

Proposal Skripsi

**DSSC (*DYE SENSITIZED SOLAR CELL*) DENGAN KOMPLEKS
Ni(difenilamin) SEBAGAI *DYE SENSITIZER***



USULAN PENELITIAN

Ditulis dan diajukan untuk menyusun skripsi S1 Jurusan Kimia

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

SURAKARTA

2012

commit to user

PERSETUJUAN

Proposal Skripsi Mahasiswa :

TRI ASTUTI

M 0308063

Dengan Judul

DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL) DENGAN KOMPLEKS

Ni(Difenilamin) SEBAGAI DYE SENSITIZER

Disetujui Oleh Pembimbing Untuk Dikerjakan

Surakarta, 22 Mei 2012

Pembimbing I

Prof. Drs. Sentot Budi R., PhD

NIP. 19660507 196601 1001

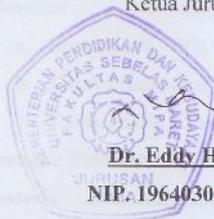
Pembimbing II

Prof. Ir. Ari H. R., M. Sc., (Hons), Ph. D

NIP. 19610223 198601 1001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Kimia



Dr. Eddy Heraldv, Msi

NIP. 19640305 200003 1002

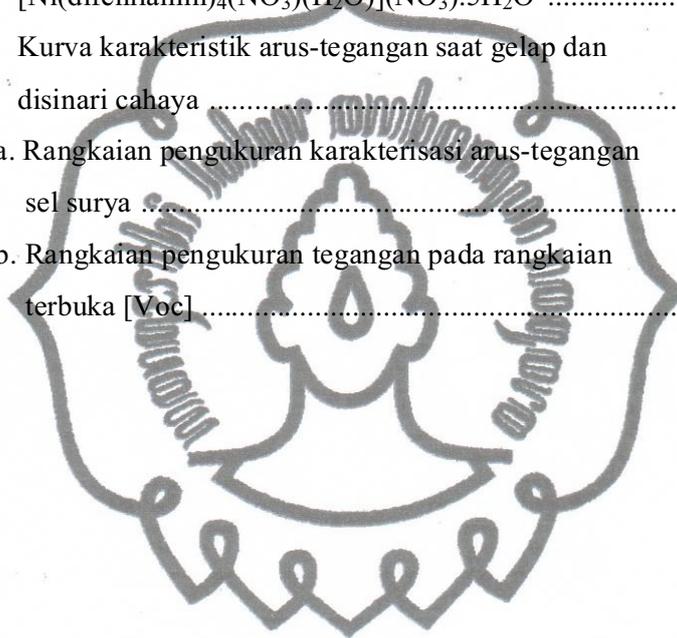
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	3
1. Identifikasi Masalah	3
2. Batasan Masalah	4
3. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
A. Tinjauan Pustaka	6
1. Sel Surya Tersensitasi <i>Dye</i>	6
2. Material DSSC	8
a. Substrat	8
b. Titanium Dioxide (TiO ₂)	8
c. <i>Dye Sensitizer</i>	9
3. Senyawa Kompleks Nikel	9
4. Analisis	11
a. Spektra UV – Vis	11
b. Karakterisasi Spektrum Serapan	13
c. Karakteristik Arus – Tegangan Sel Surya	13
B. Kerangka Berfikir	16
C. Hipotesis	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
A. Metode Penelitian	17
B. Tempat dan Waktu Penelitian	17
C. Alat dan Bahan	17
1. Alat	17
2. Bahan	18
D. Prosedur Penelitian	19
1. Sintesis Kompleks	
[Ni(difenilamin) ₄ (NO ₃)(H ₂ O)](NO ₃).5H ₂ O	19
2. Sintesis kompleks Ni(NH ₃)	19
3. Pengukuran Spektrum Elektronik	19
4. Pembuatan Pasta TiO ₂	19
5. Preparasi Deposisi Lapis Tipis TiO ₂	20
6. Preparasi Larutan Elektrolit	20
7. Pembuatan Pasta Carbon	21
8. Preparasi Deposisi Lapis Tipis Carbon	21
9. Fabrikasi DSSC	21
10. Uji Karakteristik $I-V$ dan Efisiensi DSSC	22
E. Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	25

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram skematik aliran elektron yang dihasilkan DSSC ketika diiluminasi cahaya	7
Gambar 2. Struktur anatase (a) dan rutile (b) (Soleh, 2002)	9
Gambar 3. Struktur senyawa kompleks [Ni(difenilamin) ₄ (NO ₃)(H ₂ O)](NO ₃).5H ₂ O	11
Gambar 4. Kurva karakteristik arus-tegangan saat gelap dan disinari cahaya	14
Gambar 5a. Rangkaian pengukuran karakterisasi arus-tegangan sel surya	15
Gambar 5b. Rangkaian pengukuran tegangan pada rangkaian terbuka [Voc]	15



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Sintesis Kompleks [Ni(difenilamin) ₄ (NO ₃)(H ₂ O)](NO ₃).5H ₂ O	25
Lampiran 2. Pembuatan kompleks Ni(NH ₃) ₄ SO ₄ . H ₂ O	26
Lampiran 3. Proses DSSC	27
Lampiran 4. Pembuatan Pasta TiO ₂	28
Lampiran 5. Preparasi Deposisi Lapis Tipis TiO ₂	28
Lampiran 6. Preparasi elektrolit	29
Lampiran 7. Pembuatan pasta carbon	29
Lampiran 8. Preparasi deposisi lapisan tipis carbon	30
Lampiran 9. Fabrikasi DSSC	31
Lampiran 10. Uji Karakteristik <i>I</i> – <i>V</i> dan Efisiensi DSSC	31

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan manusia terhadap energi semakin meningkat. Sementara cadangan energi utama manusia yang berbasis fosil semakin menipis. Oleh karena itu, usaha mencari energi alternatif telah mendapat perhatian besar dari masyarakat dunia. Energi alternatif yang ditemukan diharapkan selain bisa menyelesaikan permasalahan energi secara ekonomi, juga mampu menjawab masalah lingkungan dan kesehatan seperti polusi udara dan emisi karbon dioksida (Pandey dan Samaddar, 2006; Longo & de Paoli, 2003).

Salah satu energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi yang berasal dari fosil adalah mengembangkan energi terbarukan yang berasal dari sumber energi surya, biomassa, angin dan tenaga air. Energi surya menjadi salah satu alternatif yang banyak digunakan karena sangat menjanjikan antara lain ditinjau dari segi kelimpahannya di alam, bersih, aman dan memungkinkan sebagai pembangkit energi di daerah – daerah terpencil (Mayo, 2004).

Hal tersebut sangat sesuai dengan letak geografis Indonesia yang berada di garis katulistiwa sehingga memiliki potensi energi surya yang cukup besar (Rahardjo, 2008). Dengan menggunakan teknologi *fotovoltaik*, energi surya dapat diubah secara langsung menjadi energi listrik, pirantinya sering dikenal dengan nama sel surya.

Selama ini, sel surya di dominasi oleh piranti berbasis *solid – state - p – n junction* dengan bahan baku utama umumnya silikon (Gratzel, 2003). Silikon adalah bahan semikonduktor. Dalam penggunaan sebagai sel surya, silikon sering digunakan dalam bentuk kristal tunggal dengan kemurnian tinggi. Sehingga, biaya produksi yang diperlukan sangat mahal dan hanya dapat di produksi dalam jumlah yang terbatas (Chen et al., 2007). Hal ini menjadikan penggunaan sel surya berbasis silikon menjadi terbatas dan tidak ekonomis.

commit to user

Alternatif lain dalam membuat sel surya muncul dari sistem sel surya baru, sel surya tersensitasi *dye* (*Dye Sensitized Solar Cell*, DSSC). Berbeda dengan sel surya konvensional yang membebankan tugas menyerap energi cahaya dan menangkap elektron bebas yang dihasilkan kepada bahan semikonduktor yang digunakan, DSSC membagi tugas ini. Tugas penyerapan energi cahaya khusus dilakukan oleh *dye* (zat yang sensitif menyerap cahaya tampak), sehingga *dye* mengalami sensitisasi (peningkatan level energi molekular) dan menghasilkan elektron bebas. Semikonduktor berperan dalam menangkap elektron bebas yang dihasilkan (Gratzel, 2003).

Material semikonduktor yang sering digunakan dalam DSSC adalah TiO_2 (Titanium Dioksida) dan ZnO (Zink Oksida) yang memiliki struktur mesopori, TiO_2 memiliki energi gap sebesar 3,2 eV. Material ini dipilih selain karena harganya murah, pemakaian luas, tidak beracun (Gratzel, 2003).

Performa DSSC umumnya tergantung dari jenis *dye* yang digunakan. Biasanya digunakan senyawa bahan alam yang dibuat dengan cara ekstraksi sebagai *dye*, karena senyawa bahan alam ini mempunyai absorpsi yang cukup luas, mudah disintesis dan harganya murah. Beberapa yang telah dikembangkan diantaranya adalah ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan seperti ekstrak klorofil (Sasaki et al., 2008 dalam Khoirudin, 2011), antosianin (Wongcharee, 2006 dalam Khoirudin, 2011), dan betakaroten (Gao et al., 2000 dalam Khoirudin, 2011). *Dye* bahan alam mempunyai kelemahan yaitu mudah terdegradasi sehingga tidak bisa digunakan dalam jangka waktu lama.

