi *DSSC*

Pada penelitian ini diperoleh data efisiensi *DSSC* dari hasil pengukuran dan perhitungan tegangan dan arus menunjukkan bahwa setiap penambahan konsentrasi nilai efisiensi yang dihasilkan mengalami kenaikan pada batas konsentrasi tertentu yaitu dari 2-4% dan menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi dari 4% yang disebabkan karena beberapa faktor yakni pengendapan warna pada TiO_2, variasi konsentrasi berbeda. Nilai besar atau kecilnya arus dan tegangan yang diperoleh dapat mempengaruhi sifat kelistrikan *DSSC*, salah satu faktor yang mempengaruhi sifat kelistrikan *DSSC* adalah efisiensi. Efisiensi yang diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai daya output dibagi daya input dikali 100%.

Hal ini ditunjukkan pada nilai efisiensi yakni sebesar 0,76% pada sampel *DSSC* 1_{KBS} (kontrol buah senduduk) sebagai sampel pembanding. Selanjutnya

meningkat pada sampel *DSSC* 2%$_{BS}$ dengan konsentrasi 2% nilai yang diperoleh sebesar 1,31%. Pada sampel *DSSC* 4%$_{BS}$ dengan konsentrasi 4% diperoleh nilai efisiensi yang terus meningkat yakni sebesar 1,92%. Secara keseluruhan nilai efisiensi yang diperoleh masing-masing variasi *DSSC* 1$_{KBS}$-10%$_{BS}$ dapat dilihat pada Gambar 4.10. Namun pada pengukuran *DSSC* 6%$_{BS}$, 8%$_{BS}$, dan 10%$_{BS}$ yakni dengan konsentrasi 6, 8, dan 10% mengalami penurunan. Adapun *DSSC* 6%$_{BS}$ diperoleh nilai sebesar 1,08%, *DSSC* 8%$_{BS}$ dengan nilai sebesar 1,02%, dan *DSSC* 10%$_{BS}$ diperoleh nilai sebesar 0,51%. Pengukuran efisiensi *DSSC* yang mengalami penurunan tersebut menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada komposisi lapisan *DSSC* karena *dye* sensitizer yang digunakan adalah *dye* bubuk dengan variasi konsentrasi berbeda. Pada penelitian ini diperoleh batas nilai tertinggi efisiensi *DSSC* yakni pada sampel *DSSC* 4%$_{BS}$ yang merupakan konsentrasi 4%.



Gambar 4.10. Perubahan nilai efisiensi *DSSC* 1$_{KBS}$-10%$_{BS}$

Berdasarkan teori semakin besar penambahan konsentrasi maka nilai efisiensi yang dihasilkan semakin meningkat. Namun pada konsentrasi 6% mengalami penurunan nilai efisiensi, hubungan variasi konsentrasi terhadap nilai efisiensi *DSSC* cenderung bersifat linear sampai batas konsentrasi tertentu, dalam hal ini semakin banyak molekul *dye* yang melekat pada pasta TiO_2 maka semakin meningkatkan elektron-elektron yang akan tereksitasi (melompat keluar). Uraian

tersebut mendukung hasil penelitian yang membuktikan bahwa penambahan konsentrasi akan meningkatkan efisiensi *DSSC*. Namun berbeda dengan variasi konsentrasi 6% *dye* bubuk buah senduduk dimana pada konsentrasi ini mengalami penurunan efisiensi, hal ini dikarenakan molekul *dye* yang mengalami pengumpulan antara sesama molekul pori pasta TiO_2 sehingga proses reaksi oksidasi elektron menjadi lama dan tidak efisien. Seperti pada penelitian yang telah dilakukan Mursalim (2019) yang menyatakan bahwa dengan memvariasi konsentrasi daun tarum 30,50,70, dan 100% dengan nilai efisiensi yang dihasilkan berturut-turut 0,04%, 0,06%, 0,36%, dan 0.08%.

