

TUGAS AKHIR

“ANALISA PERBANDINGAN SISTEM DYE SENSITIVE SOLAR CELL(DSSC) PADA KAWASAN PANTAI DAN PERKOTAAN”

*Diajukan Guna Melengkapi Tugas –tugas dan Sebagai Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

ARI PRATAMA

1407220014



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

“ANALISA PERBANDINGAN SISTEM DYE SENSITIVE SOLAR CELL
(DSSC) PADA KAWASAN PANTAI DAN PERKOTAAN”

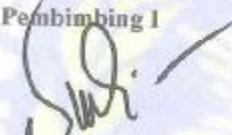
*Diajukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat-syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Telah Diuji dan Disahkan Pada Tanggal
15 Oktober 2018

Oleh :

ARI PRATAMA
1407220014

Pembimbing I


(Noorly Nadina, S.T., M.T.)

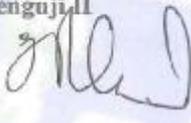
Pembimbing II


(Partaon Harahap S.T., M.T.)

Penguji I


(M. Adam, S.T., M.T.)

Penguji II


(Ir. Zul Asri)

Diketahui dan Disahkan
Ketua Prodi Teknik Elektro


(Faisal Ihsan Pasaribu S.T., M.T.)

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ari Pratama
NIM : 1407220014
Fakultas : Teknik
Jurusan / Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya aku sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Medan, Oktober 2018

Yang membuat pernyataan,


METERAI
TEMPEL
79AAAAFFB42913386
6000
RUPIAH
Ari Pratama



LEMBARAN ASISTENSI

Nama : Ari Pratama
NPM : 1407220014
Asistensi : Dosen Pembimbing I
Judul : ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM DYE SENSITIVE SOLAR CELL (DSSC) PADA KAWASAN PANTAI DAN PERKOTAAN

No	Tanggal	Uraian	Paraf
		Acc Judul	[Signature]
		Revisi nama naskah, typos, copy mauli kutipan	[Signature]
		Revisi Kajian teori	[Signature]
		Partisi Metodologi Penelitian, taktik ke bab diagram, skematik diagram, Prinsip	[Signature]
		Revisi kealokan penulisan, revisi BAB III	[Signature]
		Revisi Bab IV	[Signature]
		Simulasi lengkap dgn typos	[Signature]
	12/9 - 2018	Acc Seminar	[Signature]

Dosen Pembimbing I

12/9-18
[Signature]
(Noorly Evalina, S.T, M.T)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Kampus Utama Umsu, Jln. Kapt.MucktarBasri no.3 Medan 20238, Telp (061) 661059

LEMBARAN ASISTENSI

Nama : Ari Pratama

NPM : 1407220014

Asistensi : Dosen Pembimbing II

Judul : ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM DYE

**SENSITIVE SOLAR CELL (DSSC) PADA KAWASAN PANTAI DAN
PERKOTAAN**

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1	12/6/2018	Perbincangan bab I	
2	18/6/2018	Lampiran BAB II Tinjauan teoretik	
3	27/7/2018	Perbincangan BAB III Lampiran Bab ke	
4	4/7/2018	laporan pengantar lampiran BAB III	
5	7/8/2018	laporan pengantar akhir	
6	16/8/2018	Bimbingan perbandingan I	
7	5/9/2018	terakhir analisis data	
8	13/9/2018	ACE seminar	

Dosen Pembimbing II

(Partaonan Harahap ST.MT)

ABSTRAK

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) sebagai alat pembanding antara kondisi dipantai dan diperkotaan. Perbandingan ini dilakukan pada waktu yang sama. Dari perbandingan tersebut memiliki perbedaan tegangan keluaran sebesar 40 mV. Hal tersebut diakibatkan tingkat intensitas radiasi matahari yang diserap oleh DSSC pada kawasan pantai lebih besar dibandingkan kawasan perkotaan yang memiliki tingkat penyerapan yang rendah. Dan arus yang dihasilkan DSSC memiliki perbandingan yang sangat jauh berbeda pada waktu 12.00-12.10 WIB dan 12.20-12.30 WIB. Pada waktu 12.00-12.10 WIB arus yang dihasilkan DSSC pada kawasan pantai sebesar 20.6 mA, sedangkan pada kawasan perkotaan sebesar 18.37 mA.

Kata kunci : *Dye-sensitized solar cell* (DSSC), perbandingan tegangan keluaran, perbandingan arus, kawasan pantai, kawasan perkotaan

ABSTRACT

Dye-sensitized solar cell (DSSC) is a photoelectrochemical-based solar cell. Dye-sensitized solar cell (DSSC) as a comparison tool between the condition of the beach and the city. This comparison is done at the same time. From this comparison has a difference in output voltage of 40 mV. This is due to the level of solar radiation intensity absorbed by DSSC in the coastal area is greater than urban areas that have a low absorption rate. And the current generated by DSSC has a very different ratio at 12.00-12.10 WIB and 12.20-12.30 WIB. At 12.00-12.10 WIB the current generated by DSSC in the coastal area was 20.6 mA, while in urban areas it was 18.37 mA.

Keywords: *Dye-sensitized solar cell (DSSC), comparison of output voltage, comparison of current, beach area, city area*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr.wb

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “*Analisis Perbandingan Sistem Dye-Sensitized Solar Cell Pada Kawasan Pantai Dan Perkotaan*”.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Srg, ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Partaonan Harahap, ST, MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II.
5. Ibu Noorly Evalina ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Zul Arsyil Siregar. Selaku Dosen Pembimbing I.

7. Bapak Muhammad Adam, S.T, M.T. Selaku Dosen Pembanding II.
8. Abangda Yoga Tri Nugraha, S.T. Selaku yang memberikan ide-ide dan saran dalam penelitian dan penulisan tugas akhir.
9. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2014 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alakum wr.wb

Medan, September 2018
Penulis,

ARI PRATAMA
NPM : 1407220014

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
1.6 Metodologi Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	7
2.2 Landasan Teori.....	10
2.3 Pembuatan Dye Sensitive Solar Cell (DSSC)	15
2.4 Fabrikasi dan pengujian Dye Sensitive Solar Cell (DSSC)	15
2.5 Desain pada Dye Sensitive Solar Cell (DSSC)	15
2.6 Prinsip Kerja Dye Sensitive Solar Cell (DSSC).....	18
2.7 Material Dye Sensitive Solar Cell (DSSC)	19
2.7.1 Semi Konduktor TiO ₂	19
2.7.2 Elektrolit	24
2.7.3 Counter Elektrode	26
2.7.4 FTO (Flourine Depod Tin Oxide).....	27
2.7.5 X-Ray Diffraction (XRD).....	28
2.7.6 Scanning Electron Microscope (SEM).....	29
2.8 Prepasi Komponen-Komponen DSSC	29
2.8.1 Perakitan Dye Sensitive Solar Cell (DSSC)	31
2.8.2 Karakteristik Bubuk TiO ₂ dan Larutan Zat Warna	32
2.8.3 Pengujian Arus Listrik	32

2.9 Karakteristik Semikonduktor	32
2.10 Kaca ITO	33
2.10.1 Konduktivitas ITO	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1 Lokasi Penelitian	38
3.2 Variabel Penelitian.....	38
3.3 Jalannya Penelitian	38
3.4 Perlengkapan yang digunakan dalam penelitian	39
3.4.1 Perangkat Lunak	39
3.4.2 Perangkat keras	39
3.5 Rancangan <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) dengan Autocad 2007.....	40
3.6 <i>Flowchart</i> Analisa Data Penelitian.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Hasil Perbandingan Pengukuran Tegangan (V) <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).....	49
4.2 Hasil Perbandingan Perhitungan Arus (I) <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Typical konfigurasi sebuah DSSC	16
Gambar 2.2	Ilustrasi skema prinsip operasi DSSC	18
Gambar 2.3	Pita-pita sebuah semikonduktor.....	20
Gambar 2.4	Struktur kristal TiO ₂ anatase	22
Gambar 2.5	Struktur kristal TiO ₂ ruile	22
Gambar 2.6	Posisi pita energi berbagai macam semikonduktor	24
Gambar 2.7	Pergerakan elektron dalam DSSC	25
Gambar 2.8	Pemakaian ITO pada produk teknologi (searah jarum jam) LCD, <i>Dye-sensitized Solar Cell</i> (DSSC), LCD, dan sel surya organik/polime.....	35
Gambar 2.9	Struktur kristal <i>bixbyite</i> (kiri) dan <i>unit cell</i> dari struktur yang Sama (kanan).....	35
Gambar 3.1	Tampilan awal Autocad 2007.....	40
Gambar 3.2	Halaman kerja Autocad 2007.....	40
Gambar 3.3	Tampilan persegi panjang sebagai kaca <i>indium tin dioxide</i> (ITO).....	41
Gambar 3.4	Tampilan kursor petunjuk membuat circle (lingkaran) sebagai ion <i>dye</i> dan	41
Gambar 3.5	Tampilan membuat circle (lingkaran) sebagai ion <i>dye</i> dan TiO ₂	42
Gambar 3.6	Tampilan circle dan dibatasi dengan persegi panjang sebagai kaca <i>indiumtindioxide</i>	42
Gambar 3.7	Membuat petunjuk untuk mengetahui nama objek yang dibuat.....	43
Gambar 3.8	Tampilan petunjuk objek yang	43
Gambar 3.9	Tampilan membuat text.....	44
Gambar 3.10	Tampilan untuk membuat warna pada kaca <i>indium tin dioxide</i> (ITO) serta ion <i>dye</i> dan	44
Gambar 3.11	Tampilan kaca <i>indium tin dioxide</i> serta ion <i>dye</i> dan TiO ₂ yang telah diberi warn.....	45

Gambar 3.12	Tampilan untuk membuat ukuran pada kaca <i>indium tin Dioxide</i> (ITO).....	45
Gambar 3.13	Tampilan mengedit ukuran pada kaca <i>indium tin Dioxide</i> (ITO).....	46
Gambar 3.14	Tampilan prototype <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) dengan menggunakan autocad 2.....	46
Gambar 3.15	Prototype <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) tampak samping.....	47
Gambar 3.16	Prototype <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) tampak atas.....	47
Gambar 3.17	Diagram alir analisa data penelitian.....	48
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai.....	50
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Waktu Di Kawasan Perkotaan.....	52
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai Dan Perkotaan.....	52
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Arus Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai..	55
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Arus Terhadap Waktu Di Kawasan Perkotaan.....	58
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Arus Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai Dan Kawasan Perkotaan.....	58

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1	Beberapa propesi dari tipe material ITO dan FTO	17
Tabel 2.2	Perbandingan sifat TiO ₂ untuk fase kristal rutile dan anatase	23
Tabel 4.1	Hasil pengukuran (R,V) pada <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) di kawasan pantai	49
Tabel 4.2	Hasil pengukuran (R,V) pada <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) di kawasan perkotaan	51
Tabel 4.3	Data Hasil Penelitian <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) di kawasan pantai	53
Tabel 4.4	Hasil perhitungan arus pada <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) di kawasan pantai	54
Tabel 4.5	Data Hasil Penelitian <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) di kawasan perkotaan	56
Tabel 4.6	Hasil perhitungan arus pada <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) di kawasan perkotaan.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi didunia dari tahun ke tahun mengalami penurunan, sedangkan permintaan untuk ketersediaan energi tersebut mengalami kenaikan, maka timbul permasalahan yang menyebabkan krisis energi didunia. Salah satu energi yang dibutuhkan manusia adalah energi listrik, namun ketersediaan energi ini tidak tercukupi dengan suplai bahan bakar pembangkit energi listrik yaitu bahan bakar fosil atau energi fosil. Ketersediaan bahan bakar fosil didunia setiap tahun mengalami kenaikan, sehingga memaksakan kita untuk mencari bahan bakar atau energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Salah satu energi alternatifnya adalah pemanfaatan cahaya (radiasi) matahari sebagai sumber energi listrik dengan teknologi yang bekerja dengan prinsip mengkonversi langsung energi matahari menjadi energi listrik [1].

Energi matahari merupakan energi yang sedang giat dikembangkan saat ini, karena cahaya matahari yang sampai ke bumi ada yang diabsorb oleh atmosfer dan ada yang direfleksikan kembali. Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk dijadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun. Sel surya merupakan alat yang mampu merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya yang digunakan adalah *Dye-sensitized solar cell* (DSSC).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. DSSC muncul seiring dengan perkembangan nanoteknologi

yang beberapa tahun ke depan akan menjadi sangat penting bagi kehidupan manusia. Sel surya ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan dikenal sebagai Gratzel Cells. Efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi sel surya silikon yang dapat mencapai 17-25%. Namun demikian pembuatan sel surya silikon masih tidak ramah lingkungan dan proses perakitannya yang tidak sederhana menjadi suatu kendala. Di samping itu, sel surya konvensional jenis silikon ini memiliki keterbatasan suplai bahan baku silikonnya. Ini dapat dipahami karena harga silikon meningkat seiring dengan permintaan industri semikonduktor. Pada DSSC terjadi proses absorpsi cahaya oleh molekul zat warna, Molekul zat warna yang menyerap cahaya matahari tersebut akan mengalami eksitasi elektron. Elektron yang tereksitasi tersebut langsung terinjeksi menuju semikonduktor nanokristal anorganik yang mempunyai *band-gap* yang lebar. Salah satu semikonduktor anorganik yang mempunyai *band-gap* lebar serta sering digunakan adalah Titanium dioksida (TiO₂). Hal ini dikarenakan TiO₂ relatif mudah, inert, dan juga tidak beracun, sehingga lebih aman digunakan dalam aplikasinya [2].

