

BAB III METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan dan karakterisasi lima sampel DSSC dengan bentuk yang sama namun variasi kandungan *dye* yang digunakan berbeda. Proses perancangan DSSC dilakukan melalui beberapa proses, diantaranya pembuatan pasta TiO₂, deposisi pasta TiO₂ dengan metode *spin coating*, pembuatan ekstraksi *dye*, pembuatan elektrolit, pembuatan elektroda lawan, serta fabrikasi dan pengujian. Pengujian dilakukan terhadap 5 jenis sampel dengan variasi kandungan *dye* yang berbeda, untuk kemudian ditentukan besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh DSSC. Hasil pengujian tegangan dan arus dari masing-masing sampel akan disimulasikan ke dalam program Excel dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat karakteristik DSSC yang meliputi nilai *fill factor*, daya maksimum serta efisiensi yang mampu dihasilkan oleh setiap sampel. Kesimpulan diambil berdasarkan karakteristik dari hasil grafik.

3.1 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3. 1
Alat yang digunakan

No.	Peralatan	No.	Peralatan
1	Kaca TCO jenis ITO (Sigma-Aldrich)		dan merk Sanwa CD771
2	Spektrofotometer UV-1800 (Shimadzu)	10	Gelas Beker 50 ml, 150 ml
3	<i>Scanning Electron Miscroscope</i> (SEM) Phenom G2 Pro	11	Gelas Ukur 5 ml, 100 ml
4	<i>Digital Microscope</i> (Dino-lite AM4115 Series)	12	Cawan Petri
5	<i>Magnetic Stirrer</i> tipe 208 (WINA Instruments) dan <i>Bar Stirrer</i>	13	Pipet Tetes
6	Timbangan Digital tipe CLSeries (OHAUS)	14	Spatula
7	<i>Furnace</i> Vulcan A-550	15	Kertas Saring no. 42
8	Lux Meter Krisbow KW06-288	16	<i>Scotch Tape</i>
9	Multimeter Digital merk Hyelec MS8229	17	Lilin dan Korek Api
		18	Aluminium Foil
		19	Alat Tulis

Tabel 3. 2

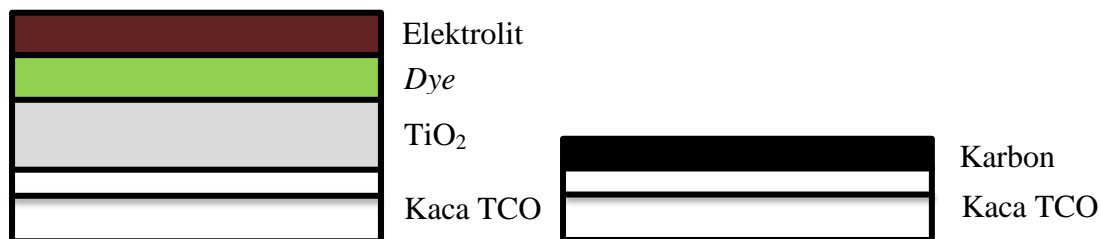
Bahan yang digunakan

No.	Bahan	No.	Bahan
1	Daun Singkong	7	Acetonotril
2	Beras Ketan Hitam	8	Etanol 100 %
3	TiO ₂ (Sigma-Aldrich)	9	Asam Asetat
4	<i>Polyvinyl Alcohol</i> (PVA) (Merck)	10	Aquades
5	<i>Pottasium Iodide</i> (KI)	11	Sabun
6	<i>Iodine</i> (I ₂) (Merck)		

3.2 Desain dan Proses Perancangan DSSC

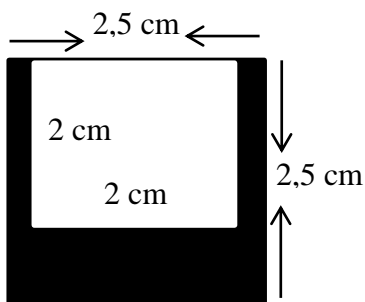
3.2.1 Desain DSSC

Pada DSSC terdapat dua buah kaca TCO yang berfungsi sebagai elektroda kerja (*working electrode*) dan elektroda lawan (*counter electrode*). Susunan kedua TCO tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Kaca TCO bagian elektroda kerja (kiri) dan bagian elektroda lawan (kanan)