Telah banyak penelitian yang mengembangkan DSSC dengan menggunakan kompleks metal organik yang diberlakukan pada semikonduktor TiO_2 , karena kompleks senyawa ini memiliki absorpsi yang lebar pada semua rentang spectrum cahaya tampak dan transfer muatan antara logam dan ligan sangat efisien (Wongcharee et al., 2006). Pada umumnya kompleks yang digunakan adalah *ruthenium complex*. Walaupun menggunakan *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesis dan berharga mahal.

Pada penelitian ini mengembangkan DSSC dengan menggunakan kompleks Ni(II) yang diberlakukan pada semikonduktor TiO₂. Selain mudah disintesis dan berharga murah, Ni(II) biasanya membentuk kompleks square planar, yang khas menunjukkan bidang kristal yang kuat sehingga akan mengakibatkan peningkatan injeksi muatan pada TiO₂ (Linfoot *et al*, 2011). Ligan difenilamin merupakan ligan yang mempunyai gugus kromofor. Gugus kromofor merupakan gugus yang dapat menyerap cahaya tampak. Kompleks [Ni(difenilamin)₄(NO₃)(H₂O)](NO₃).5H₂O telah di sintesa oleh Nurdiyah (2011) dengan mencampurkan larutan logam (Ni(NO₃)₂.6H₂O) dalam methanol dan larutan ligan (difenilamin) dalam methanol dengan perbandingan mol 1:6. Kompleks tersebut mempunyai absorbansi maksimum pada panjang gelombang 396 – 724,50 nm yang merupakan spektrum sinar tampak.

B. Perumusan Masalah

1. Identifikasi Masalah

kompleks Ni (II) mempunyai serapan pada daerah 396 nm sampai 1100nm. Kompleks monoaqua-tetakis-difenilaminmononitratoNikel(II)nitrat pentahidrat, [Ni(difenilamin)₄(NO₃)(H₂O)](NO₃).5H₂O, telah disintesis oleh Nurdiyah (2011) mempunyai serapan pada daerah 396 nm sampai 728 nm. Serapan pada daerah ini tergantung ligan yang diikat, misalnya H₂O, NH₃, Difenilamin, dan lain-lain.

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya dalam menghadapi fotokorosi. Selain itu lebar pita energinya yang besar (>3 eV), dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Material semikonduktor yang dapat digunakan sebagai DSSC antara lain TiO₂, ZnO, SnO, CdSe, CdS, WO₃, Fe₂O₃, SnO₂, Nb₂O₅, dan Ta₂O₅.

Beberapa teknik deposisi pasta TiO_2 agar menghasilkan lapisan yang seragam, antara lain: *doctor-blade (slip-casting)*, *electrospinning*, *screen printing* dan *cold spraying*.

Besarnya efisiensi DSSC dapat dipengaruhi oleh jenis larutan *dye*, konsentrasi larutan *dye*, ukuran atau ketebalan lapis tipis TiO_2 , lama perendaman lapis tipis TiO_2 pada larutan *dye*.

2. Batasan Masalah

- Larutan *dye* yang digunakan sebagai DSSC adalah larutan kompleks $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{Ni}(\text{NH}_3)$, dan $\text{Ni}(\text{Difenilamin})$.
- Material semikonduktor yang digunakan sebagai DSSC adalah TiO_2 .
- Teknik yang digunakan untuk deposisi pasta TiO_2 adalah *Slip-Casting*.
- Untuk mengetahui besarnya efisiensi DSSC digunakan variasi konsentrasi larutan *dye*.

3. Rumusan Masalah

- Bagaimana pengaruh perbedaan ligan H_2O , NH_3 , Difenilamin pada larutan *dye* terhadap efisiensi DSSC?
- Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi larutan *dye* terhadap efisiensi DSSC?
- Bagaimana *life time* atau ketahanan DSSC dengan menggunakan larutan *dye* kompleks $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{Ni}(\text{NH}_3)$ dan $\text{Ni}(\text{Difenilamin})$?

C. Tujuan Penelitian

- Mengetahui pengaruh perbedaan ligan H_2O , NH_3 , dan Difenilamin pada larutan *dye* terhadap efisiensi DSSC.
- Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi larutan *dye* terhadap efisiensi DSSC.
- Mengetahui *life time* atau ketahanan DSSC dengan menggunakan larutan *dye* kompleks $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{Ni}(\text{NH}_3)$ dan $\text{Ni}(\text{Difenilamin})$

D. Manfaat Penelitian

Memberikan alternatif penanganan sel surya menggunakan kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai sensitizer sehingga dapat dikembangkan untuk energi alternatif.



BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

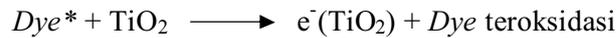
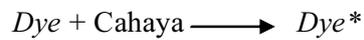
1. Sel Surya Tersensitasi *Dye* (*Dye – Sensitized Solar Cell, DSSC*)

Sel surya tersensitasi *dye* adalah sistem sel surya baru yang merupakan modifikasi dari sel surya fotoelektrokimia. Sistem baru ini menitikberatkan penggunaan *dye* (bahan celup/pewarna) sebagai sensitiser (zat peka cahaya) untuk menyerap cahaya tampak dan menginjeksikan elektron ke bahan semikonduktor TiO_2 (Smestad, 1998). Jika pada sel surya fotoelektrokimia energi cahaya yang diserap harus lebih besar daripada *band-gap* semikonduktor, maka dengan penggunaan *dye* pada DSSC ini dimungkinkan untuk menghasilkan aliran elektron dengan menyerap energi foton cahaya yang lebih kecil daripada *band-gap* semikonduktor. Peristiwa ini dinamakan sensitisasi (Pandey, 2006).

Konversi energi dari elektroda TiO_2 yang ditempeli *dye* dan dicelupkan ke dalam elektrolit pertama kali dilaporkan oleh Vlachopoulos pada tahun 1988. Pada sel surya ini, terjadi pemisahan muatan dengan efisiensi yang cukup tinggi. Namun, efisiensi sel surya secara keseluruhan masih rendah (Longo, 2003; Soga, 2006). Hal ini dikarenakan tingkat penyerapan cahaya yang rendah karena *dye* terjerap (adsorbed) pada permukaan TiO_2 yang relatif datar. Permasalahan ini diselesaikan oleh O'Regan dan Grätzel pada tahun 1991 dengan menggunakan TiO_2 yang bersifat nanopori (*mesoporous nanoparticle*). Dengan demikian, luas permukaan partikel TiO_2 secara keseluruhan menjadi lebih luas. Sehingga, *dye* yang bisa menempel menjadi lebih banyak (Soga, 2006).

DSSC terdiri dari TiO_2 nanopartikel yang dilapiskan di atas gelas konduktif yang transparan yang berfungsi sebagai elektroda kerja (*working electrode*). Cahaya matahari masuk ke dalam sel melalui sisi gelas transparan ini. Cahaya juga akan diteruskan oleh lapisan TiO_2 karena bahan ini transparan terhadap cahaya tampak. Lapisan semikonduktor ini kemudian dilapisi dengan *dye* yang akan mengabsorpsi cahaya tampak yang masuk. Akibat absorpsi ini, molekul *dye* tereksitasi (*Dye**) sehingga memungkinkan terjadinya injeksi elektron ke

semikonduktor TiO_2 . Reaksi yang terjadi ketika cahaya diabsorpsi *dye* adalah sebagai berikut (Smestad, 1998) :



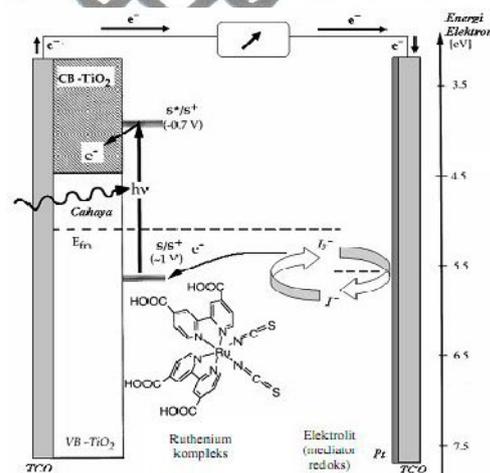
Di antara lapisan *dye* dan elektroda *counter* terdapat kopel redoks I^-/I_3^- sebagai elektrolit. Elektroda *counter* yang digunakan biasanya berupa gelas konduktif yang dilapisi oleh lapisan karbon atau platina yang berfungsi sebagai katalis reaksi redoks I^-/I_3^- . Ketika sel dihubungkan dengan beban eksternal (misalkan alat ukur), elektron yang diinjeksikan ke TiO_2 ($\text{e}^-(\text{TiO}_2)$) akan diteruskan ke beban eksternal menuju elektroda *counter* (e^- (*counterelectrode*)). Elektron yang tiba di elektroda *counter* tersebut akan mereduksi senyawa elektrolit (I_3^- menjadi I^-):



Senyawa ini akan teroksidasi kembali (I^- menjadi I_3^-) dan melepaskan elektron ketika mendapatkan *hole* dari *dye* teroksidasi:



Senyawa ini akan teroksidasi kembali (I^- menjadi I_3^-) dan melepaskan elektron ketika mendapatkan *hole* dari *Dye* teroksidasi:



Gambar 1. Diagram skematik aliran elektron yang dihasilkan DSSC ketika diiluminasi cahaya (Diambil dan dimodifikasi dari Smestad et al. 2003; Longo 2003; Li et al. 2009)

Elektron ini kemudian diinjeksikan kembali ke TiO_2 oleh *dye* ketika eksitasi kembali terjadi (Longo 2003). Diagram skematik aliran elektron pada DSSC diperlihatkan pada Gambar 1.