Pada penelitian dilakukan proses penyaringan setelah ekstraksi buah senduduk dan pada hasil pengeringan *dye* kering, yang bertujuan untuk mempermudah proses pengenceran antara pelarut dan *dye* bubuk. Penyaringan berfungsi untuk memperoleh bentuk molekul atau ukuran molekul pada *dye* yang seragam. Karena apabila molekul *dye* besar maka akan mengakibatkan pori-pori TiO_2 tertutupi. Berdasarkan penelitian Huda (2016) yang menyatakan bahwa ukuran TiO_2 yang digunakan sebagai semikonduktor pada *DSSC* merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kemampuan untuk mengabsorpsi molekul-molekul *dye*. Dan juga harus ada keseimbangan antara pasta TiO_2 dan *dye* bubuk yang digunakan, karena pasta TiO_2 memiliki batas daya tampung elektron.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun yang dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Sifat kelisrikan *DSSC* terbaik dengan menggunakan bubuk ekstrak buah senduduk dengan metode pengeringan *foam-mat drying* adalah dengan konsentasi *dye* 4%. Nilai kelistrikan yang diperoleh pada sampel yakni I_{sc}: 0,0074 mA, V_{oc}: 808 mV, I_{max}: 0,0050 mA, V_{max}: 584 mV, P_{max}: 2,9200 mW, *FF*: 0,4884, dan efisiensi sebesar 1,9188%.
2. Total antosianin tertinggi diperoleh pada antosianin dengan konsentrasi *dye* 10% dengan nilai sebesar 0,60 mg/L dan total antosianin terendah diperoleh pada konsentrasi 2% dengan nilai sebesar 0,25 mg/L.
3. Sifat kelisrikan *DSSC* dipengaruhi oleh kadar *dye*. Efisiensi terus bertambah sampai pada batas konsentrasi tertentu yaitu dari 2-4% adapun nilai yang dihasilkan yakni 1,31% dan 1,92%. Pada konsentrasi yang lebih pekat (6-10%) efisiensi berangsur menurun secara berurutan yakni dengan nilai 1,08%, 1,02% dan 0,51%.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan penggunaan bubuk ekstrak buah senduduk sebesar 4% untuk meningkatkan sifat kelistrikan *DSSC*.

DAFTAR PUSTAKA

Adam, H., Dwioknain, E., Tahir, D., & Gareso, P. L. (2019). Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Bunga Pacar Air (Impatiens Balsamina L.) dan Bunga Kertas (Bougenville Spectabilis). *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, *16*(2), 124-130.

Ahmadian, R. 2011. Estimating The Impact of Dye Concentration On The Photoelectrochemical Performance of Anthocyanin-Sensitized Solar Cells: A Power Law Model. *Journal of photonics for energy*, 1(1), 011123.

Alimuddin, A., 2016. Perbandingan Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (*DSSC*) Dari Ekstrak Daun Pacar Air, Bunga Pacar Air Merah Dan Bunga Pacar Air Ungu (Impatiens Balsamina Lin) Sebagai *Dye Sensitizer*. *Skripsi*. Makassar. Universitas Islam Negeri Makassar.

Amri, A., Haq, A., Fadli, A., & Yasri, I., 2017. Preparasi Koating Tio2 Pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis Melastoma Malabathricum. *Jurnal Sains dan Teknologi*, *16*(1), 7-12.

Andari, R. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Dye Sinsitized Solar Cell (*DSSC*) dengan Sensitizer Antosianin dari Bunga Rosella (Hibiscus Sabdariffa). *JIIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika), 1*(2), 140-150.

Ardianto, R., Nugroho, W. A., dan Sutan, S. M. (2015). Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (*DSSC*) Menggunakan Lapisan Capacitive Touch Screen sebagai Subsrat dan Ekstrak Klorofil Nannochloropsis Sp. Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO_2. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(3), 325-337.

Ayu, H.R., Suryono, Suseno, J.E., 2020. Rancang Bangun Sistem Ultrasonic Assisted Extraction (UAE) dengan Otomatis Pengaruh Suhu dan Volume Pelarut. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 10(1), 56-64.