Berdasarkan hal tersebut diatas, penulis berkeinginan membuat penelitian tesis tentang “*Analisis Perbandingan Sistem Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Pada Kawasan Pantai Dan Kawasan Perkotaan*” dan melakukan penelitian mengenai tegangan keluaran yang dihasilkan dari DSSC yang diukur dengan menggunakan multimeter digital setiap 10 menit.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan tegangan keluaran yang dihasilkan dari DSSC pada kawasan pantai dan kawasan perkotaan ?
2. Bagaimana perbandingan arus yang dihasilkan dari DSSC pada kawasan pantai dan kawasan perkotaan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dapat diambil dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui perbandingan tegangan keluaran yang dihasilkan dari DSSC pada kawasan pantai dan kawasan perkotaan.
2. Menganalisa perbandingan arus yang dihasilkan dari DSSC pada kawasan pantai dan kawasan perkotaan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi Universitas dan Mahasiswa. Adapun manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bagi Universitas
 - a. Mempererat kerjasama antara sebagai referensi penelitian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang perbandingan sistem *dye sensitive solar cell* (DSSC) pada kawasan pantai dan kota.

2. Bagi Mahasiswa

- a. Sel surya yang dihasilkan dari penelitian ini bisa menjadi alat praktik bagi Mahasiswa yang lebih mudah dan murah untuk memahami hasil kerjanya.
- b. Pada penelitian ini nantinya akan ditemukan sebuah metode untuk meningkatkan arus dan tegangan sebuah sistem pembangkit yang menggunakan pewarna dengan bahan-bahan alami yang menandung zatantosianin.

1.5 Batasan Masalah

Pada penulisan Tugas Akhir ini penulis menganalisa perbandingan DSSC pada kawasan pantai dan perkotaan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Mengukur tegangan keluaran (V)
2. Menghitung arus (I)
3. Tidak membahas tentang perancangan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literature

Meliputi studi definisi *Dye Sensitized Solar Cell* .

2. Data Riset

Meliputi hasil pengukuran *Dye Sensitized Solar Cell* pada kawasan pantai dan perkotaan

3. Pengolahan Data dan Analisa

Perhitungan besar perbandingan tegangan arus yang dihasilkan oleh *Dye Sensitized Solar Cell* pada kawasan pantai dan perkotaan.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini diuraikan mengenai latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTKA

Dalam bab ini di uraikan mengenai Tinjauan Pustaka, yang berisikan tentang konversi energi pada Dyesensitized solar cell (DSSC).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini di uraikan mengenai lokasi dan waktu penelitian skema peneletian, proses pembuatan DSSC.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Dalam bab ini di memaparkan dan menganalisis data-data yang didapatkan dari hasil pengujian.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini di uraikan mengenai kesimpulan akhir penelitian dan saran-saran penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Energi matahari merupakan energi yang sedang giat dikembangkan saat ini, karena cahaya matahari yang sampai ke bumi ada yang diabsorb oleh atmosfer dan ada yang direfleksikan kembali. Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk dijadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun. Sel surya merupakan alat yang mampu merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya yang digunakan adalah *Dye-sensitized solar cell* (DSSC).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. DSSC muncul seiring dengan perkembangan nanoteknologi yang beberapa tahun ke depan akan menjadi sangat penting bagi kehidupan manusia. Sel surya ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan dikenal sebagai Gratzel Cells. Efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi sel surya silikon yang dapat mencapai 17-25% [2].

Beberapa penelitian tentang *Dye-Sensitized Solar Cell* yang telah dilakukan yaitu :

1. *Dye-Sensitized Solar cell* (DSSC) merupakan seperangkat sel surya yang berbasis fotoelektrokimia, yang melibatkan transfer muatan listrik dari suatu fasa ke fasa lain. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dye-

sensitized solar cell dan mengetahui nilai konversi energi surya menjadi energi listrik serta nilai efisiensi yang dihasilkannya. Hasil karakterisasi dengan XRD pada serbuk TiO₂ menunjukkan puncak difraksi yang tinggi dan tajam dengan struktur kristal anatase dan rutil serta ukuran kristal sekitar 20 nm. Karakterisasi substrat kaca yang telah dilapisi TiO₂ menggunakan SEM dan EDX dimana dengan alat SEM terlihat bahwa TiO₂ dipermukaan kaca lebih merata serta dari EDAX diperoleh bahwa zat yang dominan terdapat pada permukaan kaca adalah Ti. Pada karakterisasi absorpsi cahaya UV-VIS diketahui bahwa antosianin dapat menyerap spectrum cahaya pada panjang gelombang sekitar 530 nm. Selain itu ketika sel surya disinari dengan cahaya matahari, sel surya dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Tegangan, arus listrik dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya dengan zat warna antosianin untuk masing-masing sumber zat warna adalah beras ketan hitam 937 mV, 468 μ A dan 0,405%, daun bayam 349,8 mV, 87 μ A dan 0,304%; bunga rosella 393,2 mV, 109 μ A dan 0,30%; buah naga 606 mV, 396 μ A dan 0,24% serta ubi jalar ungu 521 mV, 75 μ A dan 0,11% [2].

2. *Dye sensitized solar cell* (DSSC) adalah sel surya generasi ketiga sebagai alternatif dalam pembuatan sel surya murah dengan potensi kinerja yang tinggi. DSSC memiliki struktur *sandwich* yang tersusun dari material organik *dye* (zat warna) dan beberapa komponen lain yaitu semikonduktor oksida, elektrolit dan substrat (*counter elektroda* dan *elektroda kerja*). Substrat terbuat dari kaca konduktif (TCO) yang biasanya menggunakan kaca jenis *Indium in Oxide* (ITO) atau *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO).

Dalam pembuatan DSSC pada penelitian ini digunakan substrat ITO yang diperoleh dari lapisan *capacitive touchscreen* dengan menggunakan *dye* (zat warna) dari klorofil *nannochloropsis sp.* yang diekstrak dengan pelarut aseton. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh ketebalan lapisan pasta TiO₂ terhadap kinerja DSSC dengan *Capacitive touchscreen* sebagai substrat dan ekstrak *nannochloropsis sp.* sebagai *dye sensitizer*. Penelitian ini membuat DSSC dengan 3 variasi ketebalan pasta TiO₂ (DSSC 1: 0.36 mm, DSSC 2: 0.45 mm, dan DSSC 3: 0.54 mm). Absorbansi larutan *dye* di uji dengan spektrofotometri UV-Vis. Untuk pengujian DSSC dilakukan dalam 2 tahap. Tahap pertama adalah pengujian pada 5 variasi pencahayaan (2000 lux, 4000 lux, 6000 lux, 8000 lux, 10000 lux) untuk mengetahui respon terhadap cahaya. Tahap kedua merupakan pengujian pada 8 variasi hambatan (1 K Ω , 5 K Ω , 10 K Ω , 20 K Ω , 40 K Ω , 60 K Ω , 80 K Ω , 100 K Ω) untuk mengetahui efisiensi DSSC. Pengujian dilakukan dengan cahaya dari lampu CFL *daylight* 15 W. Kinerja terbaik diperoleh oleh DSSC 1 dengan rata-rata kenaikan tegangan dan arus saat penambahan pencahayaan 2000 lux sebesar 37 mV dan 40×10^{-4} mA serta nilai efisiensi 0.8596% [3].

3. *Dye* alami dari buah lemon , telah dipreparasi dalam larutan etanol sebagai sensitiser pada *dye sensitized solar cells* (DSSC). *Dye* campuran dipreparasi dengan perbandingan volume 1 : 1 juga diteliti sebagai sensitiser pada DSSC. Metoda *doctor blade* dipakai untuk menumbuhkan lapisan tipis TiO₂. Karakterisasi spektrofotometer UV-Vis dilakukan pada larutan *dye* untuk mengamati panjang gelombang yang diserap *dye* dan menghitung

energy gap dye. Dari perhitungan diperoleh energi gap dye 1,387- 1,777 eV. Sedangkan dari karakterisasi arus tegangan (I-V), diperoleh efisiensi terbesar dye tunggal 0,056% dari dye kunyit dan efisiensi terbesar dye campuran 0,207% dari dye campuran *black rice* dan kunyit. Penggunaan dye campuran dapat meningkatkan performa dan efisiensi DSSC secara signifikan [4].

2.2 Landasan Teori

Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sumber energi yang sangat besar namun sering kali terabaikan adalah sinar matahari. Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. Sedangkan suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 3×10^{24} joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi tersebut setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0.1 % saja permukaan bumi dengan perangkat solar sel yang memiliki efisiensi 10 % sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia. [5]

Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian yang bertahap untuk menemukan teknologi yang tepat guna memanfaatkan energi matahari yang melimpah di muka bumi ini. Salah satunya adalah penggunaan sel surya yang konvensional digunakan secara komersial oleh banyak negara-negara maju dan berkembang. Hal ini dikhususkan untuk memenuhi kebutuhan energi yang kurang mampu tersuplai oleh sumber daya yang telah ada, seperti contohnya minyak bumi, batubara, dan lain sebagainya. [5]

Pengembangan sel surya ini pun sudah memasuki tahap yang signifikan yaitu dengan munculnya generasi-generasi baru dari teknologi sel surya ini, mulai dari sel surya silikon sampai pada sel surya tingkat lanjut dengan contohnya yaitu *Dye Sensitized Solar Cell*. *Dye Sensitized Solar Cell* atau yang sering disingkat dengan DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses melibatkan material silikon itu sendiri, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye*, dan separasi muatan oleh norganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai band gap lebar. Penggunaan semikonduktor dengan band gap lebar akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi, karena dengan band gap yang lebar tersebut akan membuat ruang reaksi fotokatalis dan absorpsi oleh *dye* akan menjadi lebih banyak atau dengan kata lain spektrum absorpsi menjadi lebar. Salah satu semikonduktor ber-bandgap lebar yang sering digunakan yaitu *Titanium Dioxide* (TiO₂). TiO₂ mempunyai selisih *band gap* lebar yaitu sebesar 3,2 eV (energi celah) dengan rentang -1,2 eV – 2,0 eV. TiO₂ juga sering digunakan karena inert, tidak berbahaya, dan semikonduktor yang murah, selain memiliki karakteristik optik yang baik. Namun untuk aplikasinya dalam DSSC, TiO₂ harus memiliki permukaan yang luas sehingga *dye* yang teradsorpsi lebih banyak yang hasilnya akan meningkatkan arus. Selain itu penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar. [5]

Dye sensitized solar cell (DSSC) atau biasa disebut Grätzel-solar cell adalah jenis sel surya photoelectrochemical yang menggunakan pewarna (dye) untuk mentransfer sinar matahari ke energi listrik. Sel Grätzel ditemukan pada tahun 1988 oleh para ilmuwan Brian O'Reagan dan Michael Grätzel. Namun, versi efisiensi DSSC pertama kali diproduksi pada tahun 1991 di University of Lausanne.

DSSC adalah sel surya berbiaya rendah dan oleh karena itu, memiliki banyak keuntungan yang berbanding terbalik dengan sel surya lainnya. Fitur ini dan efisiensinya dari sel surya ini, membuatnya menarik. Pertama-tama, sel surya mudah diproduksi. Mereka diproduksi dengan menggunakan teknik cetak mencetak konvensional yang berbeda dengan pencetakan. Selain itu, materialnya semi transparan dan semi fleksibel memungkinkannya disesuaikan dengan dimensi.

DSSC pertama kali tidak terlalu efisien, hanya memiliki efisiensi yang sangat rendah. Pada tahun 1995 DSSC eksperimental pertama kali hanya menggunakan sinar biru dan sinar cahaya dari spektrum cahaya untuk mengubah energi. Beberapa tahun kemudian, pada tahun 1999, spektrum cahaya efektif yang dapat digunakan ditingkatkan untuk membaca dan meningkatkan gelombang infra merah. Namun, sel tidak mampu mengatasi intensitas cahaya yang tinggi. Untuk mengatasi masalah ini, pewarna (dye) baru diperkenalkan agar dapat mempertahankan suhu lebih baik dan ini juga meningkatkan efisiensi sel surya, misalnya 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrocyanoborate (EMIB(CND)₄). Pewarna (dye) yang membuktikan beberapa kemajuan adalah DSSC TiO₂. DSSC ini memiliki efisiensi lebih dari 10%. Sel surya ini menggunakan partikel TiO₂

untuk memasang molekul pewarna (dye). Cahaya kemudian diserap oleh pewarna (dye) dan menggunakan elektron di TiO_2 untuk menuju elektroda. [6]

Pada tahun 2004, para ilmuwan dari University of California menghadirkan sejenis sel surya yang berbasis pada nanowire seng oksida. Ini menghasilkan peningkatan transport elektron yang bertentangan dengan film nanopartikel dan juga memiliki efisiensi sekitar 10%. Pada saat ini, penelitian tentang DSSC terutama memperbaiki absorbansi cahaya dengan memodifikasi pewarna (dye) sedemikian rupa sehingga pengangkutan lubang ditingkatkan dan dengan penggantian elektrolit cair dengan polimer atau padatan ionik dan menggunakan struktur inti-shell alternatif atau bahan semiconductor.