2. Material DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

a. Substrat

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya tempat muatan mengalir. Material yang umumnya digunakan yaitu *Fluorine – doped Tin Oxide* (Sn:F atau FTO) dan *Indium Tin Oxide* (ITO) hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400 °C dan kedua materi tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami *defect* pada range temperatur tersebut.

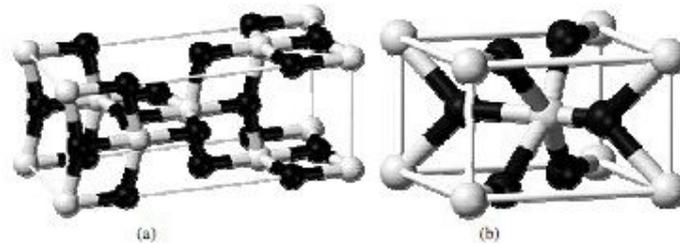
b. Titanium Dioxide (TiO_2)

TiO_2 merupakan bahan semikonduktor yang bersifat inert, stabil terhadap fotokorosi dan korosi oleh bahan kimia (Hoffman, 1995). TiO_2 merupakan padatan berwarna putih, mengalami dekomposisi (penguraian) pada suhu 1640 °C sebelum meleleh, kerapatan (*density*) sebesar 4,26 g/cm³, dan larut dalam asam sulfat pekat. TiO_2 sangat stabil pada temperatur tinggi dan bereaksi lambat, tidak menyerap cahaya tampak namun dapat menyerap sinar UV, sifatnya yang anorganik menjadikannya tidak cepat rusak, serta memiliki luas muka yang luas karena strukturnya yang berbentuk serbuk (Wibowo, 2006).

Lapisan TiO_2 memiliki energi gap (*band-gap*) yang tinggi (3,2 eV) dan memiliki transmisi optic yang baik. Penggunaan TiO_2 diantaranya untuk manufaktur elemen optic. Selain itu TiO_2 berpotensi pada aplikasi divais elektronik seperti DSSC, sensor gas, dan lain-lain (Marchand, 2004).

TiO_2 mempunyai kemampuan untuk menyerap *dye* lebih banyak karena didalamnya terdapat rongga dan ukurannya dalam nano, sehingga disebut nanoporous. Struktur TiO_2 memiliki tiga bentuk, yaitu rutil, anatase, dan brokit.

Rutile dan anatase cukup stabil, sedangkan brookite sulit ditemukan, biasanya brookite terdapat didalam mineral dan sulit untuk dimurnikan (Soleh, 2002).



Gambar 2. Struktur anatase (a) dan rutile (b) (Soleh, 2002)

c. *Dye Sensitizer*

Serapan spektra TiO_2 perlu ditingkatkan di daerah cahaya tampak, dengan menambah lapisan zat warna/*sensitizer*, hal ini disebabkan TiO_2 hanya dapat menyerap sinar ultra violet pada range antara 350 – 380 nm. *Sensitizer* yang digunakan dapat berupa *dye* organik dan kompleks metal organik, yang diberlakukan pada semikonduktor TiO_2 . *Dye* yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis *ruthenium complex*. Walaupun DSSC menggunakan *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan *ruthenium complex* komersil berharga mahal.

3. Senyawa Kompleks Nikel

Suatu senyawa kompleks akan terbentuk bila terjadi ikatan koordinasi antara atom atau ion logam dengan beberapa molekul netral atau ion donor electron. Atom atau ion logam berfungsi sebagai ion pusat sedangkan molekul netral atau ion donor electron berfungsi sebagai gugus pengeliling atau yang lebih dikenal dengan ligan (Day et, al., 1985 dalam Nurdiyah, 2011). Atom pusat biasanya ion – ion logam transisi yang berfungsi sebagai penerima pasangan electron bebas dari ligan. Kemampuan suatu ion logam untuk berikatan dengan sejumlah ligan dinyatakan oleh bilangan koordinasinya. Ligan yang dapat menyumbangkan lebih dari satu pasang electron (mempunyai lebih dari satu atom donor) disebut ligan polidentat (Cotton et, al., 1988 dalam Nurdiyah, 2011).

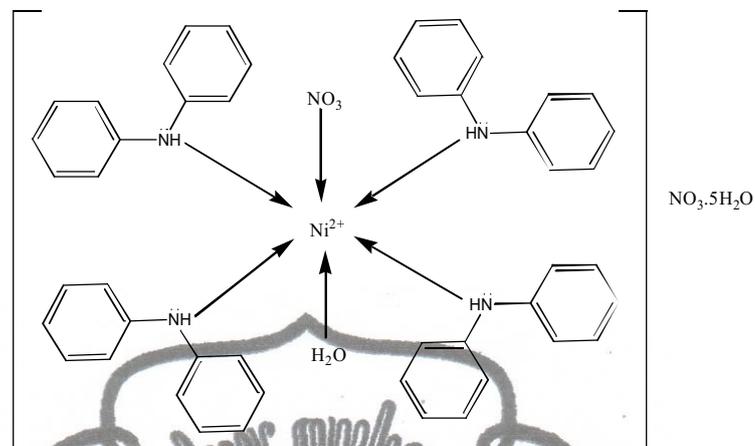
Nikel merupakan salah satu logam transisi deret pertama yang terletak pada periode empat dan golongan VIII B, memiliki nomor atom 28 dan massa atom 58,71 g/mol (Huheey and Keiter, 1993). Nikel dalam keadaan nikel(II) lebih stabil daripada nikel(0), nikel(I), nikel(III) dan nikel(IV). Nikel(0) dan nikel(I) tidak stabil karena mudah teroksidasi, nikel(III) mudah tereduksi menjadi nikel(II) dan nikel(IV) jarang ditemukan (Cotton et al., 1998). Bentuk kompleks nikel(II) yang paling umum adalah oktahedral dan bujur sangkar (*square planar*) (Lee, 1994).

Linfoot *et al* (2011) telah melakukan penelitian tentang sel surya tersensitasi *dye* (*Dye – Sensitized Solar Cell, DSSC*) menggunakan kompleks Ni(II). Kompleks yang digunakan antara lain [Ni(dcbpy)(qdt)] (1), [Ni(decby)(qdt)] (2), dan [Ni(decby)Cl₂] (3) (dimana dcbpy = 4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridine; decby = 4,4'-di(CO₂Et)-2,2'-bipyridine; dan qdt = quinoxaline-2,20dithiolate). Kompleks yang efektif digunakan untuk DSSC adalah kompleks 2 dimana menghasilkan arus 0,293 mA dan voltase 521 mV.

Kushwana dan Bahadur (2010) juga telah melakukan penelitian karakterisasi kompleks Ni(II)-xylenol sebagai fotosensitizer menggunakan elektroda semikonduktor ZnO. Voltase yang dihasilkan sebesar 0,506 V dan arus yang dihasilkan sebesar 1,68 mA.

Telah digunakan Nikel(II) oksida sebagai *dye sensitizer* untuk aplikasi sel surya (Nattestad, 2008). Densitas arus yang dihasilkan sebesar 2,13 mA cm⁻².

Telah disintesis kompleks Ni(II) dengan ligan difenilamin seperti yang ditunjukkan pada gambar 10, kompleks yang dihasilkan bergeometri oktahedral dengan atom N pada NO₃⁻, dan atom O dari air yang terkoordinasi pada Ni(II) (Nurdiyah, 2011) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Kemungkinan Struktur senyawa kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Nurdiyah, 2011)

Kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ mempunyai spektrum elektronik antara 396 nm sampai 728 nm dengan warna kristal hijau muda.

4. Analisis

a. Spektra UV – Vis

Pada spektrofotometer UV, sinar kontinyu dihasilkan oleh lampu awan muatan hydrogen atau deuterium (D_2), sedangkan sinar *visible* dihasilkan oleh lampu Wolfram. Panjang gelombang UV-Vis jauh lebih pendek daripada panjang gelombang radiasi IR. Panjang gelombang UV-Vis berada pada kisaran 180-800 nm.

Prinsip dasar spektroskopi UV-Vis adalah terjadinya transisi elektronik yang disebabkan penyerapan sinar UV-Vis yang mampu mengeksitasi electron dari orbital yang kosong. Umumnya, transisi yang paling mungkin adalah transisi pada tingkat tertinggi (HOMO) ke orbital molekul yang kosong pada tingkat terendah (LUMO). Pada sebagian besar molekul, orbital molekul terisi pada tingkat energi terendah adalah orbital σ yang berhubungan dengan ikatan σ , sedangkan orbital π berada pada tingkat energi yang lebih tinggi. Orbital non ikatan (n) yang mengandung elektron-elektron yang belum berpasangan berada

pada tingkat energi yang lebih tinggi lagi, sedangkan orbital-orbital anti ikatan yang kosong yaitu σ^* dan π^* menempati tingkat energi yang tertinggi.

Absorpsi cahaya UV-Vis mengakibatkan transisi elektronik, yaitu eksitasi elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan transisi berenergi lebih tinggi. Transisi ini memerlukan 40-300 kkal/mol. Panjang gelombang cahaya UV-Vis bergantung pada mudahnya promosi elektron. Molekul-molekul yang memerlukan lebih banyak energi untuk promosi elektron akan menyerap pada panjang gelombang yang lebih pendek. Molekul yang memerlukan energi yang lebih sedikit akan menyerap pada panjang gelombang yang lebih panjang. Senyawa yang menyerap cahaya pada daerah tampak (yaitu senyawa yang berwarna) mempunyai elektron yang lebih mudah dipromosikan daripada senyawa yang menyerap pada panjang gelombang UV yang lebih pendek.