Bashir, F. A., Febri, A., Hidayah, A. T., Nuraini, N. R. A., & Wulandari, N., 2016. Ekstrak Kulit Buah Manggis (Garcinia mangostana L.) Sebagai Dye Sensitiser Alami Pada Dye Sensitized Solar Cell. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek.* Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Cari, C., Nurussaniah, N., Boisandi, B., Anita, A., Supriyanto, A., & Suryana, R. 2013. Pengaruh Konsentrasi Poly (3-hexylthiophene)(P3HT) terhadap Peningkatan Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell*. In *lpf*, 1-5.

Dahlan, D., dan Fahyuan, H. D., 2014. Pengaruh Beberapa Jenis Dye Organik Terhadap Efisiensi Sel Surya Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 15(2),74-79.

Farida, R., dan Nisa, F. C., 2015. Ekstraksi Antosianin Limbah Kulit Manggis Metode Microwave Assited Extraction (Lama Ekstraksi dan Rasio Bahan : Pelarut). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(2), 362-373.

Fitria, A., Amri, A., dan Fadli, A., 2016. Pembuatan Prototip Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Ekstrak Buah Senduduk (Melastoma melabathricum L.) dengan Variasi Fraksi Pelarut Dan Lama Perendaman Coating TiO_2. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1-9.

Gusti, M. M. dan Wrolstad, R. E., 2001. Current Protocols in Food Analytical Chemistry, F1.2.1-F2.2.13.

Haryanto, B. 2016. Pengaruh Konsentrasi Putih Telur Terhadap Sifat Fisik, Kadar Antosianin Dan Aktivitas Antioksidan Bubuk Instan Ekstrak Kulit Manggis (Garcinia Mangostana L.) dengan Metode Foam Mat Drying. *Jurnal Kesehatan*, *7*(1), 1-8.

Huda, I. 2016. Studi Pnggunaan Dye Antosianin Kulit Manggis, Dye Sintesis N749, Dan Kuantum Dot CDSE Terhadap Karakteristik Optik Prototipe Dye Sensitized Solar Cell . *Doctoral dissertation*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Indriyani, F., Nurhidajah, dan Suyanto, A., 2013. Karakteristik Fisik, Kimia Dan Sifat Organoleptik Tepung Beras Merah Berdasarkan Variasi Lama Pengeringan. *Jurnal Pangan dan Gizi*, 4(8), 27-34.

Iswari, K., 2007. Kajian Pengolahan Bubuk Instan Wortel Dengan Metode *Foam-Mat Drying*. Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian Vol.3, 37-41.

Iwantono, Taer, E., Taslim, R., dan Lestari, L.R., 2018. Sel Surya Fotoelektrokimia dengan Menggunakan Nanopartikel Platinum Sebagai Elektroda *Counter Growth*. Universitas Riau, 553-560.

Khairiyah, S.N., 2019. Studi Pembuatan Serbuk Pewarna Alami dari Limbah Kulit Buah Naga Merah (Hylocereus Polyrhizus) dengan Metode Enkapsulasi. *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan.

Kholiq, I., 2015. Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung subsidi BBM. *Jurnal IPTEK*. 19(2), 75-91.

Kumara, S. W. M., dan Prajitno, G., 2012. Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus hybridus L.) sebagai *Dye* Sensitizer dengan Variasi Jarak

Sumber Cahaya pada *DSSC*. *Tugas Akhir S1*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh November.

Kusumah, G. R. B., 2017. Pengaruh Formula Dan Perbandingan Bumbu Serbuk Dengan Santan Serbuk Terhadap Karakteristik Bumbu Gulai Serbuk dengan Metode Foam-Mat Drying. *Doctoral dissertation*. Fakultas Teknik Unpas.

Lahsmin, Y. K., Iswandi, Aisyah, dan Rahmaniah., 2016. Pengaruh Konsentrasi Pigmen Warna dari Daun Pacar Kuku (Lawsonia inermis L.) Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (*DSSC*). *Jurnal Teknosains*, 12(2), 189-202.