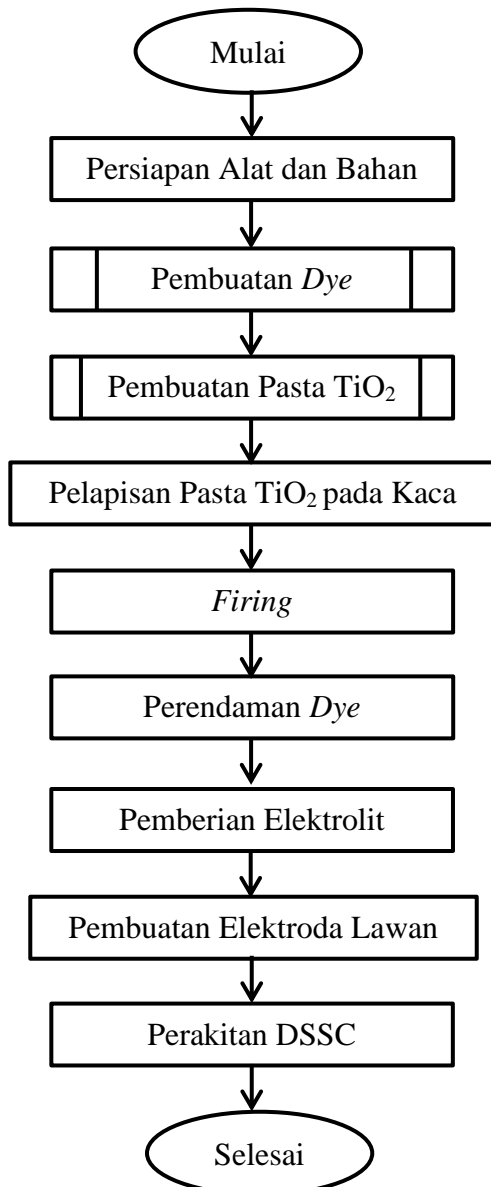
Untuk menyatukan kedua kaca tersebut, dibutuhkan penjepit buaya agar kedua kaca tidak bergeser. Ukuran kaca TCO yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah 2,5 x 2,5 cm², dan luasan area kerja yang digunakan adalah 2 x 2 cm². Perancangan kaca TCO dapat dilihat pada Gambar 3.2, dimana bagian putih merupakan bagian yang dilapisi pasta TiO₂.



Gambar 3. 2 Perancangan kaca TCO

3.2.2 Perancangan DSSC

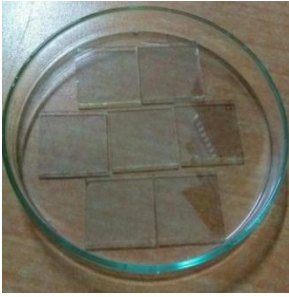
Proses perancangan dan pengujian DSSC dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram alir perancangan DSSC