Konstruksi DSSC sangat mudah sehingga bahkan ada yang melakukannya sendiri untuk membangun DSSC di rumah. Sel yang dirancang oleh O'Regan dan Grätzel hanya terdiri dari tiga bagian. Bagian atas adalah anoda timah dioksida transparan, diletakkan di atas piring kaca. Di sisi lain piring ini adalah lapisan tipis titanium dioksida yang terikat oleh sintering. Lapisan ini hanya menyerap foton UV dari spektrum. Plat ditempatkan dalam pewarna (dye) rutenium-polipiridin fotosensitif dengan pelarut. Lapisan pewarna (dye) kemudian menempel pada lapisan TiO_2 . Pelat lain dibangun dengan lapisan elektrolit iodida pada logam konduktif. Akhirnya, plat saling menempel. [6]

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) bekerja berdasarkan *photo-electrochemical*, di mana proses absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan proses pemisahan muatan oleh bahan inorganik semikonduktor yaitu TiO_2 . Teknologi konversi energi surya generasi ketiga yang murah dan andal menjadi salah satu topik hangat dalam perkembangan sel surya lapisan tipis. Salah satu

bentuk sel surya lapisan tipis adalah sel surya berwarna tersensitisasi (SSPT) atau lebih jamak disebut dye-sensitized solar cell.

DSSC terdiri dari fotoanoda yang terbuat dari semikonduktor tipe-n (umumnya TiO_2 dan ZnO), molekul pewarna (S), elektrolit (I_3^-/I^-) dan elektroda pembanding (Pt). Berbeda dengan sel surya berbasis Si, pemisahan muatan pada DSSC terjadi pada banyak antarmuka. Arus listrik pada DSSC dihasilkan dari injeksi elektron ($\text{S}^*|\text{TiO}_2 \rightarrow \text{S}-|\text{TiO}_2 + e_{\text{CB}}(\text{TiO}_2)$) setelah fotoeksitasi elektron molekul pewarna oleh radiasi cahaya ($\text{S} + h\nu \rightarrow \text{S}^*$). Molekul pewarna yang tereduksi karena kehilangan elektron kemudian diregenerasi dengan penangkapan elektron oleh senyawa penerima dalam elektrolit ($\text{S}-|\text{TiO}_2 + \text{I}_3^- \rightarrow \text{S}|\text{TiO}_2 + 3\text{I}^-$). [7]

Potensial pita konduksi lebih tinggi dibandingkan TiO_2 sehingga dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar, mobilitas elektron yang sangat cepat sehingga berpotensi mengurangi faktor rekombinasi, serta memiliki struktur dan morfologi yang dapat diubah-ubah menyesuaikan kondisi sintesis. Selain itu pemanfaatan bahan pewarna organik juga mulai dikembangkan cukup masif dikarenakan molekul pewarna kompleks Pewarna kompleks berbasis Ruthenium dikategorikan sebagai bahan anorganik yang tidak ramah lingkungan serta membutuhkan biaya sintesis yang mahal. Oleh karena itu, penelitian tentang bahan pewarna organik baik sintetis ataupun ekstraksi bahan alam menjadi alternatif untuk menguji unjuk kerja DS Gugus hidroksil (OH) atau karboksil ($-\text{COOH}$) pada senyawa organik, seperti antosianin dan karotenoid serta derivatifnya, dapat berikatan kovalen dengan Zn^{2+} atau Ti^{4+} sehingga sangat prospektif sebagai molekul sensitisasi pada DSSC. Adapun karakterisasi sifat

optik dan komposisi ekstrak air perasan jeruk lemon dikarakterisasi dengan mengukur spektrum serapan (absorbansi) infra merah, absorbansi dan emisi UV/Vis. Sifat elektrokimia ekstrak jeruk dianalisis dari hasil pengukuran cyclic voltammogram serta efisiensi DSSC diukur dengan menganalisis kurva arus-tegangan dan daya-tegangan dengan iluminasi simulator surya (100 mWcm^{-2}). [6]

Namun demikian, terdapat mekanisme rekombinasi (intersepsi elektron) yang mungkin terjadi antara elektron pada pita konduksi dengan senyawa I_3^- dalam elektrolit sehingga mengurangi nilai arus foto yang dihasilkan DSSC. Dalam perkembangan DSSC, terdapat ruang improvisasi untuk memperoleh efisiensi yang lebih tinggi diantaranya perancangan semikonduktor, struktur molekul pewarna, pasangan reduksi-oksidasi elektrolit, dan material elektroda pembanding.

2.3 Pembuatan Dye Sensitive Solar Cell

Solar Cell tipe dye sensitive ini dapat dibuat dengan 3 komponen inti yaitu lapisan tipis sirkuit yang digunakan besarnya dari kaca TCO. Kaca TCO merupakan kaca yang sering ada pada monitor dan TV LCD. Zaman sekarang menemukan material ini adalah perkara yang mudah dan tentu saja harga material ini terjangkau. *Semiconductor* yang digunakan adalah nano TiO_2 . Nah, material inilah yang memiliki harga paling mahal, tetapi jangan kuatir.

Material *semiconductor* ini dilapisi pada kaca TCO dengan cara di semprot (spray). Komponen utama yang terakhir adalah zat warna. Zat warna bisa kita ambil dari ekstra buah lemon, daun, bunga sepatu, anggur, atau apapun yang

berwarna yang bisa kita dapat dengan murah. Zat warna inilah yang akan berguna sebagai photosensitizer. [8]

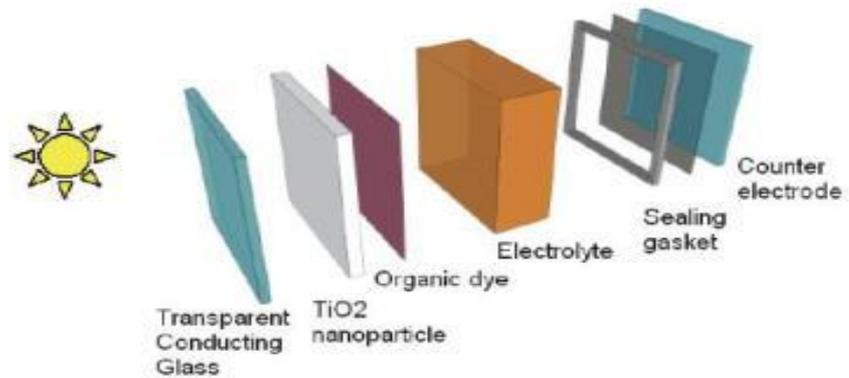
2.4 Fabrikasi dan Pengujian Dye Sensitive Solar Cell (DSSC)

DSSC difabrikasi dengan struktur berlapis (sandwich), Pasta ZnO dengan pelarut ethanol dan DEG dideposisikan pada substrat FTO (F-doped tin oxide) dengan luas aktif 20 mm² menggunakan metode doctor-blade serta kemudian dianil pada temperatur 450°C selama 1 jam untuk mendapatkan elektroda ZnO. Pada tahapan sensitisasi, elektroda ZnO dipanaskan pada temperatur 80°C kemudian direndam dalam larutan ekstrak air perasan jeruk lemon dengan pelarut etanol selama 24 jam. Elektroda ZnO yang telah direndam kemudian diangkat dan dibersihkan dengan etanol untuk menghilangkan ekstrak yang tidak terserap secara kimia. Selanjutnya elektroda ZnO disandwich dengan elektroda pembanding Pt. Elektroda pembanding disiapkan dengan melapiskan larutan 10 mM hydrogen hexachloroplatinate (IV) hydrate (H₂PtCl₆, 99.9%) dalam pelarut 2-propanol pada substrat kaca FTO (FTO, ±10) dan dipanaskan pada temperatur 450_C selama 30 menit. Sebelum dilakukan pengujian arus-tegangan, elektrolit pasangan redoks I₃ /I diinjeksikan ke dalam sel. Adapun elektrolit ini terdiri dari 0,5 M tert-butylammonium iodide, 0,1 M Lithium iodide, 0,1 M iodine and 0,5 M 4-tert-butylpyridine yang dilarutkan dalam pelarut asetonitril. Pengujian arus-tegangan dilakukan menggunakan potensiostat Kethley dengan iradiasi solar simulator 100 mW.cm⁻² menggunakan filter AM1.5. [8]

2.5 Desain Pada Dye Sensitive Solar Cell (DSSC)

DSSC di design dengan beberapa set lapisan komponen yang di susun secara serial, secara berurutan yaitu: *Glass Substrate, Transparent Conducting,*

TiO₂ nanoparticles, *Organic dye*, *electrolyte*, dan counter electrode yang di pasang dengan sealing gasket. Konfigurasi dari lapisan material komponen DSSC di tunjukkan pada gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 2.1. *Typical konfigurasi* sebuah DSSC

Berikut fungsi dari masing-masing lapisan material pada DSSC :

1. ***Glass Substrate***, berada pada lapisan paling atas/luar yang berfungsi untuk melindungi transparent conducting layer dan meneruskan penetrasi cahaya matahari kedalam lapisan *conducting layer*.
2. ***Transparent conducting layer***, yang biasa di pakai adalah *Transparent Conductive Oxide* (TCO) termasuk di dalam nya timah oxide (FTO dan ITO) dan aluminium-zinc oxide (AZO) yang berfungsi sebagai penghantar electron yang di eksitasi oleh dye.

Tabel 2.1. Beberapa property dari tipe material ITO dan FTO

Conductive glass	Company	Light transmittance	Conductivity (Ohm/sq)	Thickness (mm)	Size (cm)

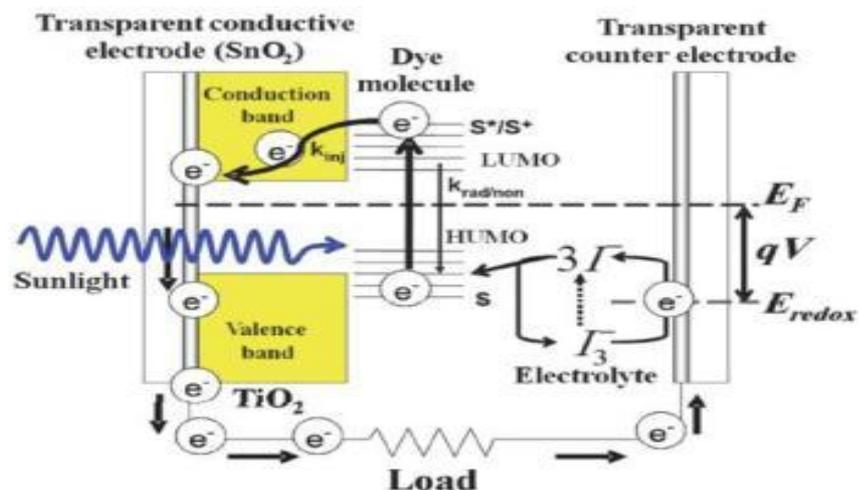
ITO	Nanocs	>85%	5	1,1	1*3
ITO	PG&O	85%	45	1,1	2*3
FTO	NSG	>84%	<7	3	100* 100

3. ***TiO₂ nano particles***, berfungsi sebagai material anode di mana material TIO₂ memiliki kelebihan yaitu sensitive terhadap cahaya, structure yang stabil di bawah radiasi matahari dan harga yang relative murah.
4. ***Organic Dyes***, tempat berlangsung nya process eksitasi electron ketika terkena sinar matahari. Dye yang umum di gunakan adalah dye sintetik ruthenium kompleks. Penelitian dalam mencari dyes yang murah dan berbasis tumbuhan (natural dyes) terus dilakukan. Proses fotosintesis pada tumbuhan telah membuktikan adanya senyawa pada tumbuhan yang dapat digunakan sebagai dyes. Sebagai hasil pengembangannya, peneliti telah mendapatkan efisiensi konversi energi yang lebih baik pada turunan dyes klorofil tersebut karena memiliki gugus *carboxylate*.
5. ***Electroyte***, berfungsi sebagai mediator electron antara TIO₂ photo anode electrode dengan counter electrode. Dengan electrolyte berupa pasangan redoks Γ/I_3^- . *DxCounter Electrode*, berfungsi sebagai material Katoda yang meregenerate Γ^- , material yang paling efisien digunakan sebagai katode ini adalah Platinum (Pt), tapi karena harga nya mahal bisa di gantikan dengan material Carbon. [6]

2.6 Prinsip kerja Sebuah DSSC

Sistem kerja yang terjadi pada DSSC, dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Photon dengan tingkat energi yang berbeda dari cahaya matahari yang menyinari cell akan terpenetrasi kedalam lapisan dye. Karena penyerapan photon oleh pewarns (dye) ini, maka pewarna (dye) molekul akan tereksitasi dari *highest occupied molecular orbitals (HOMO)* menjadi *lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)*, seperti di tunjukkan pada gambar 2.2 di bawah



Gambar 2.2. Ilustrasi skema prinsip operasi dye sensitized solar cell.

Proses eksitasi ini di tunjukkan dengan persamaan berikut :



2. Selanjut nya electron ini akan diinjeksi melalui conduction band SNO2 ke TiO2 Anode, dye molecule akan teroksidasi. Proses ini di tunjukkan pada persamaan berikut :



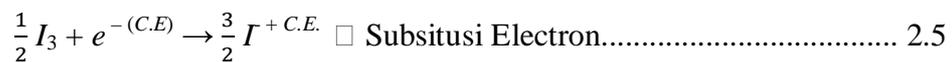
3. Elektron yang terinjeksi selanjutnya akan mengalir melalui TiO₂ dan kemudian di melalui beban dimana proses menghasilkan energi listrik.



4. Dye molekul yang teroksidasi akan teregenerasi dengan menangkap electron dari ion elektrolit redoks Γ^{-} yang akan teroksidasi menjadi I_3^{-} (Tri-iodide ions).



5. Tri-iodide ions (I_3^{-}) mensubsitisi electron dengan external load sehingga akan mengalami reduksi dan kembali menjadi ion Γ^{-} .