Terdapat dua jenis pergeseran pada spektra UV-Vis, yaitu pergeseran ke panjang gelombang yang lebih besar disebut pergeseran merah (*red shift*), yaitu menuju tingkat energi lebih rendah, dan pergeseran ke panjang gelombang yang lebih pendek disebut pergeseran biru (*blue shift*), yaitu menuju ke tingkat energi yang lebih tinggi (Hendayana, 1994).

Intensitas penyerapan dijelaskan dengan hukum Lambert-Beer, dimana fraksi cahaya yang diabsorpsi tidak tergantung pada kekuatan sumber cahaya mula-mula dan fraksi yang diabsorpsi tergantung pada banyaknya mol (ketebalan/konsentrasi) yang dapat mengabsorpsi. Oleh karena itu absorpsi cahaya merupakan fungsi dari molekul yang mengabsorpsi, maka cara yang tepat untuk menyatakan absorbansi adalah:

$$A = \epsilon b C \dots\dots\dots(2)$$

- Dimana: ϵ : absorpsivitas molar ($\text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1} \text{L}$)
 b: tebal lintasan (cm)
 C: konsentrasi larutan (mol L^{-1})

Dengan menggunakan metode kurva kalibrasi, yaitu dengan membuat grafik absorbansi versus konsentrasi dapat diperoleh suatu kurva linier. Melalui

pengukuran absorbansi suatu sampel dan menginterpolasikannya ke kurva kalibrasi, maka konsentrasi sampel dapat ditentukan (Underwood dan Day, 1981).

b. Karakterisasi Spektrum Serapan

Jika radiasi elektromagnetik melalui suatu materi dan pada materi tersebut terjadi serapan selektif maka pada materi tersebut akan terjadi penyerapan komponen radiasi pada panjang gelombang yang berbeda sesuai spektra sinar dan dalam jumlah yang berbeda pula. Perubahan tingkat serapan sebagai fungsi dari panjang gelombang tersebut sebagai spektrum serapan. Spektrum serapan merupakan karakteristik kualitas suatu bahan, tingkat serapan suatu cahaya pada panjang gelombang tertentu dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu sampel. Dasar penentuan kualitatif metode spektrofotometri adalah hukum Beer:

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l \cdot (1 - \exp(-\epsilon \cdot c \cdot l))$$

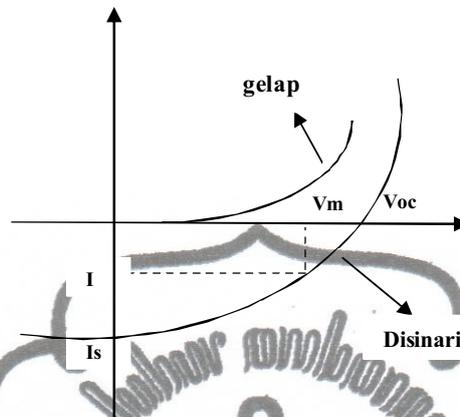
Sehingga diperoleh :

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l$$

A adalah absorbansi sampel, I_0 adalah intensitas tanpa serapan. I adalah intensitas cahaya yang keluar lewat sampel. l adalah ketebalan lapisan larutan sampel (cm), ϵ adalah koefisien serapan molekul dan c adalah konsentrasi (molaritas).

c. Karakteristik Arus – Tegangan Sel Surya

Karakteristik sel surya ditentukan oleh beberapa faktor antara lain efisiensi sel surya (η) dan stabilitas dari sel surya tersebut. Efisiensi sel surya merupakan aspek yang menjadi perhatian utama dalam sel surya. Hal ini dapat ditunjukkan melalui kuantitas arus dan tegangan. Kurva karakterisasi arus-tegangan saat gelap dan disinari cahaya ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Kurva karakteristik arus-tegangan saat gelap dan disinari cahaya.

Hubungan arus dan tegangan sel surya p-n dalam semikonduktor dalam keadaan tanpa cahaya, sama dengan karakteristik arus-tegangan sebuah dioda ideal, dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$I = I_0 (e^{\frac{V}{nV_T}} - 1)$$

Pada saat sel surya terkena cahaya, maka akan dihasilkan arus foto yang terjadi karena pembangkitan elektron oleh cahaya dengan energi tertentu. Sehingga persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right) - I_{ph}$$

I_{ph} adalah arus foto, I_0 adalah arus saturasi pada kesetimbangan, V adalah tegangan bias dan n adalah faktor dioda karena adanya penyimpangan dari dioda ideal.

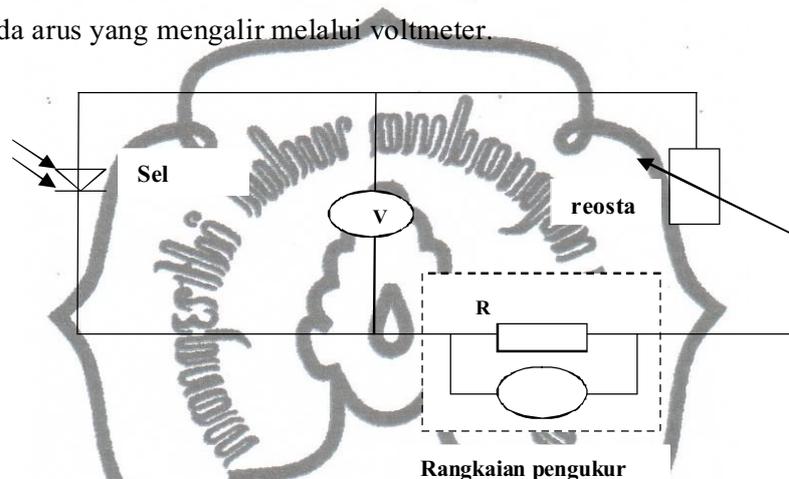
Tegangan yang diukur pada rangkaian terbuka, (*open circuit*) ketika $I=0$, disebut tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), yaitu :

$$V_{oc} = \frac{h\nu}{q}$$

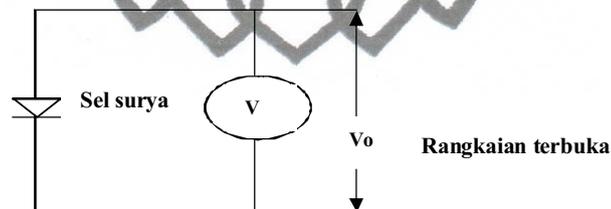
sedangkan pada rangkaian pendek (*short circuit*), ketika $V = 0$, sehingga diperoleh $I_{ph}=I_{sc}$, dengan I_{sc} merupakan arus pada rangkaian pendek (*short*

circuit current). Rangkaian pengukuran karakterisasi arus tegangan sel surya ditunjukkan pada Gambar 5.

Tegangan terbuka (V_{oc}) terjadi ketika reostat berada pada posisi maksimum, sehingga tidak ada arus yang mengalir melalui reostat ($I = 0$). Untuk pengukuran tegangan terbuka Gambar 5 (a) seolah menjadi Gambar 5 (b). Arus rangkaian pendek terjadi ketika reostat berada pada posisi minimum sehingga tidak ada arus yang mengalir melalui voltmeter.



Gambar 5a. Rangkaian pengukuran karakterisasi arus-tegangan sel surya.



Gambar 5b. Rangkaian pengukuran tegangan pada rangkaian terbuka [V_{oc}].

Sel surya ketika dioperasikan bisa memiliki daya maksimum. Ketika daya maksimum ini tercapai, nilai arus dan tegangan yang bersesuaian secara berturut dinyatakan sebagai arus maksimum, I_m dan tegangan maksimum, V_m . Letak I_m maupun V_m diperlihatkan pada gambar 4. Dari nilai I_m maupun V_m ini didefinisikan *fill factor* sebagai perbandingan antara perkalian I_m dan V_m dengan perkalian V_{oc} dan I_{sc} sebagai berikut:

commit to user

Efisiensi sel surya adalah salah satu parameter performansi sel surya yang memberikan gambaran seberapa besar energi listrik yang bisa dihasilkan dibandingkan dengan energi foton yang diterima. Efisiensi sel surya (η) dinyatakan oleh persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{sc} V_{oc}}{P_{in}}$$

B. Kerangka Berfikir

Indikasi terbentuknya kompleks Ni(II) dengan difenilamin ditunjukkan oleh adanya pergeseran panjang gelombang maksimum di daerah ultraviolet dan sinar tampak. Atom donor elektron bagian ligan yang terkoordinasi pada ion pusat diperkirakan dari pergeseran serapan gugus fungsi infra merah.

Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul dye akibat absorpsi photon. Elektron tereksitasi dari ground state (D) ke excited state (D*). Elektron dari excited state kemudian langsung terinjeksi menuju pita konduksi titania sehingga molekul dye teroksidasi (D⁺). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I) maka molekul dye kembali ke keadaan awalnya (ground state) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi.

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) sehingga dapat ditentukan efisiensi konversi energi sel surya.

C. Hipotesis

1. Kompleks Ni(II) dengan ligan Difenilamin mempunyai efisiensi DSSC lebih besar daripada kompleks Ni(II) dengan ligan NH₃ dan H₂O.
2. Semakin besar konsentrasi larutan dye maka semakin besar efisiensi DSSC.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen secara kualitatif dan kuantitatif. Penelitian tersebut adalah DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) dengan kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai *dye sensitizer*.