3.2.2.1 Persiapan Substrat Kaca TCO

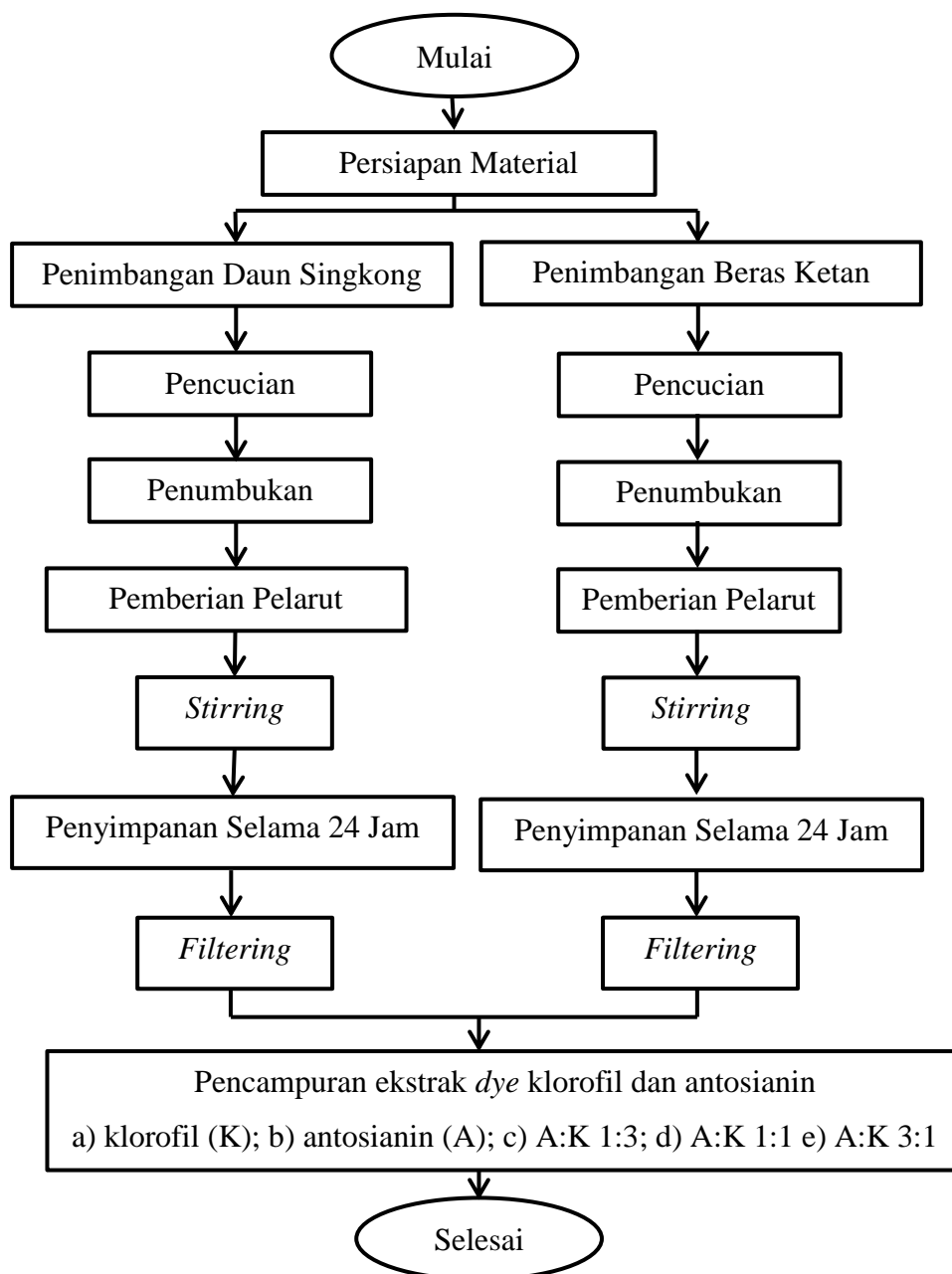
Kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang digunakan adalah jenis ITO (*Indium Tin Oxide*) dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm², seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Hal pertama yang harus dilakukan dalam pembuatan DSSC adalah dengan membersihkan kaca TCO dengan cara merendam kaca TCO dalam larutan etanol selama 10 menit. Kemudian kaca TCO tersebut didiamkan hingga etanol yang tersisa pada kaca TCO menguap. Kaca TCO yang berukuran 2,5 x 2,5 cm² diberi *scotch tape* pada bagian pinggir kaca yang konduktif sehingga ukuran kaca menjadi 2 x 2 cm².



Gambar 3. 4 Kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*)

3.2.2.2 Pembuatan Ekstraksi *Dye*

Langkah-langkah dalam pembuatan ekstrak *dye* klorofil dan antosianin dapat dilihat pada Gambar 3.5.

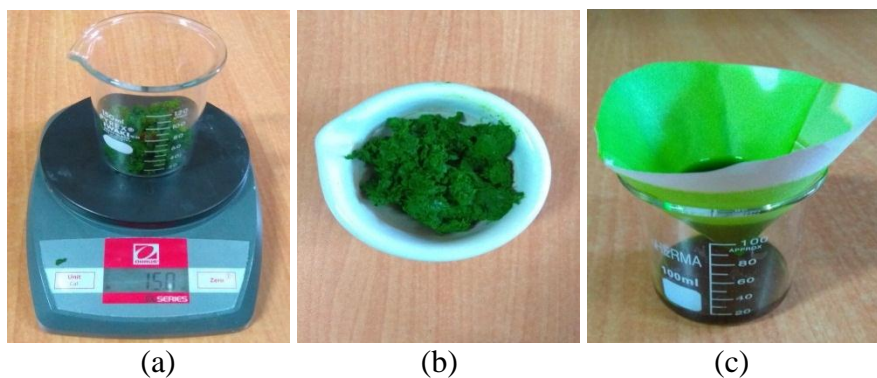


Gambar 3. 5 Diagram alir persiapan ekstraksi *dye*

Dalam penelitian ini, digunakan 2 macam ekstraksi *dye* yaitu ekstraksi klorofil dari daun singkong dan ekstraksi antosianin dari beras ketan hitam. Proses ekstraksi dijelaskan sebagai berikut:

a. Pembuatan ekstrak *dye* klorofil

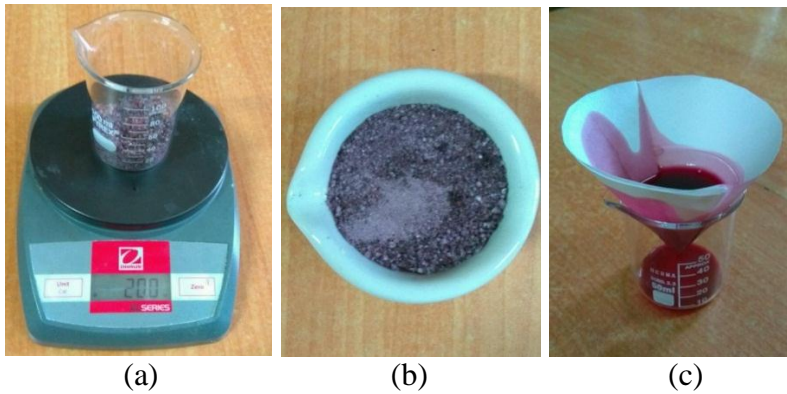
Sebelum membuat ekstrak klorofil, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu mencuci daun singkong hingga bersih. Kemudian membuang tulang daun singkong dan ditimbang 20 gram. Langkah selanjutnya yaitu menumbuk daun singkong hingga halus dengan menggunakan mortar. Apabila sudah halus, daun singkong diletakkan ke dalam gelas beker yang telah dilapisi aluminium foil. Kemudian dicampurkan dengan pelarut berupa etanol sebanyak 50 ml. Daun singkong yang telah tercampur etanol diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah diaduk, ekstrak klorofil didiamkan selama 24 jam agar proses ekstraksi semakin maksimal. Setelah 24 jam, ekstrak klorofil disaring dengan menggunakan kertas saring, kemudian diletakkan pada wadah gelap. Proses pembuatan ekstrak *dye* klorofil dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 (a) Proses penimbangan daun singkong (b) Daun singkong yang telah dihaluskan (c) Proses penyaringan ekstrak klorofil

b. Pembuatan ekstrak *dye* antosianin

Sama seperti proses ekstraksi pada *dye* klorofil, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu mencuci beras ketan hitam. Kemudian beras ketan hitam ditimbang 20 gram. Pada proses ekstraksi ini digunakan beberapa pelarut, diantaranya 42 ml etanol; 5,6 ml asam asetat; dan 22,4 ml aquades. Pelarut tersebut kemudian dicampurkan dengan beras ketan hitam dan selanjutnya diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 50-55°C selama 60 menit. Untuk memaksimalkan proses ekstraksi, antosianin didiamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam, hasil ekstrak antosianin disaring dengan menggunakan kertas saring, kemudian diletakkan pada wadah gelap. Proses pembuatan ekstrak *dye* antosianin dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 (a) Proses penimbangan beras ketan hitam (b) Beras ketan hitam yang telah dihaluskan (c) Proses penyaringan ekstrak antosianin

Untuk mendapatkan 5 sampel dengan variasi kandungan *dye*, dilakukan pencampuran ekstrak *dye* antosianin dan klorofil 1 : 3, 1 : 1, 3 : 1, klorofil 100% dan antosianin 100%. Pencampuran dilakukan setelah masing-masing ekstrak *dye* klorofil dan antosianin disaring. Hasil pencampuran kedua ekstrak dapat dilihat pada Gambar 3.8.