Dimana, Proses yang terjadi di dalam DSSC ini terjadi bermilyar kali dalam satu detik sehingga menciptakan arus listrik dari sinar matahari. [6]

2.7 Material *Dye sensitive solar cell* (DSSC)

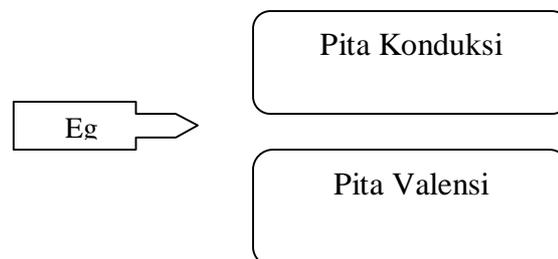
2.7.1 Semikonduktor TiO₂

Semikonduktor ialah zat padat pada kristalin ,seperti silikon atau germanium namun luangan energinya tidak terlalu besar,biasanya berkisar dari 0,5 sampai 3,0 *Ev*. Dalam semi konduktor, luangan energinya (*energi gap*) relatif kecil, sehingga eksitasi ternal dari elektron melalui sela ini dapat terjadi sampai tingkat tertentu pada temperatur kamar.

Pada perəkayasaan semikonduktor untuk anoda DSSC, penggunaan material ZnO cukup menjanjikan dikarenakan sifat fisika yang lebih baik dibandingkan TiO₂. Potensial pita konduksi lebih tinggi dibandingkan TiO₂ sehingga dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar, mobilitas elektron yang sangat cepat sehingga berpotensi mengurangi faktor rekombinasi, serta memiliki struktur dan

morfologi yang dapat diubah-ubah menyesuaikan kondisi sintesis. Selain itu pemanfaatan bahan pewarna organik juga mulai dikembangkan cukup masif dikarenakan molekul pewarna kompleks Pewarna kompleks berbasis Ruthenium dikategorikan sebagai bahan anorganik yang tidak ramah lingkungan serta membutuhkan biaya sintesis yang mahal. Oleh karena itu, penelitian tentang bahan pewarna organik baik sintetis ataupun ekstraksi bahan alam menjadi alternatif untuk menguji unjuk kerja DSSC. [6]

Eksitasi ternal dari elektron akan menaruh beberapa elektron kedalam pita (yang hampir kosong) yang disebut pita konduksi (*conduction band*) dan akan meninggalkan keadaan kosong atau lubang (*holes*) yang sama banyaknya didalam pita valensi (*valence band*). (setiya, 2005).



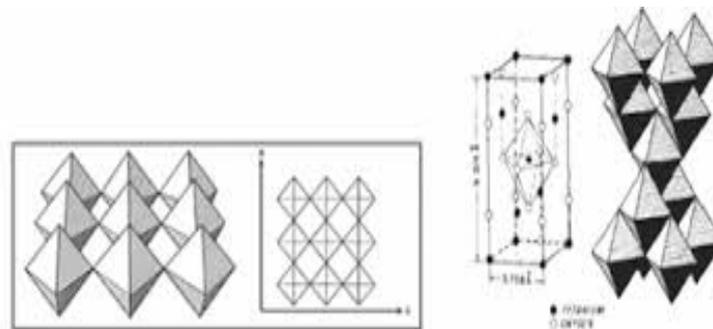
Gambar. 2.3. Pita-pita sebuah semikonduktor

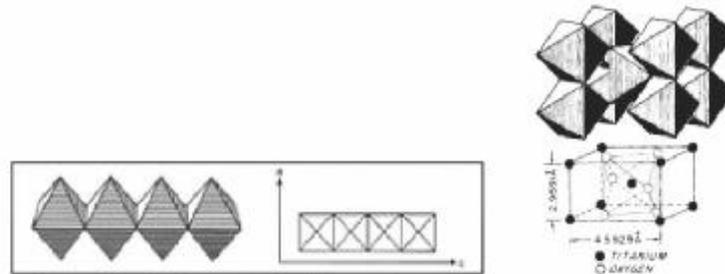
Beberapa semikonduktor oksida yang mempunyai celah energi (E_g) pada daerah cahaya tampak adalah TiO_2 , WO_3 , SrTiO_3 , ZnO , dan Fe_2O_3 . Diantara semikonduktor tersebut, TiO_2 telah terbukti penggunaannya untuk DSSC dan aman untuk lingkungan.

Titania merupakan semikonduktor fotokatalis yang bisa dimanfaatkan untuk remediasi lingkungan, bersifat foto aktif, bisa digunakan dalam cahaya tampak, bersifat *inert*, murah, *nontoksik*, mudah diproduksi dan digunakan.

Titania mempunyai ketahanan yang bagus terhadap korosi atmosfer, baik dilingkungan laut maupun dikawasan industri dan terhadap korosi erosi di air tawar, sehingga *titania* digunakan pada bidang industri kecantikan (kenneth,etal,1991).

Semikonduktor TiO_2 memiliki tiga bentuk kristal yakni tipe *rutile*, *brookite*, dan *anatase* (farrell, 2001). Tipe yang sering digunakan adalah tipe *anatase* dan *rutile*, karena *anatase* dan *rutile* memegang peranan penting dalam aktivitas fotokatalitik. *Anatase* diketahui sebagai fase kristal *titania* yang paling bersifat foto aktif. *Anatase* secara termodinamik kurang setabil dibanding *rutile*, tetapi pembentukannya terjadi pada temperatur yang lebih rendah. Aktivitas fotokatalitik TiO_2 tergantung pada sifat fase, *anatase*, yang dipengaruhi oleh morfologi, luas permukaan, kristalinitas dan ukuran partikel. *Rutile* memiliki struktur kristal yang mirip dengan *anatase*. Struktur *rutile* dan *anatase* dapat digambarkan sebagai rantai oktahedral TO_6 . Kedua struktur kristal dibedakan oleh distorsi oktahedral pada pola susunan rantai oktahedralnya. *Anatase* bersifat metastabil dan akan berubah menjadi *rutile* pada suhu diatas 915°C . *Anatase* mempunyai struktur kristal tetragonal dimana Ti-O oktahedral *sharing* 4 sudut, adapun struktur kristal dari *anatase* maupun dari *rutile* ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan 2.5



Gambar 2.4 Struktur kristal TiO₂ anataseGambar 2.5 Struktur kristal TiO₂ rutile

(Farrell, 2001)

Tiap atom Ti^{4+} dikelilingi secara oktahedral oleh 6 atom O^{2-} . Pada struktur *rutile* setiap oktahedral dikelilingi oleh 10 oktahedral tetangga, sedangkan pada struktur anatase setiap oktahedral dikelilingi oleh 8 oktahedral lainnya.

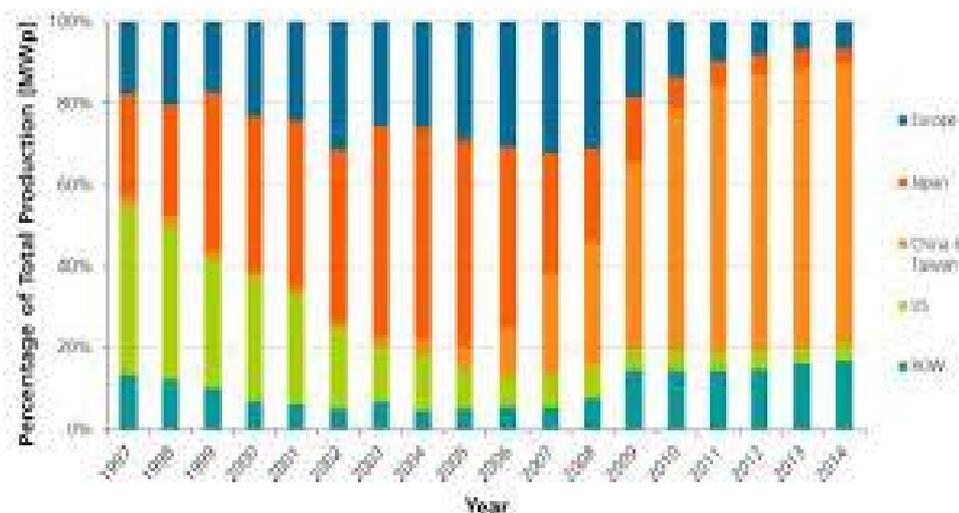
Bentuk *titania* yang stabil adalah *rutile*, dimana bentuk *titania* berubah pada suhu tinggi. *Rutile* mempunyai struktur kristal mirip dengan *anatase*, dengan pengecualian bahwa Ti-O oktahedral sharing 4 sisi bukan 4 sudut. *Anatase* merupakan bentuk kristal yang sering digunakan dibidang *photovoltaic*. *Anatase* dan *rutile* mempunyai tatapan kisi kristal dan sifat fisika yang berbeda, yang terlihat pada Table 2.2.

Tabel 2.2 perbandingan Sifat TiO₂ Untuk Fase Kristal *Rutile* dan *Anatase*

Sifat	Rutile	Anatase
Bentuk kristal	Tetragonal	Tetragonal
Tetapan kisi-kisi a	4,58 Å	3,78 Å
Tetapan kisi-kisi c	2,95 Å	9,49 Å
Berat jenis	4,2 g/cm ³	3,9 g/cm ³

Indeks bias	2,71	2,52
Titik didih	1858 °C	Berubah jadi rutile pada temperatur tinggi (900°C)

Struktur anatase memiliki celah energi (band gap) sebesar 3,2 eV, setara dengan energi gelombang cahaya UV dengan panjang gelombang 413 nm. Dibandingkan dengan pita energi beberapa jenis semikonduktor lainnya. Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa fermi level TiO_2 jauh lebih dekat ke level pita konduksi jika dibandingkan dengan vita valensi. Sehingga TiO_2 merupakan semikonduktor yang cenderung bermuatan negative. Hal inilah yang mendasari TiO_2 cocok digunakan sebagai media penghantar elektron dari *dye* ke elektroda semikonduktor lain yang sering dijumpai pada febrikasi DSSC adalah ZnO (Zico,2010). [6]



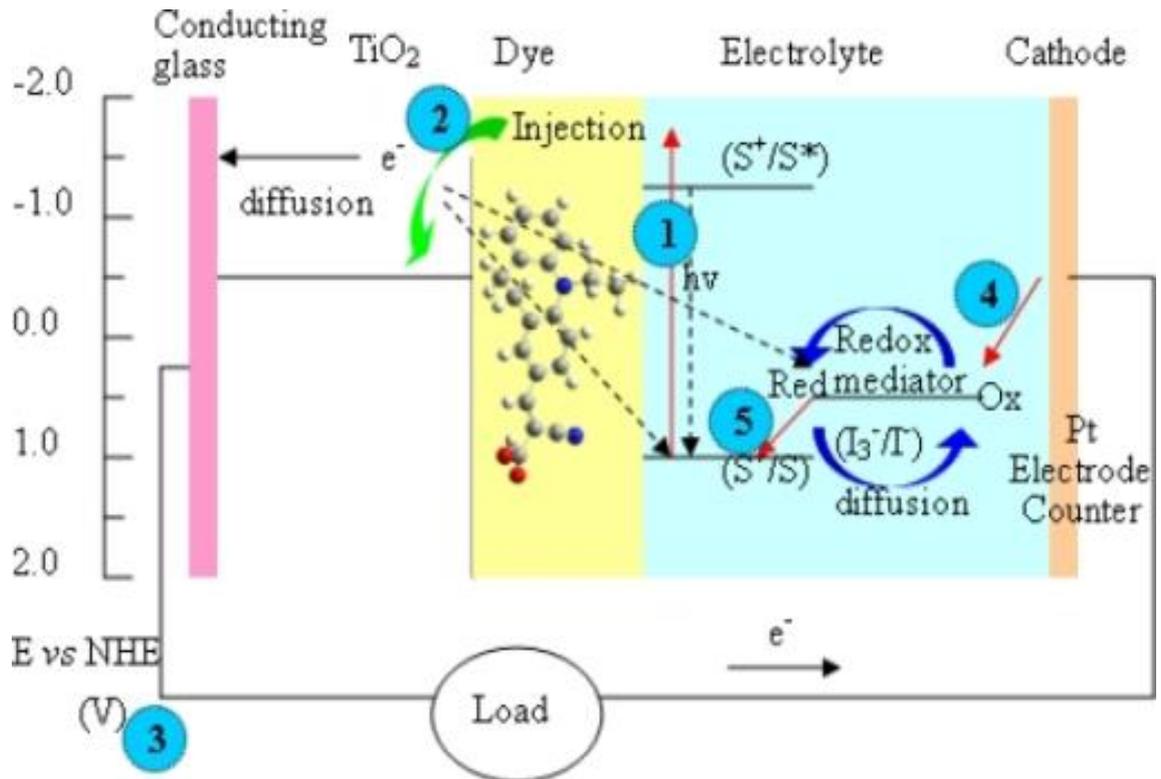
Gambar 2.6. Posisi Pita Energi Berbagai Macam Semikonduktor

(Gratzel, 2001)

2.7.2. Elektrolit

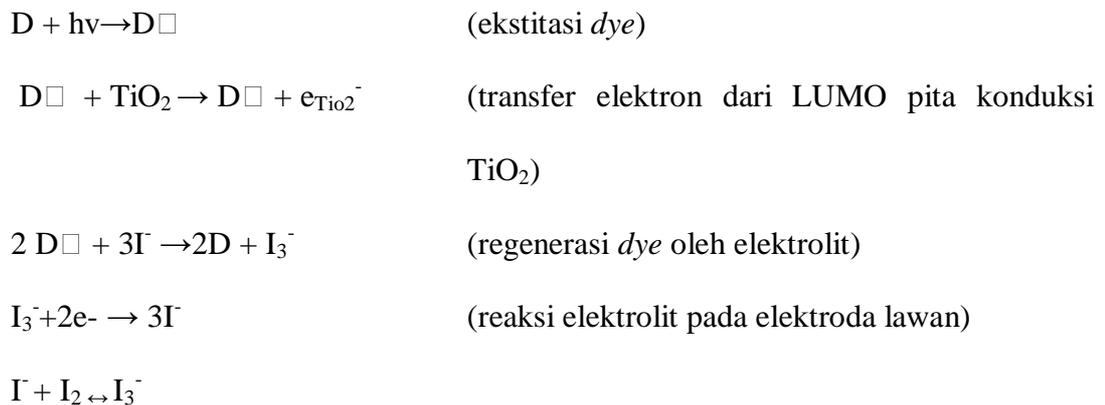
Fungsi elektrolit dalam DSSC adalah untuk menggantikan kehilangan elektron pada pita HOMO dari *dye* akibat eksitasi elektron dari pita HOMO ke pita LUMO karena penyerapan cahaya tampak oleh *dye*. Elektrolit juga dapat menerima elektron pada sisi *counter electrode*. Pada umumnya pembuatan sel DSSC menggunakan pasangan elektrolit I^- dan I_3^- sebagai elektrolit, karena sifatnya yang stabil dan mempunyai *reversibility* yang baik. Pada umumnya, elektrolit ini menggunakan pelarut *ecetonitril* dalam pembuatannya. Penggunaan *ecetonitril* dapat memunculkan beberapa masalah diantaranya pelarut mengalami evaporasi dan bisa terbakar, sehubungan dengan masalah tersebut terdapat cara untuk mengatasi yaitu mengganti larutan elektrolit dengan *solid* atau *quasi solid state electrolyte* (Kang, et.al. 2006). Pelarut lain yang dapat digunakan dalam larutan elektrolit yaitu *Polythylene Glyco* (PEG), PEG dapat menembus ke dalam serapan *dye* TiO_2 baik untuk perbandingan ukuran partikel yang kecil maupun pada diameter pori skala nano dapat menjaga kestabilan kerja. PEG termasuk dalam golongan alkohol dengan dua buah gugus $-OH$ yang berulang dan termasuk bahan yang dapat larut dalam air. PEG bisa berbentuk padatan maupun cairan kental (gel), tergantung pada komposisi dan berat molekulnya.