Analisa kuantitatif yang dilakukan dengan menggunakan spektrometer UV-Vis untuk mengetahui sifat kompleks *dye* yang digunakan. Selain itu dilakukan pengujian karakteristik I-V untuk mengetahui efisiensi dari DSSC tersebut.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Sintesis dan karakterisasi absorbansi kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilakukan di Laboratorium Pusat FMIPA UNS. Pembuatan lapis tipis TiO_2 , pengujian I - V dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA UNS. Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2012 sampai Desember 2012.

C. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *UV – Visible Spectrometer lambda 25*,
- b. *Two point probe elkahfi 100*,
- c. *Hot Plate IKA[®] C – MAG HS - 7*,
- d. Timbangan Digital Metter Toledo AL204,
- e. *Vortex Stirrer IKA[®] C – MAG HS - 7*,
- f. *Solar Power Meter Test 1333R*,
- g. *Ultrasonic cleaner*,
- h. Lampu OHP,
- i. Kaca *Flourine doped Tin Oxide (FTO)*,

commit to user

- j. Kertas saring merk *whatman* no.42,
- k. Gelas beker 20 ml,
- l. *Hair Dryer*,
- m. Gelas Ukur 10 ml,
- n. Pengaduk magnetik,
- o. Botol kaca 5 ml,
- p. Lempeng tembaga 5 cm X 1 cm,
- q. Multimeter,
- r. Cawan krus 75 ml,
- s. Corong penyaring,
- t. Alumunium foil,
- u. Pipet tetes,
- v. Pisau,
- w. Kaca preparat,
- x. Penjepit kertas,
- y. Tissue.

2. Bahan

- a. Bubuk TiO_2 jenis rutil,
- b. Larutan elektrolit dengan PEG,
- c. *Keyboard protector*,
- d. Akuades,
- e. Methanol absolute (Merck),
- f. $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,
- g. Difenilamin

D. Prosedur Penelitian

1. Sintesis Kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mengacu penelitian Nurdiyah, 2011)

Kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dibuat dengan cara menambahkan larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,582 g, 2 mmol) dalam larutan methanol (10 ml) ke dalam larutan difenilamin (2,031 g; 12 mmol dalam larutan methanol (20 ml) lalu diaduk konstan selama ± 3 jam. Larutan kemudian dipekatkan sampai volume ± 10 ml dan dibiarkan selama ± 48 jam hingga terbentuk endapan hijau muda. Endapan ini kemudian direkrystalisasi dengan methanol, dicuci dengan methanol dan didiamkan pada suhu kamar.

2. Sintesis kompleks $\text{Ni}(\text{NH}_3)$

Kompleks $\text{Ni}(\text{NH}_3)$ dibuat dengan cara menambahkan 22,5 ml NH_3 15 M dan 15 ml aquadest dalam 15 gram $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ lalu diaduk sampai larut. Larutan kemudian ditambah 22,5 ml etanol. Larutan didiamkan ± 24 jam hingga terbentuk endapan berwarna biru tua. Setelah itu larutan didekantir, dan filtrat hasil dekantir dipekatkan sampai volume ± 10 ml dan didiamkan selama ± 24 jam atau sampai terbentuk Kristal lagi. Kristal yang dihasilkan kemudian dicuci dengan etanol dan dikeringkan dalam desikator.

3. Pengukuran Spektrum Elektronik

Kompleks $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{Ni}(\text{NH}_3)$ dan $\text{Ni}(\text{Difenilamin})$ dilarutkan dalam methanol dengan konsentrasi 10^{-2} M sampai 10^{-4} M, kemudian diukur spectrum elektroniknya dengan spektrofotometer *UV - Vis*. Pengukuran spectrum elektronik dilakukan pada daerah 350 nm – 800 nm. Serapan diamati pada absorbansi yang sesuai dengan panjang gelombang maksimum *UV - Vis*.

4. Pembuatan Pasta TiO_2

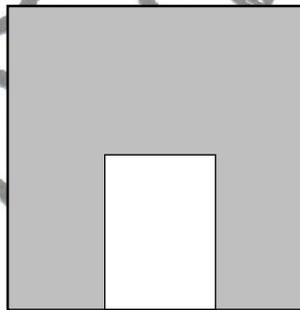
- a. Bubuk TiO_2 3,5 gram ditetesi 15 ml ethanol sambil diaduk menggunakan stirrer magnetic selama ± 30 menit hingga larutan larut, kemudian di larutkan menggunakan *sonicator* supaya larutan homogen.

commit to user

- b. Larutan diaduk kembali menggunakan stirrer magnetic hingga larutan homogen dan sedikit mengental.

5. Preparasi Deposisi Lapis Tipis TiO₂

- a. Kaca FTO sebelum ditetesi larutan TiO₂ dicari bagian yang bersifat konduktif, kemudian masing-masing diberi pembatas dengan selotip (ketebalan selotip 50µm), panjang sisi 1,0 X 2,0 cm membentuk persegi. Dengan ilustrasi gambar seperti Gambar 3.1.
- b. Pasta TiO₂ ditetaskan di atas kaca FTO, kemudian dilakukan *slip casting* dengan menggunakan mortar/penggilingan yang berupa spatula.
- c. Setelah kering selotip dilepas dari kaca FTO.
- d. Kaca FTO yang telah dilapisi larutan TiO₂ tersebut dipanaskan dengan proses dehidolisis pada suhu 450 °C selama 10 menit. Kemudian kaca FTO yang telah dilapisi TiO₂ didiamkan hingga dingin.



Gambar 6. Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta TiO₂

6. Preparasi Larutan Elektrolit

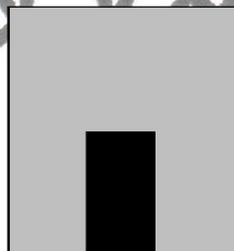
Potassium iodide (KI) sebanyak 0,8 gram (0,5 M) dicampur ke dalam 10 ml polyethylene glycol kemudian diaduk, selanjutnya ke dalam larutan tersebut ditambahkan Iodine (I₂) sebanyak 0,127 gram (0,05 M). larutan elektrolit yang sudah jadi, disimpan dalam botol tertutup.

7. Pembuatan Pasta Carbon

- a. Bubuk carbon 3,5 gram ditetesi 15 ml isopropanol sambil diaduk menggunakan stirrer magnetic selama ± 30 menit hingga larutan larut, kemudian disonokasi menggunakan *sonicator* supaya larutan homogen.
- b. Larutan diaduk kembali menggunakan stirrer magnetic hingga larutan homogen dan sedikit mengental

8. Preparasi Deposisi Lapis Tipis Carbon

- a. Kaca FTO sebelum ditetesi larutan carbon dicari bagian yang bersifat konduktif, kemudian masing-masing diberi pembatas dengan selotip (ketebalan selotip $50 \mu\text{m}$), panjang sisi $1,0 \times 2,0$ cm membentuk persegi panjang. Dengan ilustrasi gambar 3.2.
- b. Pasta carbon ditetaskan di atas kaca FTO, kemudian dilakukan *slip casting* dengan menggunakan mortar/penggilingan yang berupa spatula.
- c. Setelah kering selotip dilepas dari kaca FTO.
- d. Kaca FTO yang telah dilapisi larutan TiO_2 tersebut dipanaskan dengan proses dehidrolisis pada suhu 180°C selama 10 menit. Kemudian kaca FTO yang telah dilapisi TiO_2 didiamkan hingga dingin.



Gambar 7. Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta Carbon

9. Fabrikasi DSSC

Lapisan tipis TiO_2 yang telah dibuat di rendam dalam larutan kompleks $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{Ni}(\text{NH}_3)$ dan NI (Difenilamin) (*dye*) dengan dilakukan variasi konsentrasi *dye* yaitu 10^{-1} , 2×10^{-1} , 3×10^{-1} , 4×10^{-1} , 5×10^{-1} M. Perendaman ke dalam larutan kompleks dilakukan selama ± 24 jam. Sampel yang sudah selesai di rendam dibersihkan dengan ethanol kemudian dikeringkan. Setelah itu larutan elektrolit ditetaskan di atas lapisan tipis TiO_2 yang telah di rendam dalam larutan

commit to user

dye. Kemudian lapisan tipis TiO_2 tersebut di tutup dengan elektroda counter lapisan karbon. Untuk kontak dengan DSSC dibuat dengan menggunakan penjepit buaya pada tepi lawan dan elektroda kerja.

10. Uji Karakteristik $I - V$ dan Efisiensi DSSC

Pada karakterisasi arus tegangan, sel surya dihubungkan dengan voltmeter, amperemeter, dan reostart atau potensiometer. Sebuah sumber cahaya ditempatkan sehingga cahaya mengenai seluruh permukaan sel surya. Posisi reostart atau potensiometer mula – mula pada nilai maksimum, kemudian diturunkan perlahan – lahan hingga nilainya maksimum. Nilai pembacaan pada masing – masing alat ukur dicatat pada setiap perubahan resistensi. Dari pengukuran ini diperoleh hubungan arus – tegangan sehingga dapat ditentukan efisiensi konversi energi Sel Surya. Untuk mengetahui ketahanan dari DSSC dilakukan dengan cara pengukuran karakteristik I-V secara berkala selama 7 hari.

E. Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Senyawa kompleks diperoleh dengan cara sintesis, setelah itu dilakukan karakterisasi. Indikasi terbentuknya kompleks Ni(II) dengan difenilamin ditunjukkan dengan adanya pergeseran panjang gelombang maksimum spektra UV-Vis .

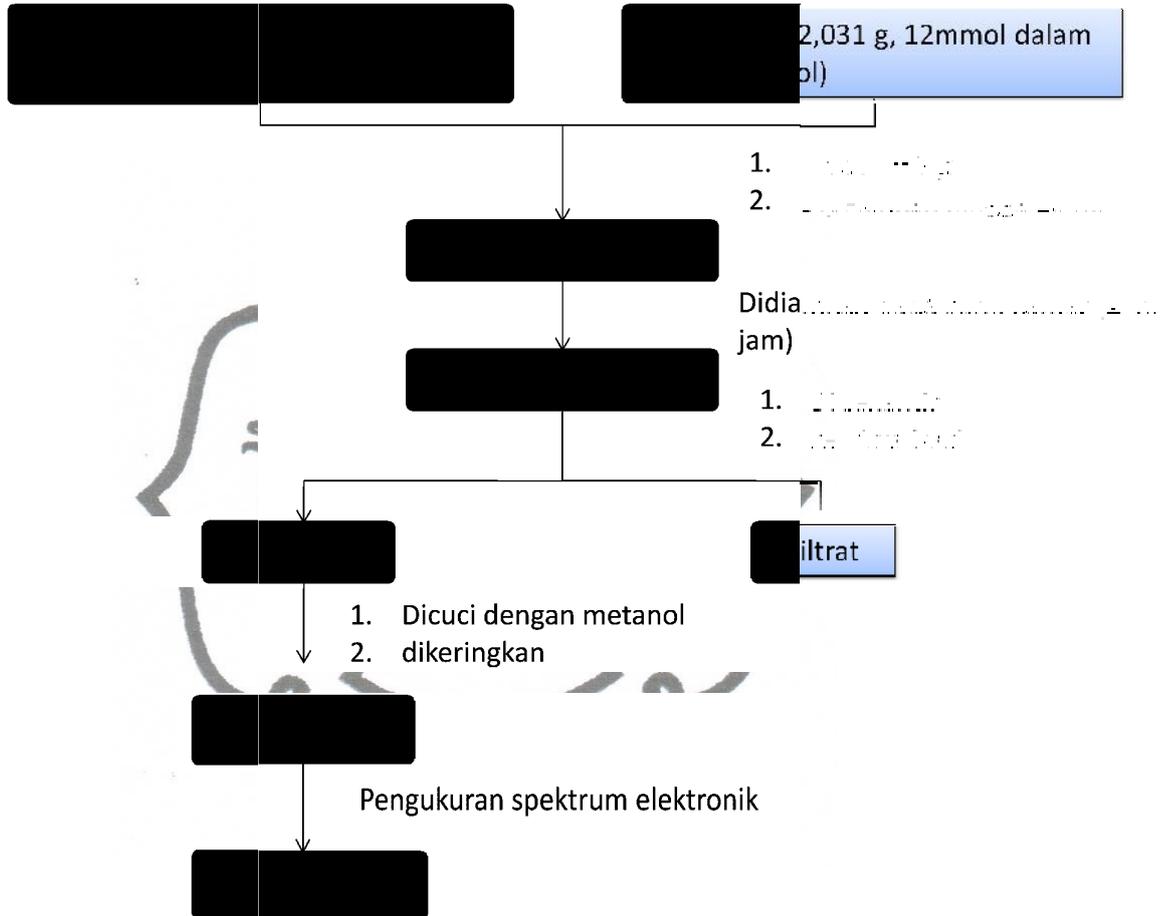
Deposisi pasta TiO_2 dilakukan dengan metode *slip casting*. Kemudian dilakukan perangkaian dan pengukuran karakteristik sel surya. Pada pengukuran karakterisasi arus tegangan diperoleh hubungan arus tegangan sehingga dapat ditentukan efisiensi konversi energi sel surya.

DAFTAR PUSTAKA

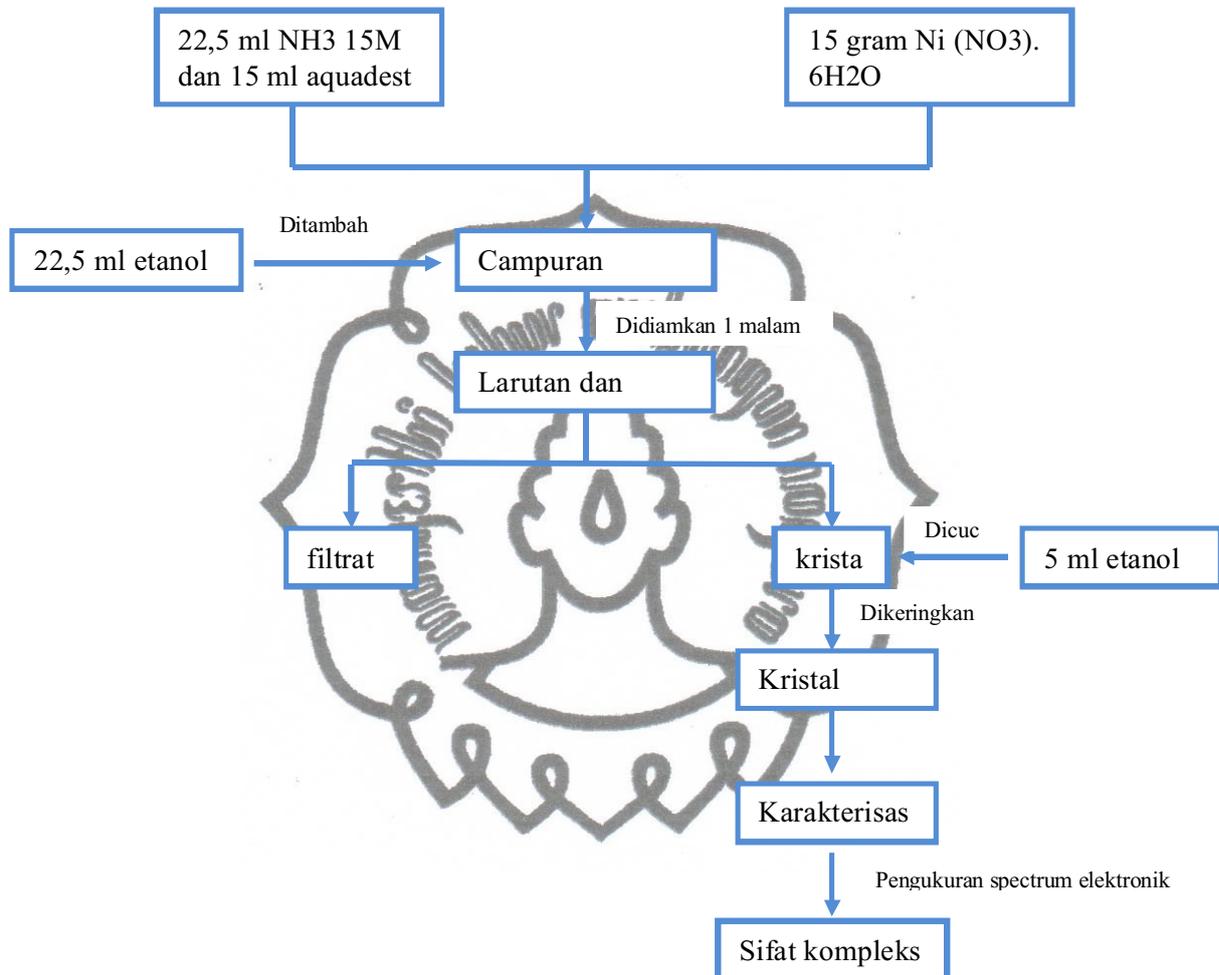
- Chen YS, Lee JN, Tsai SY, Ting CC. 2007. Manufacture of dye-Sensitized Nano Solar Cells and their I-V Curve Measurements. Di dalam: *Proceedings of ICAM 2007*. Tainan-Taiwan. 26-28 Nov 2007
- Cotton, F.A., and G.Wilkinson. 1998. *Advance Inorganic Chemistry*. Fifth edition. John Willei and Sons Inc.New York.
- Day, M.C., and J. Selbin. 1985. *Theoretical Inorganic chemistry*. Second edition. East-West Press. New Delhi.
- Grätzel M. 2003. Review dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry*. Reviews; 4: 145–153.
- Hoffman, M.R. 1995. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalis. *Chemistry review*; 95: 69-96
- Khoiruddin. 2011. Ekstrak Beta Karoten Wortel (Daucus Carota) Sebagai Dye Sensitizer Pada DSSC. Jurusan Fisika UNS. Surakarta.
- Kushwana, Suman, Lal Bahadur. 2010. Characterization of Synthetic Ni(II)-Xylenol Complex as a Photosensitizer for Wide-Band Gap ZnO Semiconductor Electrodes. *International Journal of Photoenergy*
- Lee, J.D. 1994. *Concise Inorganic Chemistry*. Fourth edition. Chapman and Hall. London.
- Li D, Qin D, Deng M, Luo Y, Meng Q. 2009. Optimization the solid-state electrolytes for dye-sensitized solar cells. *Energy Environ Sci*; 2: 283–291
- Linfoot, Charlotte L., Patricia Richardson, Keri L. McCall, James R. Durrant, Ana Modandeire, Neil Robertson. 2011. A nickel-complex Sensitiser For Dye-Sensitised Solar Cells. *Solar Energy*. Vol 85. 1195-1203.
- Longo C, Paoli MA De. 2003. Dye-sensitized solar cells: a successful combination of materials. *J Braz Chem Soc*; 14(6): 889-901.
- Marchand, C. 2004. Characterization of TiO₂ Thin Films and Multylayer Antireflective Coating. *Applications Scientist*.
- Nattestad, Andrew, Michael Ferguson, Robert Kerr, Yi-Bing Cheng, Udo Bach. 2008. Dye-sensitized nickel(II)oxide photocathodes for tandem solar cell applications. *Nanotechnology*
- Nugrahawati, Dewi. 2011. Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Mawar Merah (Rosa Damascena Mill) Sebagai Pewarna Alami Berbasis Antosianin. Jurusan Fisika UNS. Surakarta.
- Nurdiyah, Fita. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Nikel (II) dengan Difenilamin. Jurusan Kimia UNS. Surakarta.
- Pandey A, Samaddar AB. 2006. Dye sensitized photo voltaic devices: an answer to the daunting challenge of future energy crisis. *Advances in Energy Research*: 497-502.
- Smestad GP. 1998. Education and solar conversion: demonstrating electron transfer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*; 55: 157-178.
- Soga T. 2006. Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion. Elsevier BV: Amsterdam