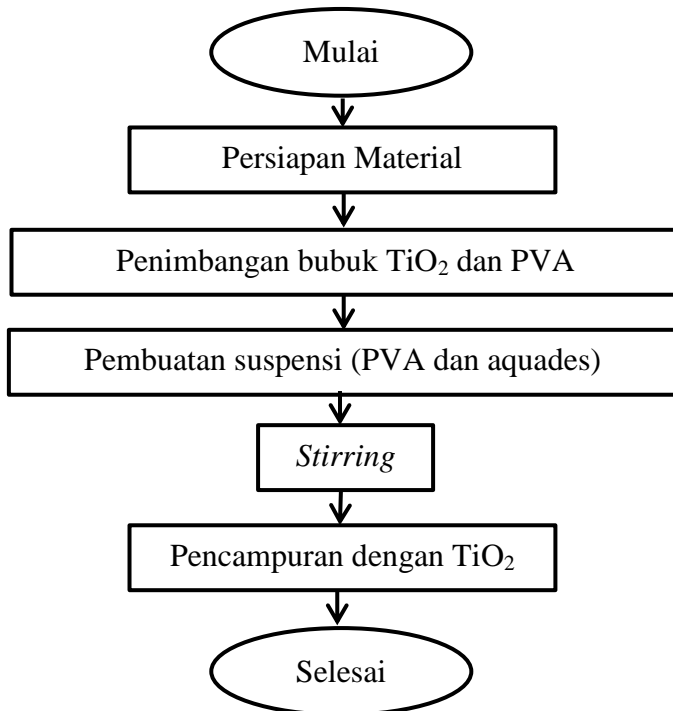


Gambar 3. 8 Hasil pencampuran kedua ekstrak *dye* klorofil dan antosianin

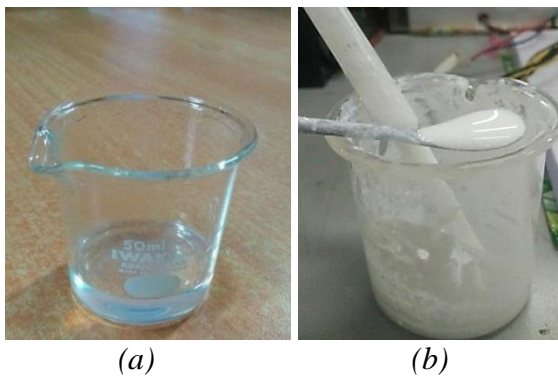
3.2.2.3 Pembuatan Pasta TiO₂

Pembuatan pasta TiO₂ dilakukan dengan beberapa langkah seperti yang terlihat pada Gambar 3.9.

Pembuatan Pasta TiO₂ dilakukan dengan cara membuat larutan suspensi dengan mencampurkan PVA (*Polyvinyl Alcohol*) 1,5 gram dan aquades sebanyak 13,5 ml. Untuk mencampurkan kedua bahan tersebut, suspensi diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dan *bar stirrer* pada suhu 45°C selama 30 menit. Bubuk TiO₂ disiapkan dan ditimbang 0,5 gram, kemudian suspensi yang sudah jadi ditambahkan ke TiO₂ secara perlahan-lahan sebanyak 7,5 ml. Kemudian larutan diaduk hingga menjadi homogen. Larutan suspensi dan hasil pembuatan pasta TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 3.10.



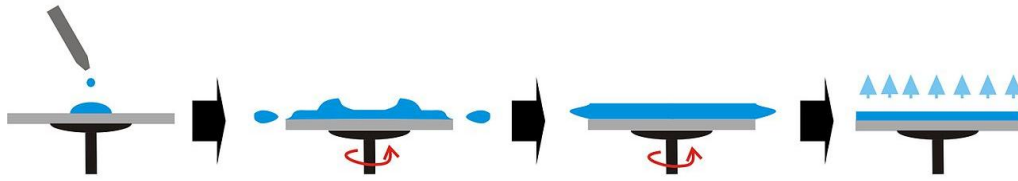
Gambar 3. 9 Diagram alir persiapan pasta TiO₂



Gambar 3. 10 (a) Larutan Suspensi (b) Pasta TiO₂

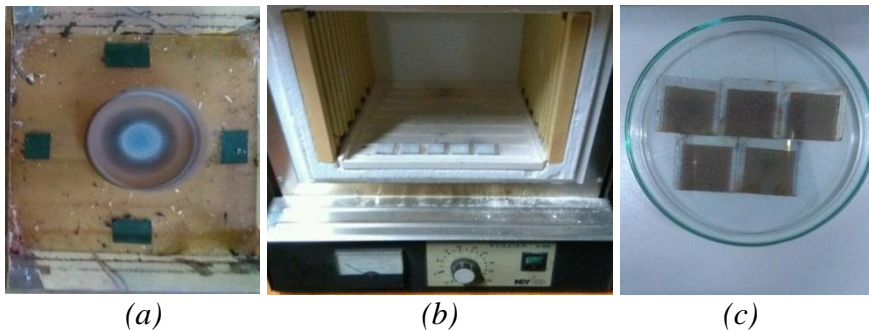
3.2.2.4 Pelapisan Pasta TiO₂ pada Substrat

Pada penelitian ini, pelapisan pasta TiO₂ pada substrat menggunakan metode deposisi *spin coating*. Deposisi merupakan proses pelapisan cairan, *gel* atau pasta kedalam suatu substrat. Metode *spin coating* dapat diartikan sebagai sebuah metode pembentukan lapisan tipis melalui proses pemutaran atau *spin*. Bahan yang digunakan sebagai lapisan tipis dapat berupa larutan atau gel. Bahan tersebut ditetaskan ke atas permukaan substrat (kaca TCO). Kemudian substrat tersebut diletakkan diatas suatu piringan yang dapat berputar. Dengan adanya putaran tersebut, lapisan tipis mampu tersebar secara merata pada substrat. (Hidayat et al., 2014). Sketsa putaran metode *spin coating* dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Metode deposisi *spin coating*.
Sumber: Modifikasi dari Hidayat et al. (2014).