Oleh karena alasan tersebut, pada penelitian ini digunakan pasangan elektrolit I^- dan I_3^- dengan pelarut PEG sebagai pengganti acetonitril sebagai pelarutnya. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2.4 kehilangan elektron pada pita HOMO akan diregenerasi kembali oleh ion I_3^- (Oksidasi elektrolit). Sedangkan pada sisi *counter electrode*, aliran mereduksi ion I^- (reduksi elektrolit).



Gambar 2.7. Pergerakan Elektron Dalam DSSC

Reaksi yang terjadi pada sistem DSSC Sebagai berikut :



2.7.3 Counter Elektrode

Counter elektrode digunakan sebagai katalis dalam DSSC. Penggunaan katalis yang umum digunakan yaitu platina dan karbon. Penggunaan masing-

masing elektroda yang digunakan yaitu karbon. Karbon mempunyai luas permukaan yang relatif lebih luas dibandingkan dengan platina. Platina yang digunakan sebagai target dimasukkan kedalam *chamber sputtering*, setelah itu *chamber* divakum. Gas argon dialirkan *chamber* dan diberi tegangan tinggi sehingga terbentuk plasma menumbuk platina sehingga target mengeluarkan atom-atom platina yang akan menuju ke substrat ITO-PET konduktif. *chamber sputtering* disiapkan dengan sistem *sputtering* tekanan dasar $4,4 \times 10^{-3}$ torr dan tekanan gas argon 4×10^{-3} torr dengan daya 50 watt, waktu *sputtering* 20 menit. [6]

Dalam penelitian ini jenis karbon yang digunakan karbon aktif. Karbon aktif adalah bentuk mikrokristalin yang mempunyai permukaan dalam yang sangat besar. Berkisar antara 300-2000 m²/g.

Karbon aktif digunakan dalam industri pangan maupun non pangan. Dalam industri pangan karbon aktif digunakan untuk menyerap gas dan peroksidasi yang menyebabkan kerusakan oksidatif pada minyak. Sedangkan untuk industri non pangan, karbon aktif berfungsi untuk memurnikan bahan-bahan kimia seperti asam sitrat, asam galat, dan lain sebagainya. Selain itu karbon aktif juga dapat digunakan sebagai adsorben dan katalis..

2.7.4 FTO (*Flourine Doped Tin Oxide*)

Photoelectrode pada DSSC biasanya dibuat dengan cara melapisi TiO₂ pada permukaan TCO (*Transparent Conductive Tin Oxid*). Kaca FTO (*Flourine Doped Tin Oxide*) merupakan salah satu material TCO yang juga banyak digunakan sebagai transparant elektrode. Hal ini dikarena stabilitas yang baik pada suhu tinggi dan harganya relatif murah dibandingkan dengan ITO. Kaca ITO terbuat dari *Indium Oxide* sebagai bahan dasar material, yang didoping oleh Sn(Timah) untuk

meningkatkan konduktivitas listriknya. SnO₂ sendiri adalah semikonduktor dengan konduktivitas listriknya. SnO₂ sendiri adalah semikonduktor dengan konduktivitas yang sangat rendah dan celah pita lebar (sekitar 4 eV). Keuntungan SnO₂ yaitu memiliki transmitansi tinggi (80% atau 85% tergantung pada ketebalan), khususnya di wilayah gelombang tampak. [6]

DSSC difabrikasi dengan struktur berlapis (sandwich). Pasta ZnO dengan pelarut ethanol dan DEG dideposisikan pada substrat FTO (F-doped tin oxide) dengan luas aktif 20 mm² menggunakan metode doctor-blade serta kemudian dianil pada temperatur 450_C selama 1 jam untuk mendapatkan elektroda ZnO. Pada tahapan sensitisasi, elektroda ZnO dipanaskan pada temperatur 80_C kemudian direndam dalam larutan ekstrak air perasan jeruk lemon dengan pelarut etanol selama 24 jam. Elektroda ZnO yang telah direndam kemudian diangkat dan dibersihkan dengan etanol untuk menghilangkan ekstrak yang tidak terserap secara kimia. Selanjutnya elektroda ZnO disandwich dengan elektroda pembanding Pt. Elektroda pembanding disiapkan dengan melapiskan larutan 10 mM hydrogen hexachloroplatinate (IV) hydrate (H₂PtCl₆, 99.9%) dalam pelarut 2-propanol pada substrat kaca FTO (FTO, ±10) dan dipanaskan pada temperatur 450_C selama 30 menit. [9]

Flourine Doped Tin Oxide (FTO) digunakan sebagai elektroda. TiO₂ *anatase* diperoleh dari mineral illmenit. Antosianin air perasan buah lemon digunakan sebagai dye dan grafit sebagai katalis. Elektrolit yang digunakan adalah KI, NaI, dan TEAI. Karakterisasi I-V meter *Elkahfi* digunakan untuk mengetahui konduktifitas masing-masing elektrolit sedangkan karakterisasi I-V meter *keithley* digunakan untuk mengetahui efesiensi DSSC.

2.7.5 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat karakterisasi yang dapat menghasilkan sinar-x dan digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal, sistem kristal (kubik, tetragonal, ortorombik, rombohedral, heksagonal, monoklinik, triklinik), menentukan kualitas kristal (*single crystal, polycrystal, amorphous*), menentukan simetri kristal, menentukan cacat kristal (dislokasi), mencari parameter kristal (parameter kisi, jarak antar atom, jumlah atom per unit sel), analisis kimia, dan ukuran kristal. Sinar-X dihasilkan dari sepasang elektroda yang terdapat didalam tabung sinar-X. Elektron dihasilkan dari sepasang elektroda yang bertegangan rendah (katoda) yang terbuat dari filamen tungsten. Elektron dipercepat dengan kecepatan yang sangat tinggi ke arah anoda. Elektron – elektron kehilangan energi karena terjadi tumbukan dengan anoda, dan menghasilkan sinar-X dalam jumlah kecil (kurang dari 1%) dan yang lainnya terhambur menjadi panas.

Penggambaran prose difraksi meliputi tiga hal yaitu hamburan (*scattering*), interferensi dan difraksi. Sinar-X yang mengenai bidang kristal akan dihamburkan ke segala arah (Gambar 2.4). interferensi konstruktif hanya terjadi jika antara sinar-sinar terhambur yang sejajar dan beda jarak jalannya tepat λ , 2λ , 3λ dan seterusnya. Sinar-sinar pantul yang sefase yang berbeda lintasan sebesar kelipatan bulat dari panjang gelombang akan menimbulkan interferensi saling menguatkan. Pemantulan dan interferensi bergabung menjadi difraksi.

2.7.6 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM dikembangkan pertama kali tahun 1938 oleh Manfred von Ardenne (ilmuwan Jerman). SEM bekerja berdasarkan prinsip scan sinar elektron pada permukaan sampel, yang selanjutnya informasi yang didapatkan diubah menjadi

gambar, Imajinasi gambar yang didapatkan menyerupai sebagaimana gambar pada televisi. [6]

SEM adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas electron (berkas electron sekunder ke segala arah). Tetapi dari semua berkas electron yang dipantulkan terdapat satu berkas electron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detector yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas electron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis, kemudian diolah atau ditampilkan pada layar CRT (Cathode Ray Tube)/ monitor (Sundari,2011).

2.8 Preparasi Komponen-Komponen DSSC

Pasta TiO₂ dibuat dari 1,5 gram bubuk TiO₂ Degusa P-25, kemudian digerus, diayak, dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Ditambah 2,5 mL asam asetat dan distirer selama 30 menit. Ditambah 3 tetes cetyl trimethyl amonium bromida dan distirer selama 30 menit. Pasta TiO₂ yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam botol dan ditutup. *Preparasi Larutan Zat Warna* 40 gram buah lemon dipotong kecilkecil dan digerus halus dan diperas, kemudian direndam dalam metanol : asam asetat : aquades (30:4:16 perbandingan volume) selama 24 jam. Selama perendaman, larutan ekstrak buah lemon harus disimpan ditempat gelap. Setelah direndam selama 24 jam, selanjutnya ekstrak zat warna buah lemon disaring dengan menggunakan kertas saring whatman (Susmiyanto dkk., 2013). Hasil saringan diekstraksi dengan 25 mL n-heksana dengan corong pisah dikocok selama 30 menit, lalu diambil lapisan bawah. Dilanjutkan ekstraksi

dengan etil asetat p.a sebanyak 25 mL seperti prosedur di atas. Hasil ekstraksi disimpan dalam botol gelap atau botol yang telah dilapisi alumunium. *Preparasi Pasta TiO₂* (Wulandari dan Gontjang, 2012) Preparasi Elektrolit Semi Padat (Gel Polimer) mengacu kepada Pancaningtyas dan Akhlus (2010). PEG 0,025 M (KI 0,5 M dan I₂ 0,05 M) disiapkan dengan cara mengambil sebanyak 0,498 gr KI dilarutkan ke dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia. Pada gelas kimia lain, dimasukkan sebanyak 0,076 gr I₂ dan 6 mL asetonitril, lalu diaduk hingga homogeny. Larutan pada kedua gelas tersebut dicampur dan diaduk hingga homogeny. Sebanyak 0,6 gr PEG dimasukkan dalam larutan elektrolit yang telah dibuat, dan diaduk hingga membentuk gel Larutan PEG 0,05 M (KI 0,5 M dan I₂ 0,05 M) disiapkan dengan mengambil sebanyak 0,498 gr KI dilarutkan ke dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia. Pada gelas kimia lain, dimasukkan sebanyak 0,076 gr I₂ dan 6 mL asetonitril, lalu diaduk hingga homogeny. Larutan pada kedua gelas tersebut dicampur dan diaduk hingga homogen. Sebanyak 1,2 gr PEG dimasukkan dalam larutan elektrolit yang telah dibuat, dan diaduk hingga membentuk gel. Larutan PEG 0,1 M (KI 0,5 M dan I₂ 0,05 M) disiapkan dengan cara mengambil sebanyak 0,498 gr KI dilarutkan ke dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia. Pada gelas kimia lain, dimasukkan sebanyak 0,076 gr I₂ dan 6 mL asetonitril, lalu diaduk hingga homogen. Larutan pada kedua gelas tersebut dicampur dan diaduk hingga homogeny. Sebanyak 2,4 gr PEG dimasukkan dalam larutan elektrolit yang telah dibuat, dan diaduk hingga membentuk gel Preparasi Counter Elektroda Karbon disiapkan dengan menggunakan grafit sebagai sumber karbon. Grafit dilapiskan ke TCO pada bagian konduktifnya, kemudian

dipanaskan pada temperatur sekitar 450°C selama 10 menit agar grafit membentuk kontak yang baik sesama partikel karbon dengan *TCO*.

2.8.1 Perakitan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Langkah pertama adalah perakitan sel surya untuk pasta TiO₂ yang direndam dalam zat warna selama 24 jam. Pada kaca TCO yang berukuran 2,5 x 1,25 cm dibentuk area tempat TiO₂ dideposisikan dengan bantuan selotip pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 x 1 cm. Pasta TiO₂ dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan selama kurang lebih 15 menit dan di *furnace* pada temperatur sekitar 450°C selama 30 menit. Lapisan TiO₂ kemudian direndam dalam larutan zat warna selama 24 jam, lapisan TiO₂ akan menjadi berwarna ungu.