LAMPIRAN

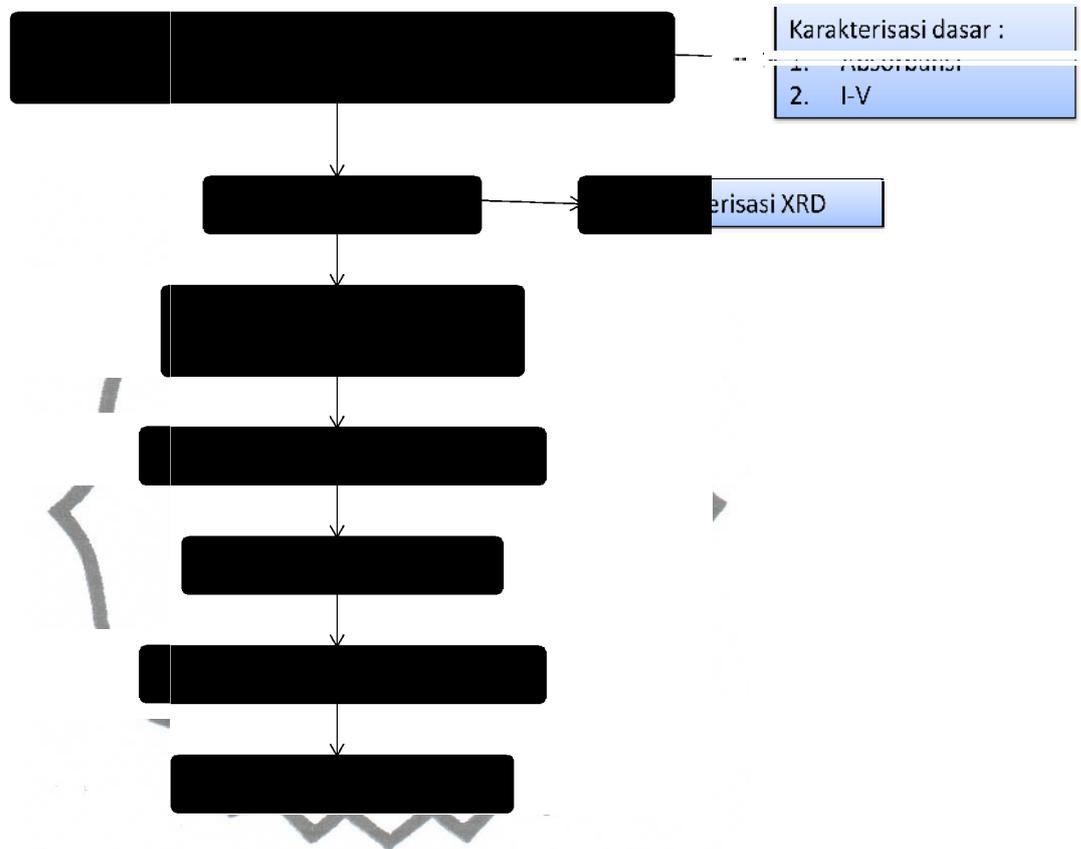
1. Sintesis Kompleks $[\text{Ni}(\text{difenilamin})_4(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})](\text{NO}_3)\cdot 5\text{H}_2\text{O}$



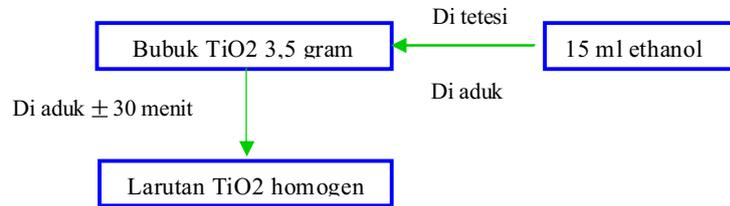
2. Pembuatan kompleks $\text{Ni}(\text{NH}_3)_4 \text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$