Deposisi ini membutuhkan alat berupa *spin coater* yang berfungsi untuk meratakan pasta pada kaca TCO. Kaca TCO yang sudah siap diletakkan di tengah *spin coater*, kemudian pasta TiO_2 yang sudah jadi diteteskan pada kaca TCO menggunakan pipet sebanyak 5 tetes. *Spin coater* diatur pada kecepatan 975 rpm, dan deposisi pasta dilakukan selama 10 x 10 detik. Pada proses ini, deposisi pasta TiO_2 dilakukan secara berurutan, yaitu sampel untuk klorofil terlebih dahulu, kemudian diikuti antosianin, variasi antosianin : klorofil 1 : 3, antosianin : klorofil 1 : 1, dan antosianin : klorofil 3 : 1. Artinya, empat sampel terdahulu mengalami *rehydration* lebih lama. Setelah pasta TiO_2 kering (~5 menit), *scotch tape* yang menempel pada kaca TCO dilepas. Agar TiO_2 lebih melekat pada kaca, kaca TCO dipanaskan (*firing*) dengan menggunakan *furnace* pada suhu 250°C selama 15 menit. Proses pelapisan pasta TiO_2 pada substrat dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 (a) Proses deposisi pasta TiO_2 pada kaca TCO dengan menggunakan *spin coater* (b) Proses *firing* dengan menggunakan *furnace* (c) Kaca TCO yang telah melalui proses *firing*

3.2.2.5 Perendaman Sampel pada *Dye*

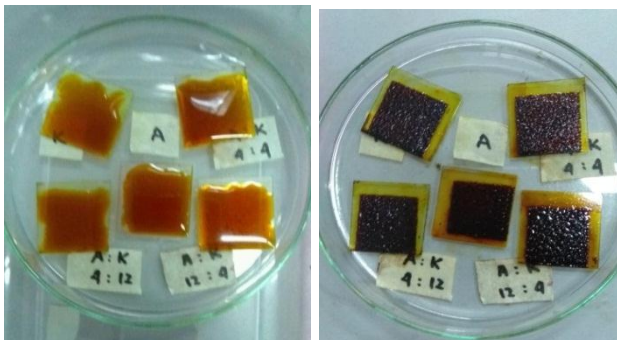
Sampel yang telah melalui proses *firing*, didiamkan terlebih dahulu pada suhu ruang. Kemudian sampel tersebut direndam dalam *dye* selama 30 menit.

3.2.2.6 Persiapan Luran Elektrolit

Larutan elektrolit dibuat dengan mencampurkan Pottasium Iodide (KI) 0,5M sebanyak 0,8 gram pada 9 ml acetonitrile dan 1 ml aquades. Kedalam larutan tersebut, ditambahkan Iodide (I_2) 0,05M sebanyak 0,127 gram, kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic*

stirrer selama 30 menit dan disimpan dalam botol tertutup atau dalam botol yang telah dilapisi aluminium foil.

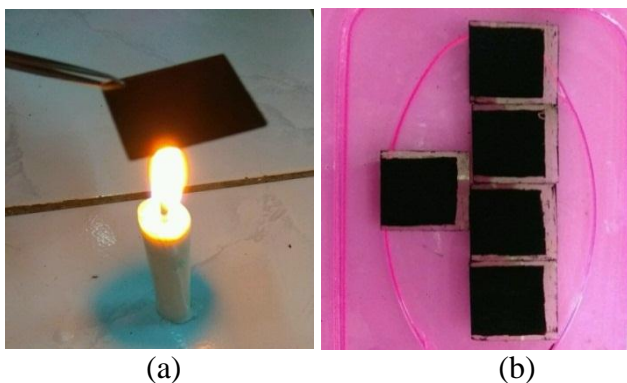
Kaca TCO yang sudah direndam pada *dye* ditetaskan elektrolit dengan menggunakan pipet tetes sebanyak 5 tetes. Proses pemberian larutan elektrolit dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Proses pemberian larutan elektrolit