Pada proses ini terjadi adsorpsi antosianin ke permukaan TiO₂. Kemudian lapisan TiO₂ yang telah direndam dalam zat warna dibilas pertama kali dengan aquades lalu dengan etanol dan dikeringkan dengan kertas tisu. Kemudian elektrolit gel polimer diteteskan diatas permukaan TiO₂ lalu ditutup dengan elektroda lawan (*counter electrode*) sehingga membentuk struktur *sandwich*. Kemudian agar struktur selnya mantap dijepit dengan klip pada kedua sisi. DSSC siap untuk diuji disiapkan dengan merakit sel surya untuk pasta TiO₂ yang dicampur bersama zat warna. Pada kaca TCO yang berukuran 2,5 x 1,25 cm dibentuk area tempat TiO₂ dideposisikan dengan bantuan selotip pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 x 1 cm. Pasta TiO₂ yang telah dibuat dicampur dengan zat warna, untuk membuat pasta yang dicampur zat warna, cukup menambahkan 1 mL zat warna untuk 1 gram pasta TiO₂ dan distirer

selama 10 menit agar semua tercampur merata. Campuran pasta TiO₂ dan zat warna tersebut dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan selama kurang lebih 15 menit dan di *furnace* pada temperatur sekitar 200°C selama 10 menit. Kemudian elektrolit gel polimer ditetaskan diatas permukaan TiO₂ lalu ditutup dengan elektroda lawan (*counter electrode*) sehingga membentuk struktur *sandwich*. Kemudian agar struktur selnya mantap dijepit dengan klip pada kedua sisi (Ekasari dan Yudoyono, 2013).

2.8.2 Karakterisasi Bubuk TiO₂ dan Larutan Zat Warna

X-Ray Diffraction (XRD) diawali dengan karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari serbuk TiO₂ dengan mengetahui puncak-puncak sampel dan membandingkannya dengan puncak-puncak standar. Selanjutnya dilakukan pengujian absorpsi zat warna. Uji absorpsi zat warna dilakukan untuk mengetahui absorpsi cahaya oleh pigmen antosianin dari ubi jalar ungu. dengan menggunakan UV-VIS.

2.8.3 Pengujian Arus Listrik

Sel surya yang telah dirangkai dilakukan pengujian tegangan dan hambatanya menggunakan multimeter digital merk Sanwa. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung pada saat penyinaran cerah.

2.9 Karakterisasi Semikonduktor dan Dye

Pola difraksi sinar X dari ZnO dilakukan menggunakan Xray diffractometer. Kandungan dalam ekstrak jeruk sebelumnya telah dikarakterisasi menggunakan HPLC dan LC-MS dan dilaporkan dalam artikel. Spektrometer serapan inframerah direkam menggunakan perangkat FTIR Nicoleti S10 (Thermo

Scientific, Massachusetts, USA). Spektrum absorpsi pada rentang panjang gelombang 400-800 nm dari ekstrak Lemon diukur dengan menggunakan spektrometer UV/vis sedangkan spektrum emisi diukur menggunakan fluorolog. Sifat elektrokimia diuji dengan mengukur karakteristik arus-tegangan pada cyclic voltammogram (CV) dengan elektroda kerja karbon dan elektroda pembanding kawat platina. Adapun elektroda referensi pada pengukuran CV adalah Ag/AgCl.

2.10 Kaca ITO (*Indium Tin Oxide*)

Indium Tin Oxides (ITO) merupakan material TCO yang paling populer karena sifat transparansi dan konduktivitas yang paling baik diantara material oksida lain. Transparansinya bisa mencapai 80-85% kaca atau gelas jadi terlihat tembus pandang, memiliki ketebalan yang sangat tipis, memiliki *sheet resistance* biasanya 10 Ohm/Sq atau memiliki resistivitas dalam skala 10^{-4} Ohm/cm. Dua sifat ITO inilah yang sering dijadikan *benchmark* atau barometer seberapa bagus sebuah TCO.

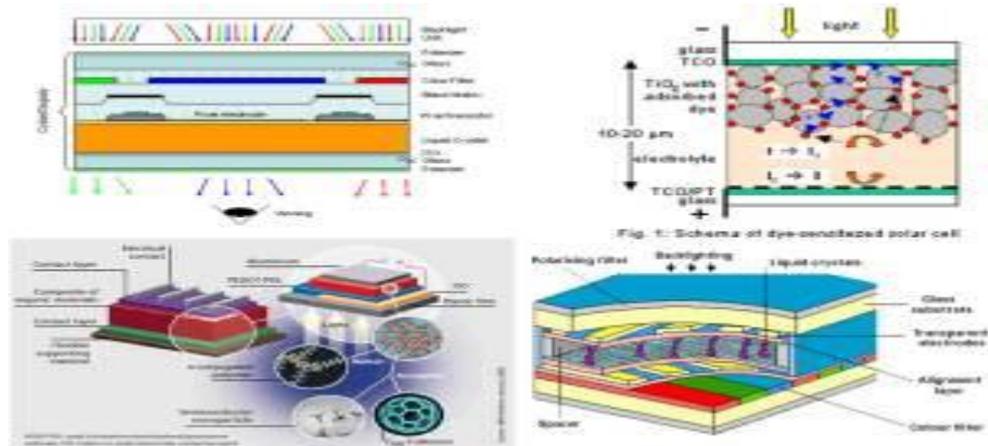
Indium tin oxides (ITO) dinominasikan oleh Institut Nasional Ilmu Kesehatan Lingkungan untuk karakterisasi toksikologi yang komprehensif berdasarkan pada peningkatan potensi paparan pekerja karena penggunaannya yang semakin meningkat dalam tampilan kristal cair (LCD), perhatian terhadap toksisitas paru dan karsinogenisitas berdasarkan temuan sebelumnya dari studi toksikologi tikus NTP dari indium fosfida dan efek yang diamati pada pekerja yang terpapar, dan kurangnya data toksisitas yang memadai. ITO dapat dibentuk secara langsung selama proses pelapisan, misalnya, sputtering reaktif dari target alloy indium-timah di hadapan oksigen. Aplikasi utamanya adalah sebagai lapisan tipis pada kaca atau plastik yang digunakan untuk panel sentuh (elektrokromik,

electroluminescent, dan LCD); display plasma; display panel datar (televisi, layar komputer, telepon seluler, dll.); menampilkan emisi lapangan; pelapis reflektif panas; panel surya; tabung sinar katoda; jendela hemat energi; sensor gas; dan fotovoltaiik [10].

2.10.1 Konduktivitas ITO

ITO pada dasarnya tersusun dari In_2O_3 (Indium oksida) yang ditambah dengan 10% SnO_2 (timah oksida). In_2O_3 sebenarnya sudah memiliki karakteristik dasar transparans-konduktif. Namun penelitian yang panjang telah membuktikan bahwa penambahan 10-15% SnO_2 mampu meningkatkan konduktivitas secara signifikan. Sebagaimana TCO pada umumnya, ITO memiliki band gap kurang lebih 3,0 eV yang membuatnya tembus pandang. Sedangkan penambahan SnO_2 meningkatkan jumlah elektron di dalam ITO sehingga berujung pada sifat konduktivitas total ITO[11].

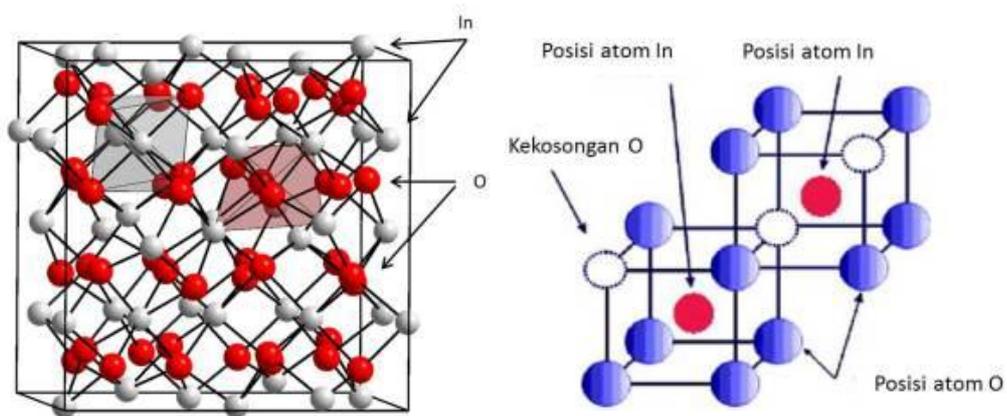
Defect dalam ilmu material merujuk pada “cacat” di dalam struktur kristal yakni kondisi di mana struktur kristal tidak seperti kondisi yang ideal. Misalnya, satu atau beberapa atom hilang dari struktur kristal, atau adanya atom asing/pengotor yang masuk di dalam sebuah kristal, atau susunan atom-atomnya tidak berada pada tempat semestinya. Maksud *defect chemistry* di sini ialah studi reaksi kimia yang menyertai hilangnya atom di dalam sebuah struktur kristal atau yang menyertai adanya penambahan atom asing ke dalam struktur kristal. Lantas untuk memahami *defect chemistry*, perlu pula melihat struktur kristal dari molekul yang menjadi objek pembahasan, dalam hal ini struktur kristal ITO.



Gambar 2.8. Pemakaian ITO pada produk teknologi (searah jarum jam) LCD, *Dye-sensitized Solar Cell* (DSSC), LCD, dan sel surya organik/polimer.

Perhatikan bagian dengan sebutan ITO, TCO atau *transparent electrode*.

ITO memiliki struktur dasar kristal kubik In_2O_3 yang mengikuti struktur kristal mineral *bixbyite*. Distribusi atom Indium (In, putih) dan Oksigen (O, merah) terdistribusi di dalam struktur kristal.



Gambar 2.9 struktur kristal *bixbyite* (kiri) dan *unit cell* dari struktur yang sama (kanan).

Penambahan 10-15% SnO_2 tidak merubah struktur kristal In_2O_3 karena jumlah SnO_2 yang ditambahkan relatif sedikit. Sn dan oksigen (O) dari

SnO_2 hanya akan menempati ruang-ruang kosong di dalam struktur *bixbyite* atau menempati posisi dan sekaligus mensubstitusi atom In dan O di dalam struktur *bixbyite* tersebut. Untuk mempermudah mempelajari struktur *bixbyite*, kita cukup melihat struktur yang disederhanakan yang dapat mewakili kompleksitas struktur di gambar 1. Ilmu mengenai kristal (kristalografi) menyebut struktur yang disederhanakan ini sebagai *unit cell*. Struktur *bixbyite* tadi hanya pengulangan dari *unit cell*. Terlihat bahwa Indium oksida memiliki struktur kristal dengan satu kation In dikelilingi oleh atom-atom anion O. Namun, terlihat juga bahwa ada dua posisi kosong yang semestinya ditempati oleh O yang disebut dengan kekosongan atom (*vakansi*). Di tempat kosong inilah baik Sn maupun O dari SnO_2 dapat “hinggap”, atau saya istilahkan dengan *penyisipan*. Selain itu, masih ada kemungkinan lain bahwa atom Sn akan mengganti In, yakni atom Sn menempati posisi atom In di dalam struktur kristal (*substitusi*). Adanya penambahan atom lain (Sn) di dalam struktur In_2O_3 ini membawa beberapa konsekuensi sesuai dengan aturan bagaimana atom-atom Sn berinteraksi dengan atom-atom In. Skenario pertama ialah substitusi atom In dengan atom Sn dan penyisipan atom O.

Penambahan Sn di dalam kristal In_2O_3 membawa kemungkinan bahwa atom Sn dapat menggantikan atom In. Dikarenakan perbedaan muatan antara atom Sn (bermuatan positif 4 karena berasal dari SnO_2) dan atom In (bermuatan positif 3 karena berasal dari In_2O_3), maka struktur kristal *bixbyite* akan kelebihan muatan positif 1. Dikarenakan struktur kristal manapun harus memiliki muatan total 0 (nol) atau netral, maka konsekuensi dari adanya kelebihan muatan positif 1 ini ialah lepasnya satu elektron (simbol e^- , bermuatan negatif 1). Lepasnya

elektron ini tidak lain sebenarnya untuk mengkompensasi berlebihnya muatan positif di dalam struktur kristal *bixbyte* akibat penambahan satu atom Sn serta untuk menjaga muatan total kristal tetap netral.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan membahas bagaimana mengukur tegangan dan arus pada wilayah pantai dan perkotaan dengan prototype *dye sensitized solar cell* (DSSC). Ada beberapa hal yang harus dilakukan sebelum melakukan penelitian ini, beberapa langkah tersebut diantaranya:

1. Menyediakan Prototype *dye sensitized solar cell* (DSSC) yang akan diukur tegangan dan arusnya.
2. Menyediakan alat ukur berupa multimeter.

3.1 Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 4 juli 2018 - 21 Agustus 2018 bertempat di Pantai Cermin Perbaungan, Sumatera utara dan di Kota medan bertempat di Jln.Mesjid Taufik,Gg.Andalas pada tanggal 10 juli 2018- 25 Agustus 2018

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah obyek penelitian, atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi objek atau variabel penelitiannya adalah Perbandingan sistem *dye sensitive solar cell* (DSSC) pada kawasan pantai dan perkotaan.

3.3 Jalannya Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Konsultasi terhadap dosen yang bersangkutan dengan cara wawancara.
2. Mementukan tema permasalahan yang akan diteliti dengan cara melakukan studi pustaka, guna memperoleh berbagai teori-teori dan konsep yang akan mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.

3. Mengukur hasil dari pemanfaatan energi matahari dengan *dye sensitized solar cell* (DSSC), sehingga didapat hasil yang dibutuhkan untuk diolah pada bab selanjutnya.

3.4 Perlengkapan Yang Digunakan Dalam Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam rancang bangun pemanfaatan energi matahari dengan *dye sensitized solar cell* (DSSC), terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat lunak digunakan untuk membantu dalam proses perhitungan, membuat grafik dan untuk mengetahui variabel dari alat yang sedang diteliti. Sedangkan perangkat keras digunakan untuk proses perancangan alat.