Lee, J., Durst, R. W., Wrolstad, R. E., & Collaborators: Eisele T Giusti MM Hach J Hofsommer H Koswig S Krueger DA Kupina; S Martin SK Martinsen BK Miller TC Paquette F Ryabkova A Skrede G TrennU Wightman JD., 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international*, *88(5),1269-1278.*

Mabruroh, I., 2019. Performa Dye Sensitized Solar Cell (*DSSC*) dengan Variasi Lama Perendaman Pasta Titanium Dioksida (TiO_2) dalam *Dye* dan Intensitas Cahaya. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.

Maysha, I., Trisno, B., dan Hasbullah., 2013. Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 dan Thermoelectric Cooler. *Jurnal Electrans*.12(2), 89-96.

Megawati, M., Mulyani, N. K. C., & Alvionita, E. A., 2020. Pengaruh Perbedaan Pelarut Asam Pada Ekstraksi Antosianin Bunga Dadap Merah (Erythrina Crista-Galli) Dengan Metode Microwave Assisted Extraction. *Journal of Chemical Process Engineering*, *5*(1), 33-39.

Misbachudin, M. C., Rondonuwu, F. S., & Sutresno, A., 2014. Pengaruh pH Larutan Antosianin Strawberry dalam Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (*DSSC*). *JFA (Jurnal Fisika dan Aplikasinya)*, *10*(2), 57-62.

Mujumdar, A. S., 2006. *Handbook of industrial drying, revised and expanded* (Vol. 1). Department of Chemical Enginering.McGill University.

Mursalim, P.D., 2019. Pengaruh Konsentrasi Larutan *Dye* Daun Tarum (Indigofera tinctoria) Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (*DSSC*). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

Ningsih, R.W., 2020. Performa *Dye Sensitized Solar Cell* Menggunakan Pemeka Cahaya dari Ekstraksi Klorofil Daun Eceng Gondok dengan Metode Ultrasonic Assisted Exstraction. *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Sriwijaya.

Noordia, A., 2000. Pengaruh Penambahan Kuning Telur Dan Putih Telur Terhadap Kualitas Santan Bubuk Yang Dihasilkan Dengan Metode Pengering Busa. *Doctoral dissertation*. Widya Mandala Catholic University Surabaya.

Nurawan, M., R., Yuliasari, F., Safriani, L., dan Aprilia, S. A., 2019. Pengaruh Variasi Konsentrasi Spiro-Ometad sebagai Htm terhadap Peningkatan Efisiensi *DSSC*. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 9(1), 26-29.

Prasetya, Y.H., Wahyuningsih,S., dan Suryana, S., 2014. Studi Variasi Elektolit Terhadap Kinerja Dye-Sensitized Solar Cell (*DSSC*). *Jurnal Fisika Indonesia*, 17(53), 47-49.

Pratiwi, D. D., 2016. Variasi Komposisi Zat Pewarna Terhadap Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (*DSSC*). *Skripsi*. Universitas sebelas maret. Surakarta.

Prasetyo, T. F., Isdiana, A. F., & Sujadi, H. (2019). Implementasi alat pendeteksi kadar air pada bahan pangan berbasis internet of things. *SMARTICS Journal*, *5*(2), 81-96.

Priska, M., Peni, N., Carvallo, L., Ngapa, Y.D., 2018. Review : Antosianin Dan Pemanfaatannya. *Jurnal Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chamistry)*, 6(2),79-97.

Purbasari, D. (2019). Aplikasi metode *foam-mat drying* dalam pembuatan bubuk susu kedelai instan. *Jurnal Agroteknologi*, *13*(01), 52-61.

Puspitarini, B.A., 2010. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Singkong (Manihitis folium) Menggunakan Metode Diphenylpicryl Hydrazyl (DPPH). *Skripsi*. Fakultas Farmasi. Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.