3.2.2.7 Pembuatan Elektroda Lawan

Pembuatan elektroda lawan dilakukan dengan membakar bagian konduktif kaca TCO dengan menggunakan api lilin hingga kaca TCO dilapisi karbon secara merata. Pembakaran dilakukan selama 1 menit. Proses pembuatan elektroda lawan dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 (a) Proses pembakaran lapisan konduktif dengan menggunakan api lilin (b) Elektroda lawan yang sudah jadi

3.2.2.8 Perakitan DSSC

Perakitan DSSC dilakukan dengan menggabungkan elektroda kerja dengan elektroda lawan dengan menggunakan klip. Tampilan DSSC ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Hasil perakitan DSSC

3.3 Variabel Penelitian

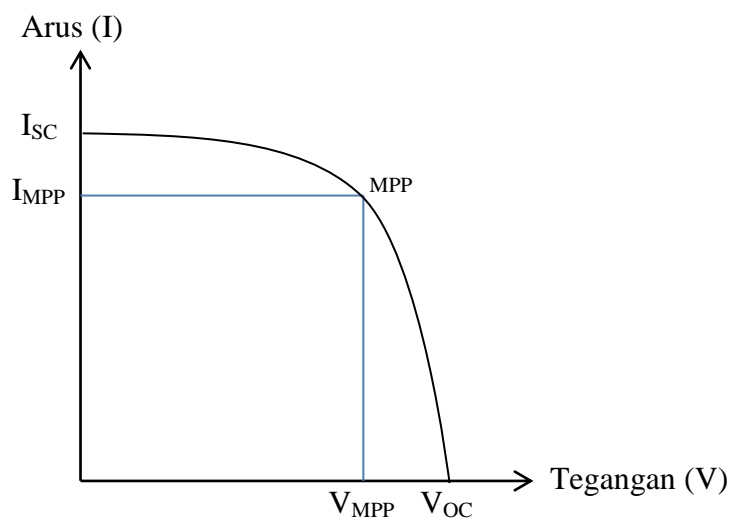
Variabel-variabel yang akan diamati pada penelitian ini meliputi variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol serta variabel keluaran.

1. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - a. Variasi *dye*
 - Sampel 1 : *Dye* klorofil
 - Sampel 2 : *Dye* antosianin
 - Sampel 3 : *Dye* antosianin : klorofil (1 : 3)
 - Sampel 4 : *Dye* antosianin : klorofil (1 : 1)
 - Sampel 5 : *Dye* antosianin : klorofil (3 : 1)
 - b. Variasi cahaya dengan menggunakan cahaya matahari AM 1,5; dan LED *Cool Daylight* 7 Watt.
2. Variabel tak bebas (terikat) yang dipengaruhi oleh perlakuan pada variabel bebas meliputi:
 - a. Tegangan keluaran (V_{oc})
 - b. Arus keluaran (I_{sc})
 - c. Gelombang absorbansi
3. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:
 - a. Luas area kerja DSSC yaitu 2 cm x 2 cm
 - b. Deposisi pasta TiO_2 menggunakan metode *spin coating*
 - c. Suhu dan lama waktu dalam proses firing untuk semua sampel adalah sama
 - d. Lama waktu perendaman dalam *dye* untuk semua sampel adalah sama
 - e. Lama waktu pembuatan elektroda lawan dengan menggunakan lilin untuk semua sampel adalah sama
 - f. Penyinaran dengan menggunakan sinar matahari dilakukan pada AM 1,5
4. Variabel output yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - a. Tegangan keluaran DSSC (V_{oc})

- b. Arus Keluaran DSSC (I_{sc})
- c. *Fill Factor* (FF)
- d. Daya keluaran (P_{MAX})
- e. Efisiensi DSSC (η)

3.4 Set Up Pengukuran dan Analisis Data

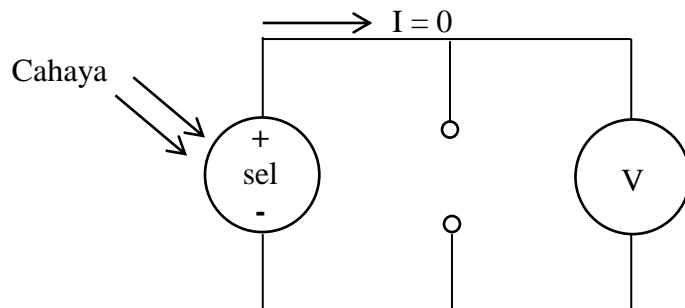
Beberapa variabel data dapat dicari dengan melakukan *set up* pengukuran yang berbeda-beda. *Set up* pengukuran untuk mengukur arus keluaran (I_{sc}) dan tegangan keluaran (V_{oc}) juga dapat dilakukan dengan pengukuran karakteristik kurva I-V seperti yang terlihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Kurva karakteristik I-V