A Perangkat Lunak

1. Autocad 2007, perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan menggambar alat yang akan diteliti.
2. Microsoft Excel 2007, perangkat ini digunakan untuk pengolahan data dan akan didapat grafik yang diteliti.

B Perangkat Keras

1. Multitester, digunakan sebagai alat untuk mengambil dan mengukur tegangan keluaran dari penelitian pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan *dye sensitized solar cell* (DSSC).

2. Satu Unit Laptop

Merk : ACER Aspire 4739 series

Processor : Intel (R) Core TM i3 CPU M 380 @ 2.53 GHz

Installed memory (RAM) : 2.00 GB

System type : 32-bit Operating System

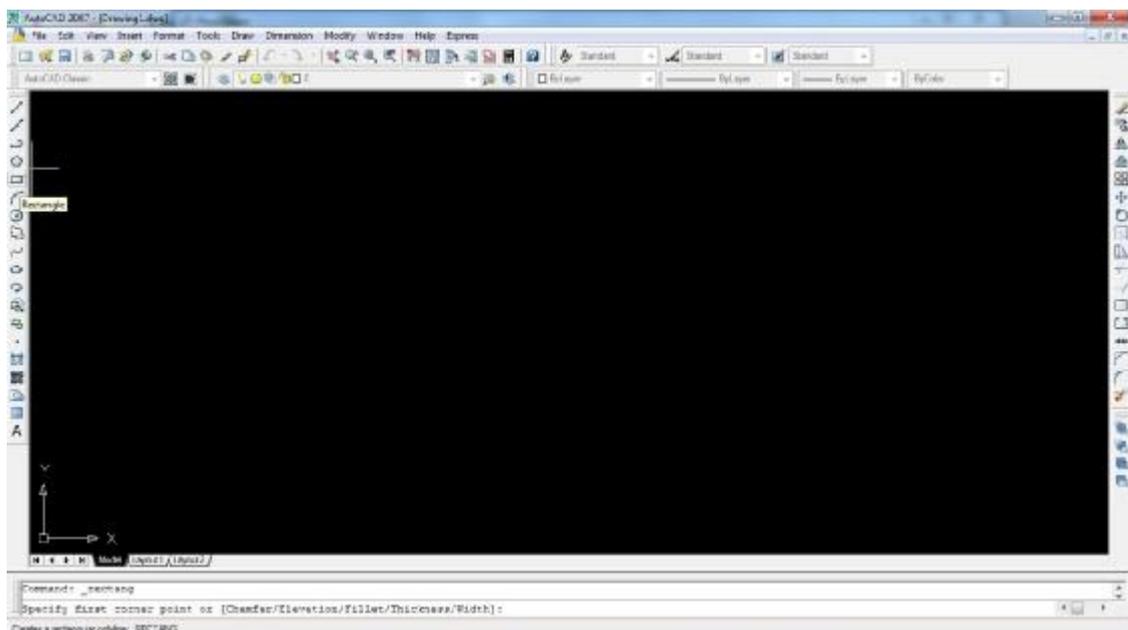
3.5 Rancangan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan Autocad 2007

1. Membuka aplikasi autocad dan memilih autocad classic, lalu klik ok.

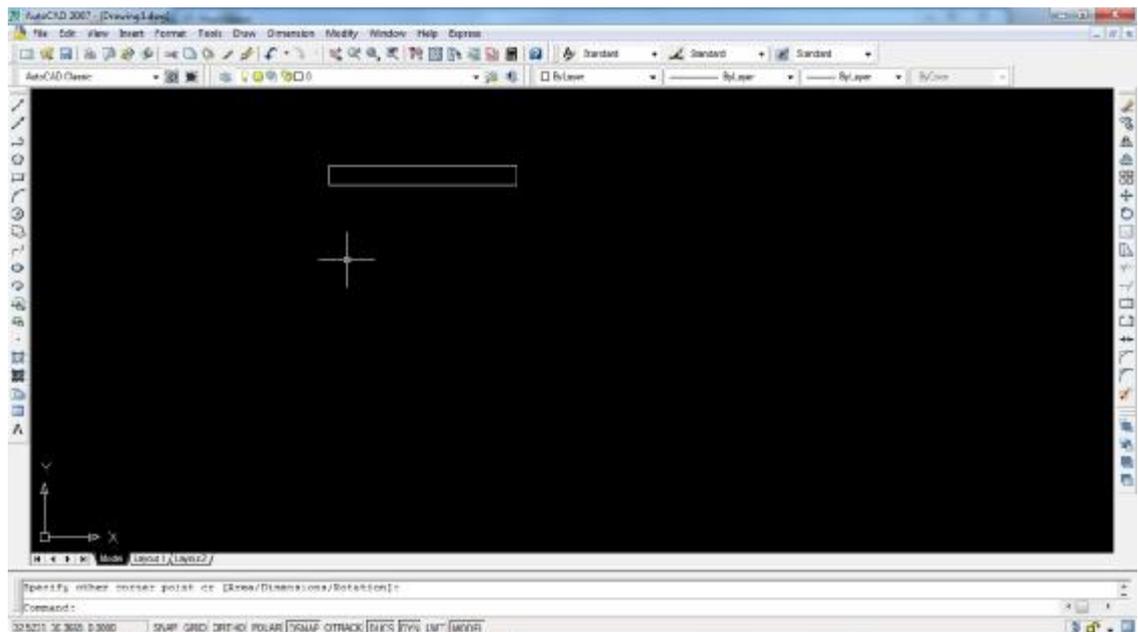


Gambar 3.1 tampilan awal Autocad 2007

2. Setelah halaman autocad terbuka, pilih rectangel pada sudut kiri, lalu klik tarik kursor ke tengah dan membuat persegi panjang.

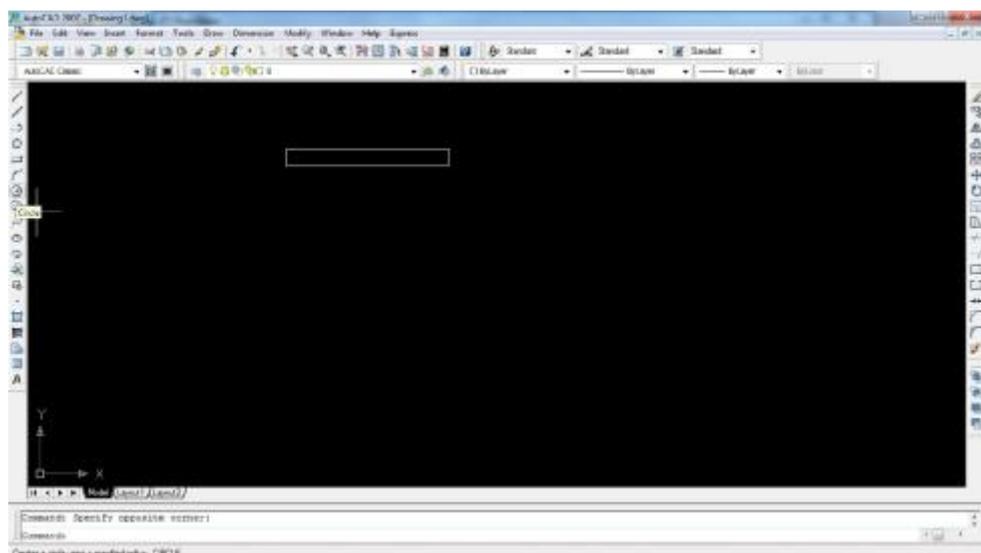


Gambar 3.2 halaman kerja Autocad 2007

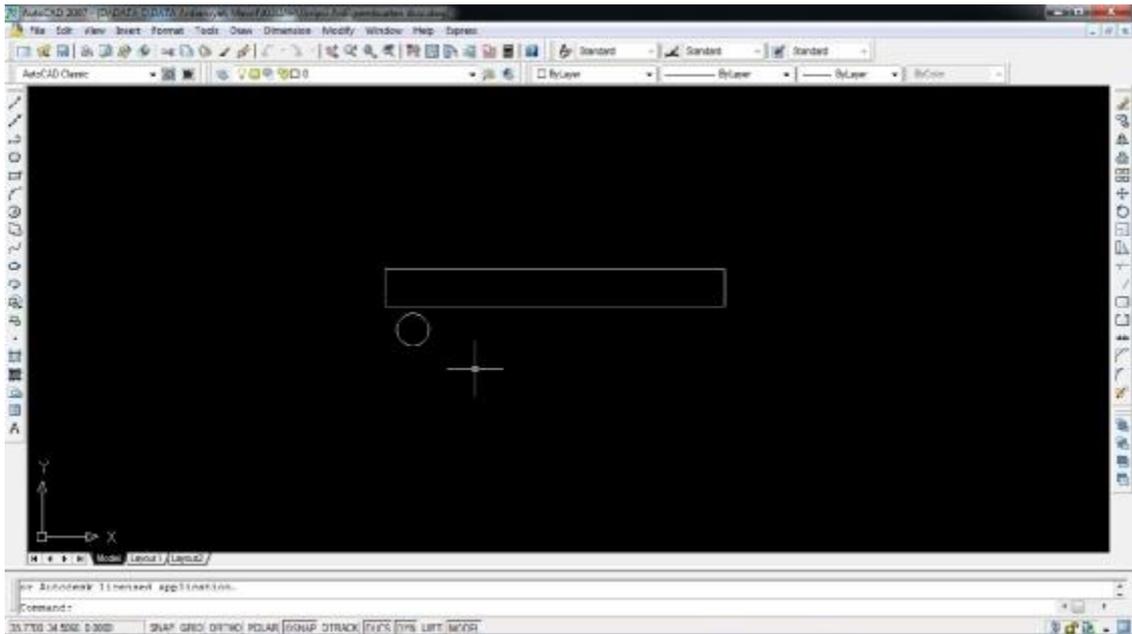


Gambar 3.3 tampilan persegi panjang sebagai kaca *indium tin dioxide* (ITO).

3. Setelah membuat persegi panjang dengan gambar diatas, maka mengarahkan kursor ke circle (lingkaran) pada sudut kiri seperti gambar dibawah, lalu klik tarik dan memposisikan lingkaran dibawah persegi panjang.

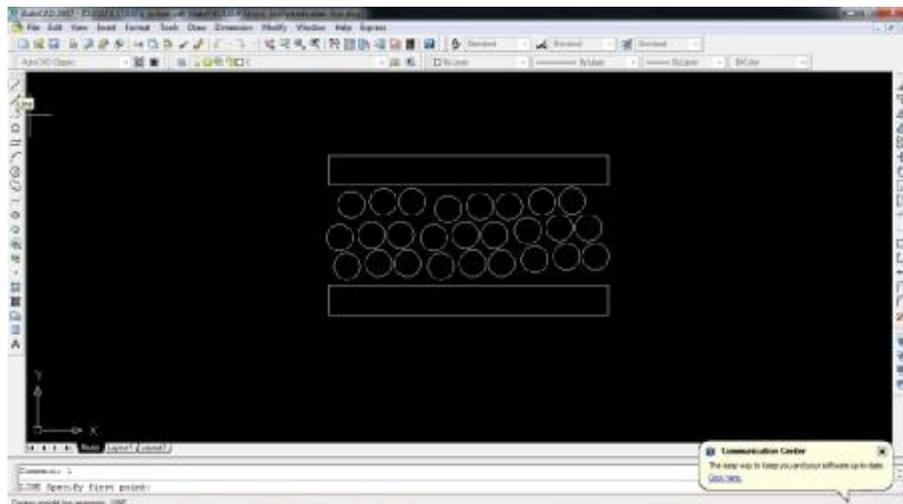


Gambar 3.4 tampilan kursor petunjuk membuat circle (lingkaran) sebagai ion *dye* dan TiO_2 .



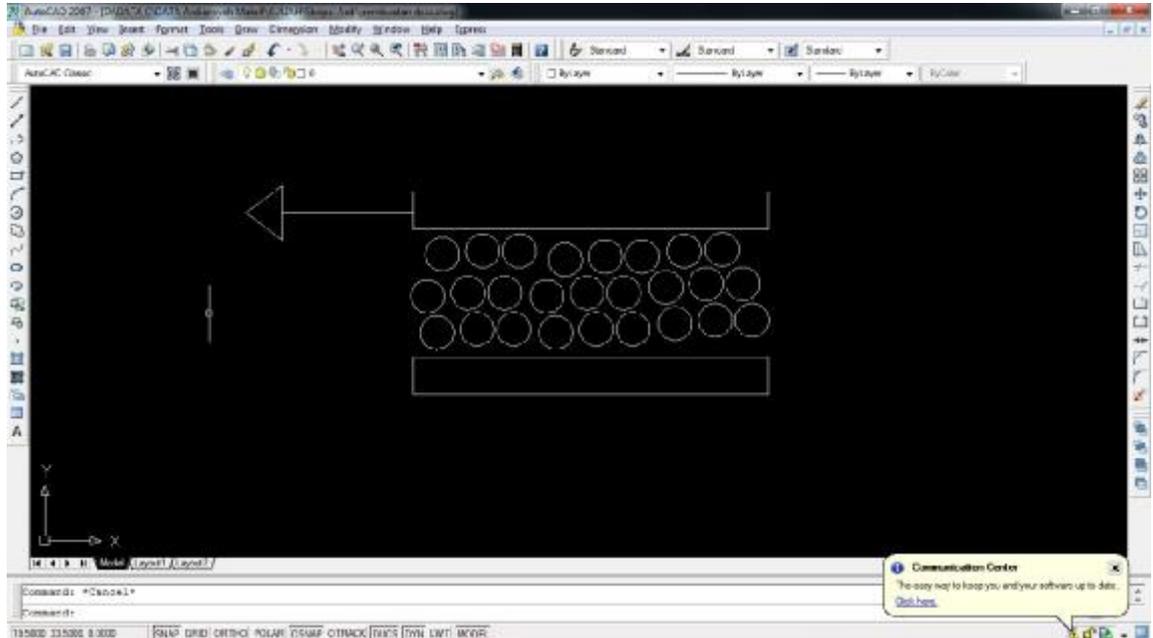
Gambar 3.5 tampilan membuat circle (lingkaran) sebagai ion *dye* dan TiO_2 .