Putri, L. M., Prihandono, T., dan Supriadi, B., 2017. Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Laju Kenaikan Suhu Larutan. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(2), 147-153.

Ranti, A. D., Amri, A., dan Yelmida., 2016. Pengaruh Ketebalan Koating TiO_2 dan Konsentrasi Pelarut Etanol Terhadap Voltase Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Buah Senggani (Melastoma candidum D. Don). *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1-7.

Rangkuti, I.U.P., & Syahputra, A. (2019). Warna Minyak Sawit Mentah dan Stabilitas Warna Berdasarkan Tingkat Kematangan Buah yang Berasal dari Kebun dengan Ketinggian 800 MDPL. *Jurnal Agro Fabrica*, 1(2), 34-39.

Sari, E. R., Nova, A., & Sahitri, L. S. L., 2016. Skrining Senyawa Sitotoksik dari Ekstrak Daun, Bunga, Buah, Batang dan Akar pada Tumbuhan Senduduk (Melastoma malabathricum L.) Terhadap Larva Artemia salina Leach dengan Metode Brine Shrimp Lethality Bioassay. *SCIENTIA: Jurnal Farmasi dan Kesehatan*, *6*(1), 66-72.

Salafudin, A., Nurosyid, F., & Kusumaningsih, T. 2017. Optimasi Volume Pengenceran Larutan Dye Bunga Mawar (Rosa Hybrida Hort) Dengan Metanol Terhadap Efesiensi DSSC. *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*, *9*(2), 68-75.

Setiawan, A., Fatayati, I., dan Aliah, H., 2015. Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Naga Merah (Hylocereus costaricensis) Terhadap Efisiensi *DSSC*. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 11(1), 1-7.

Sholehatiningsih, 2019. Pengaruh jenis pelarut ekstraksi antosianin buah lampeni (Ardisia humilis vahl) sebagai sensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis ZnO doping zirkonium oksiklorida prosuksi PSTA batan yogyakarta. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.

Sholihah, *et al*. 2017. Aplikasi Gelombang Ultrasonik untuk Meningkatkan Rendemen Ekstraksi dan Efektivitas Antioksi dan Kulit Manggis. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 5(2), 161-*168*.

Suranti, M., 2020. Ekstraksi Daun Eceng Gondok dengan Metode Microwave Assisted Extraction Sebagai Pemeka Cahaya Dye Sensitized Solar Cell. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.

Widiyandari, H., Purwanto, A., Hidayanto, E., dan Diharjo, K. (2012). Fabrikasi gelas transparant konduktif FTO (*Flourin-doped Tin Oxide*) dan Aplikasi pada sel surya berbasis *Dye* (*DSSC*). *Pros. InSINas, no. Cvd*, 88-92.

Windi, S. D., Latief, T., & Pratama, F. 2017. Dye Sensitized Solar Cell Dengan Ekstrak Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrhizus*) Sebagai Pemeka Cahaya. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.

Wulandari, L., 2018. *Dye Sensitized Solar Cell* Dengan Ekstrak Daun Kangkung Air (*Ipomoae aquatic F*.) Sebagai Pemeka Cahaya. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.

Yandri, E., Arianti, R., Ibrahim, R. F., 2018. Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan dan Efisiensi Guna

Membangun Ketahanan Pangan Nasional Dari Daerah. *Jurnal Ketahanan Nasional*. 24(2), 239-260.

Yahmin. 2019. Modul 1: Kimia Dasar 2 (edisi 2) Larutan. Tangerang Selatan. Universitas Terbuka.

Yuliananda,S., Sarya, G., dan Hastijanti, RA.R., 2015. Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, 1(2), 193-202.

Yulinery, T., dan Nurhidayat, N., 2016. Analisis Viabilitas Probiotik Lactobacillus Terenkapsulasi Dalam Penyalut Dekstrin dan Jus Markisa (Passiflora edulis). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *13*(1), 109-121.

Yuliarosa, R., 2019. Dye Sensitized Solar Cell dengan Variasi Pemeka Cahaya dan Intensitas Cahaya. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.