Dari kurva karakteristik I-V tersebut didapatkan data tentang performansi DSSC sebagai berikut:

1. Tegangan hubung buka (V_{oc})

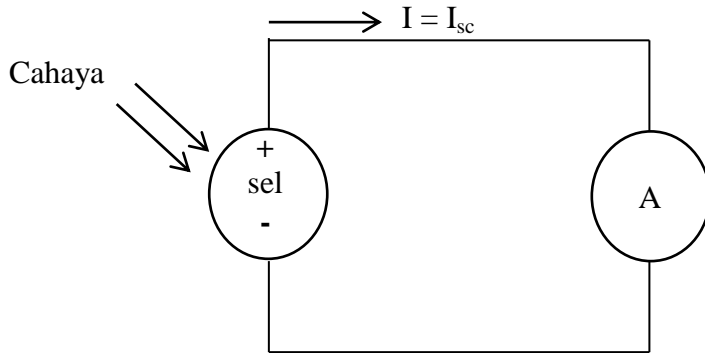


Gambar 3. 17 Skematik rangkaian tegangan hubung buka

Dilihat dari kurva karakteristik I-V, V_{oc} (tegangan *open circuit*) merupakan tegangan maksimum yang dapat dihasilkan oleh DSSC, dimana tegangan diukur ketika rangkaian sel

surya dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir. Sisi katoda DSSC akan dihubungkan dengan kutub positif voltmeter, sedangkan anoda DSSC akan dihubungkan dengan kutub negatif voltmeter seperti yang terlihat pada Gambar 3.17.

2. Arus hubung singkat (I_{sc})



Gambar 3. 18 Skematik rangkaian pengukuran arus hubung singkat

Dilihat dari kurva karakteristik, I_{sc} (arus *short circuit*) merupakan arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh DSSC ketika tegangan sel surya bernilai nol, dan rangkaian dalam keadaan *short*. Rangkaian yang digunakan sama dengan rangkaian pada pengukuran tegangan hubung buka, hanya saja menggunakan amperemeter. Skematik rangkaian pengukuran arus dapat dilihat pada Gambar 3.18.

3. Daya Keluaran

Daya keluaran yang dihasilkan oleh DSSC merupakan daya maksimum yang didapatkan dari perkalian antara tegangan hubung buka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan *Fill Factor*.

$$P_{max} = V_{oc}.I_{sc}.FF = V_m.I_m \dots\dots\dots (3-1)$$

4. *Fill Factor* (FF)

Fill Factor dari sel surya didefinisikan sebagai perbandingan daya maksimum sel terhadap tegangan rangkaian hubung terbuka (V_{oc}) dan arus hubung singkat (I_{sc}), atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Fill\ Factor(FF) = \frac{V_m.I_m}{V_{oc}.I_{sc}} \dots\dots\dots (3-2)$$

5. Efisiensi

Efisiensi sel surya merupakan perbandingan antara daya maksimum (P_{MAX}) terhadap daya masukan (P_{IN}) yang dihasilkan dari intensitas radiasi dan daerah aktif DSSC (Irmansyah et al., 2008). Efisiensi DSSC dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{IN}} \times 100\% \dots\dots\dots (3-3)$$

Apabila sumber cahaya menggunakan sinar matahari pada AM 1,5 maka efisiensi DSSC dapat dirumuskan sebagai berikut (Syafii et.al., 2016):

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{P_{MAX}}{I_G \times A} \times 100\% \dots\dots\dots (3-4)$$

dimana I_G merupakan intensitas global cahaya matahari pada AM 1,5 dengan nilai sebesar $930,6 \text{ W/m}^2$, sedangkan A merupakan luas area kerja DSSC.

Untuk mendapatkan data yang diinginkan, dilakukan pengukuran dengan menggunakan sumber cahaya berupa sinar matahari saat AM 1,5; dan LED *Cool Daylight* 7 Watt. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh spektrum cahaya yang diserap oleh DSSC.

Dalam penelitian ini, pembuatan dan pengujian DSSC dilakukan di Laboratorium Elektronika Proses Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Pengujian absorbansi *dye* menggunakan Spektrofotometer *UV-Vis* UV-1800 dari Shimadzu dilakukan di Laboratorium Farmasi Jurusan Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya, sedangkan pengujian struktur dan ketebalan pasta TiO_2 dilakukan di Laboratorium Sentral Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