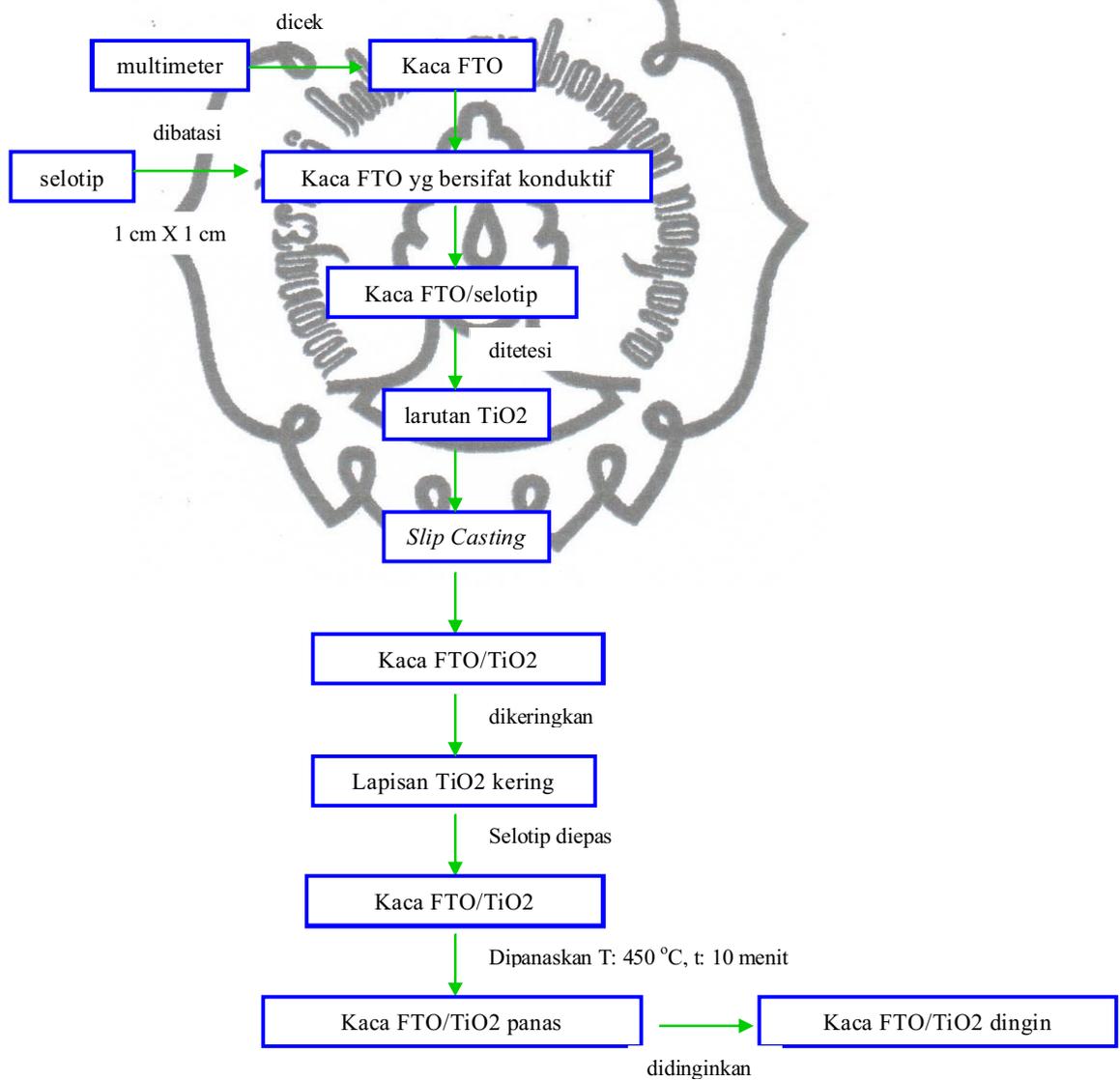
3. Proses DSSC



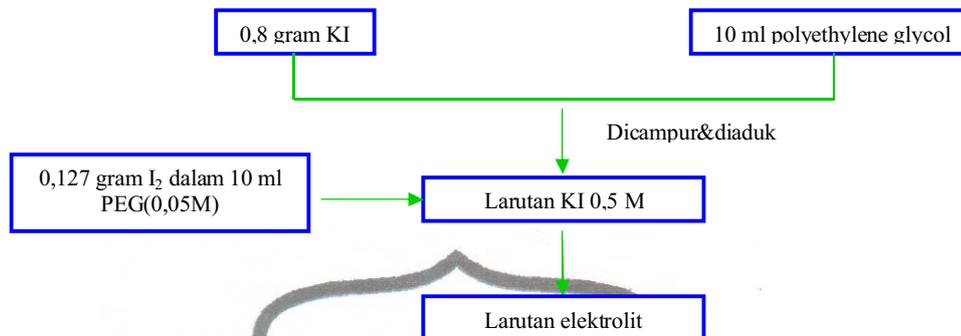
4. Pembuatan Pasta TiO₂



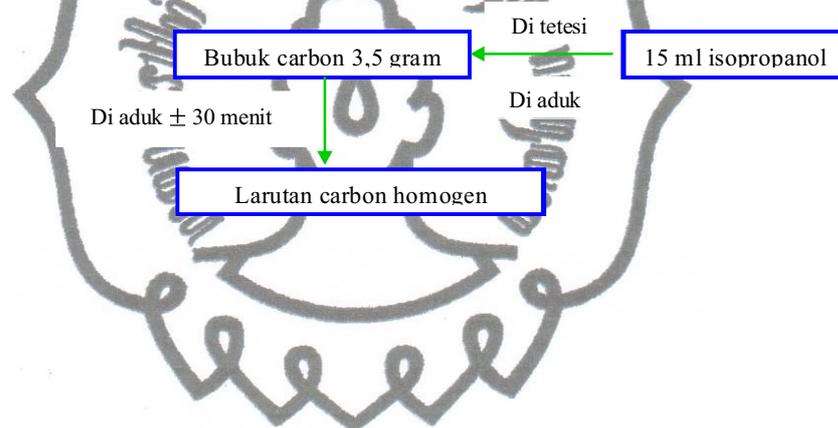
5. Preparasi Deposisi Lapis Tipis TiO₂



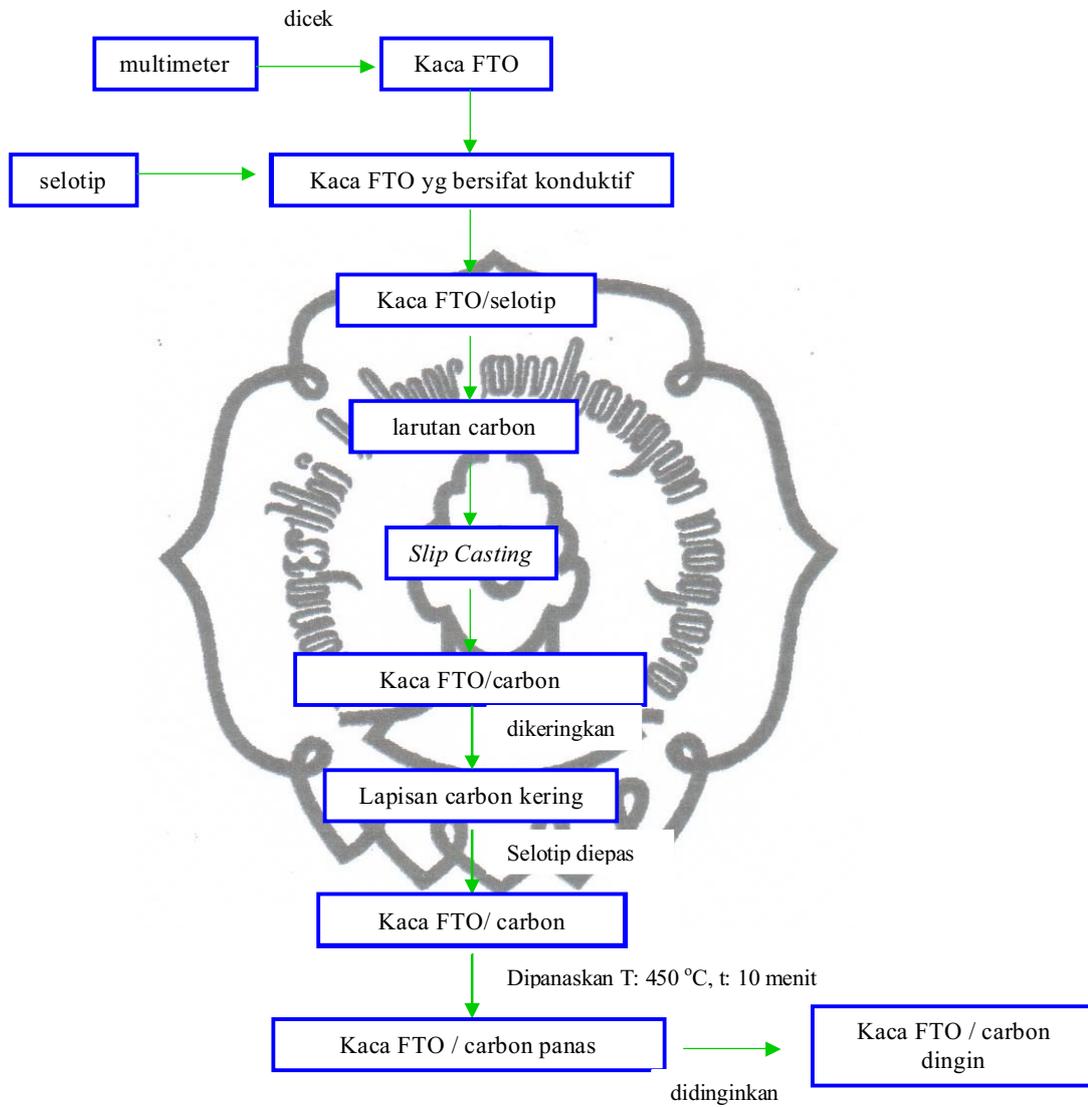
6. Preparasi elektrolit



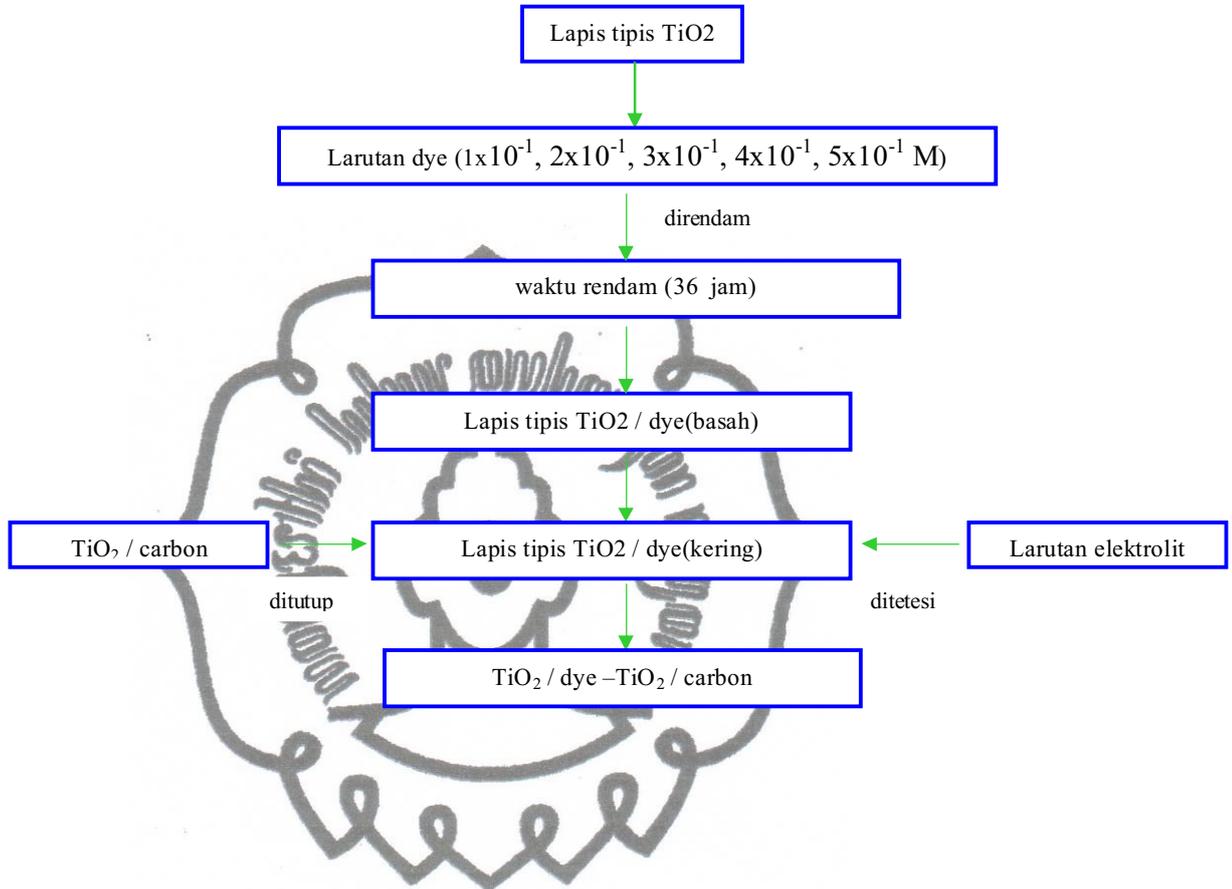
7. Pembuatan pasta carbon



8. Preparasi deposisi lapisan tipis carbon



9. Fabrikasi DSSC



10. Uji Karakteristik I – V dan Efisiensi DSSC