4. Selanjutnya, membuat seperti gambar dibawah dan membatasinya dengan persegi panjang.



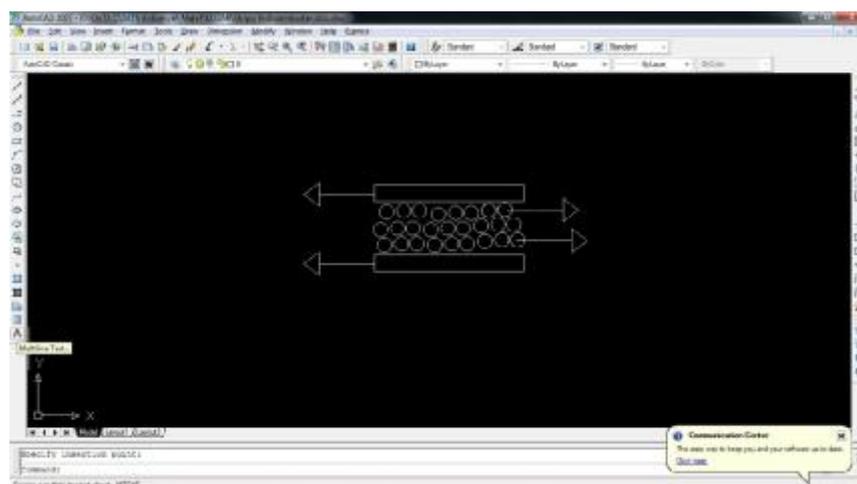
Gambar 3.6 tampilan circle dan dibatasi dengan persegi panjang sebagai kaca *indium tin dioxide* (ITO).

- Setelah itu, membuat panah sebagai petunjuk pada gambar, dengan cara menggunakan line pada sudut kiri atas seperti gambar dibawah.

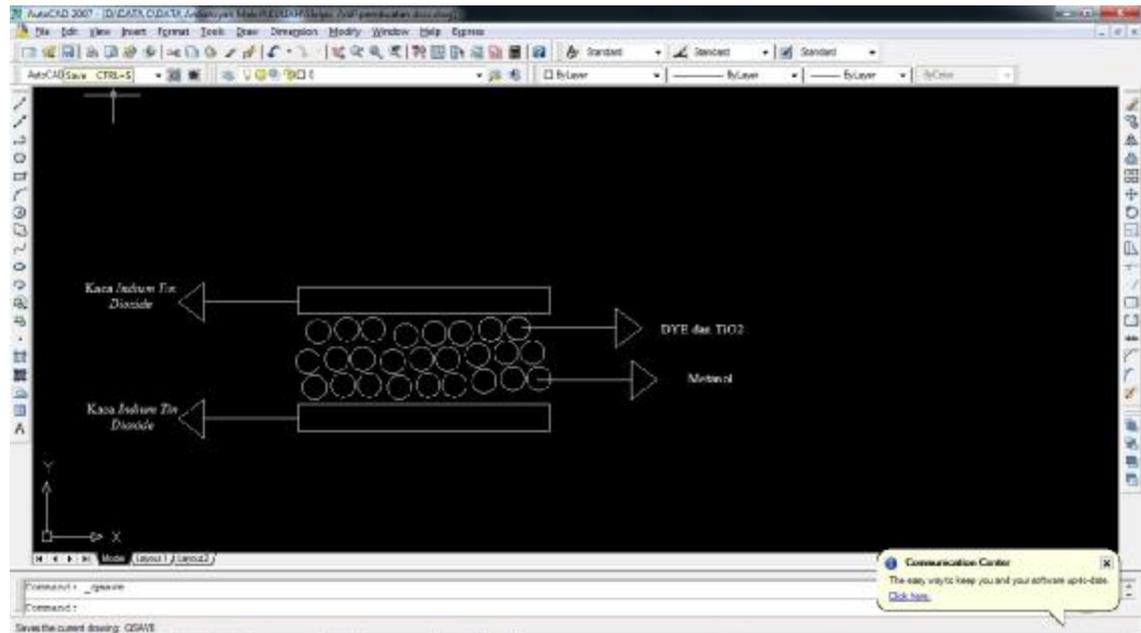


Gambar 3.7 membuat petunjuk untuk mengetahui nama objek yang dibuat.

- Selanjutnya, membuat text pada petunjuk arah untuk memperjelas gambar *dye sensitized solar cell* (DSSC), klik pada multiline text yang teletak disudut kiri paling bawah, seperti gambar berikut.

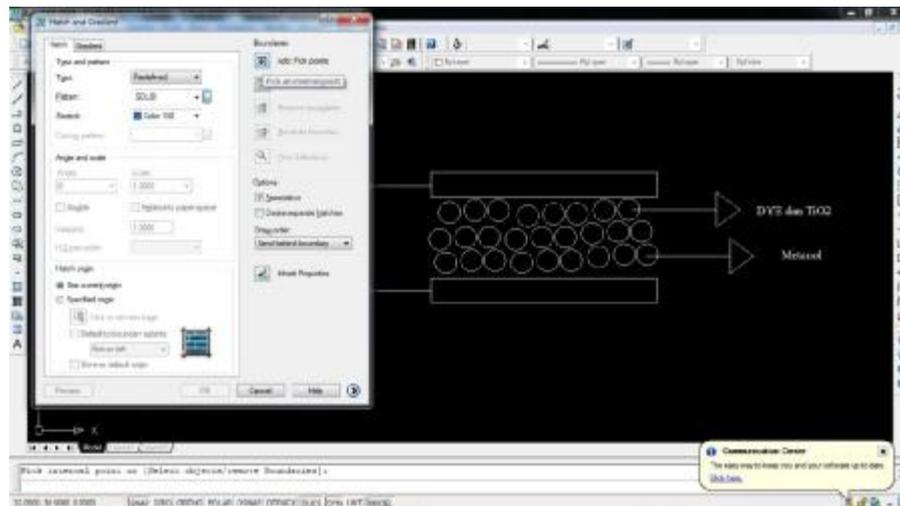


Gambar 3.8 tampilan petunjuk objek yang dibuat.

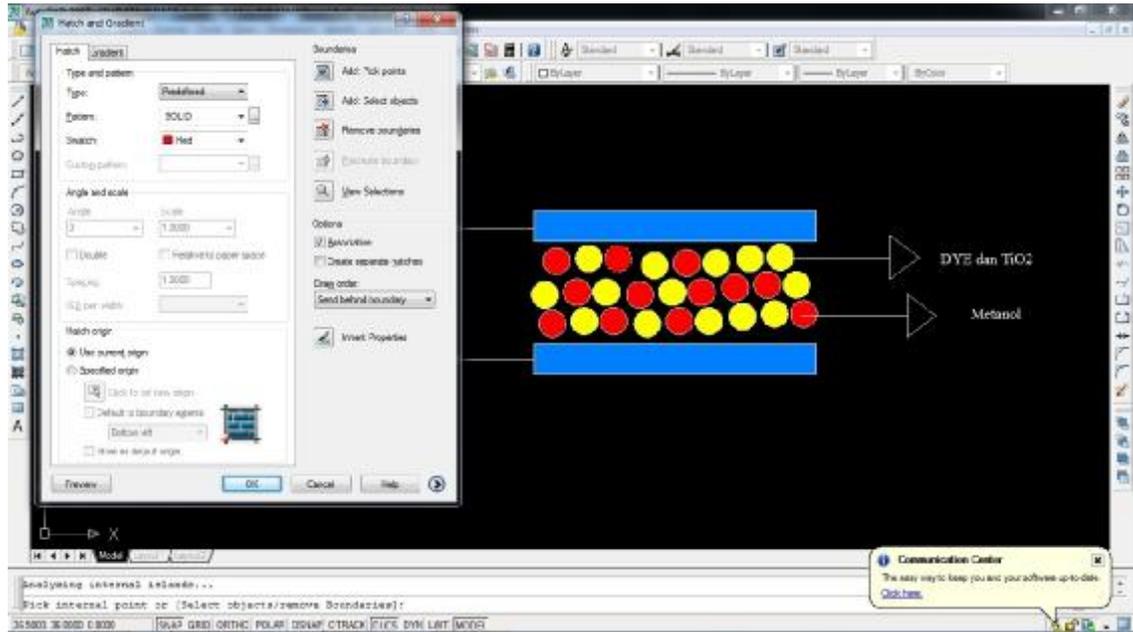


Gambar 3.9 tampilan membuat text.

- Setelah itu, membuat warna pada kaca *indium tin dioxide*, lingkaran *dye* dan TiO_2 dengan cara mengetik huruf h dan menekan enter, selanjutnya memilih pattern “SOLID”, swatch “Color biru 150”, lalu klik “add : Pick point” dan klik ok.

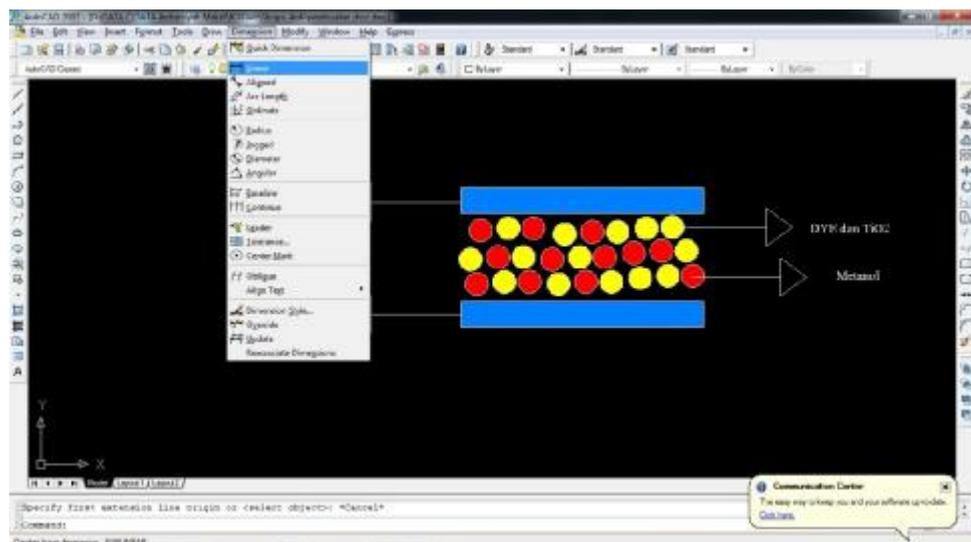


Gambar 3.10 tampilan untuk membuat warna pada kaca *indium tin dioxide* (ITO) serta ion *dye* dan TiO_2 .

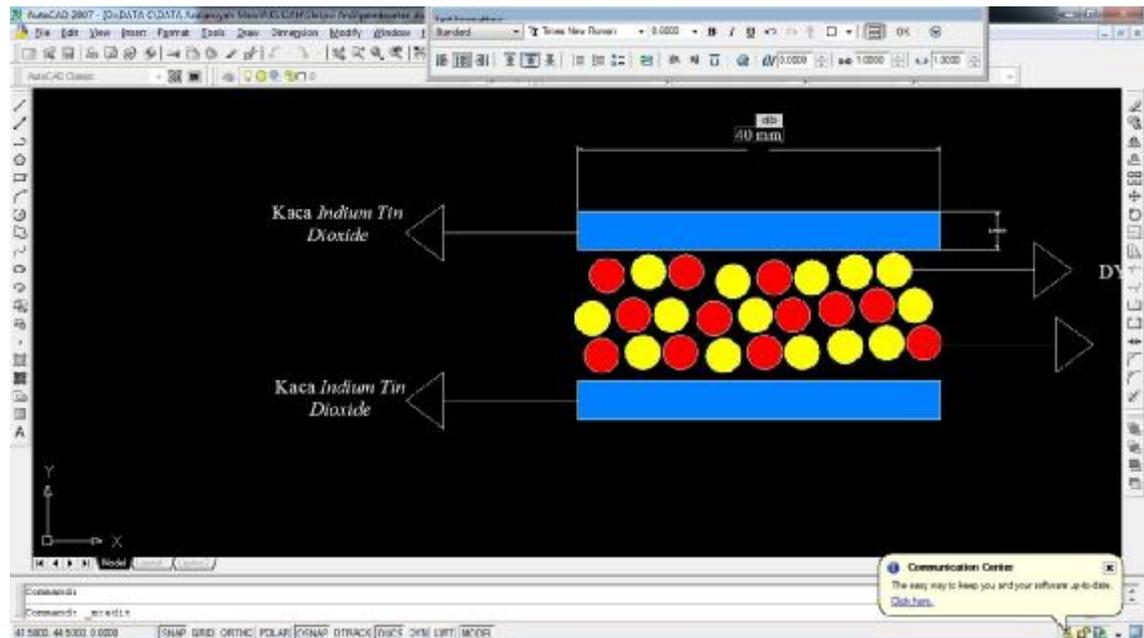


Gambar 3.11 tampilan kaca *indium tin dioxide* serta ion *dye* dan TiO_2 yang telah diberi warna.

8. Selanjutnya membuat ukuran pada kaca *indium tin dioxide* dengan cara klik dimension, klik linear, dan klik disetiap sudut kaca *indium tin dioxide*, lalu arahkan kursor keatas, setelah itu klik dua kali pada angka yang keluar, lalu mengubah dan memperbesar tulisan ukuran tersebut.

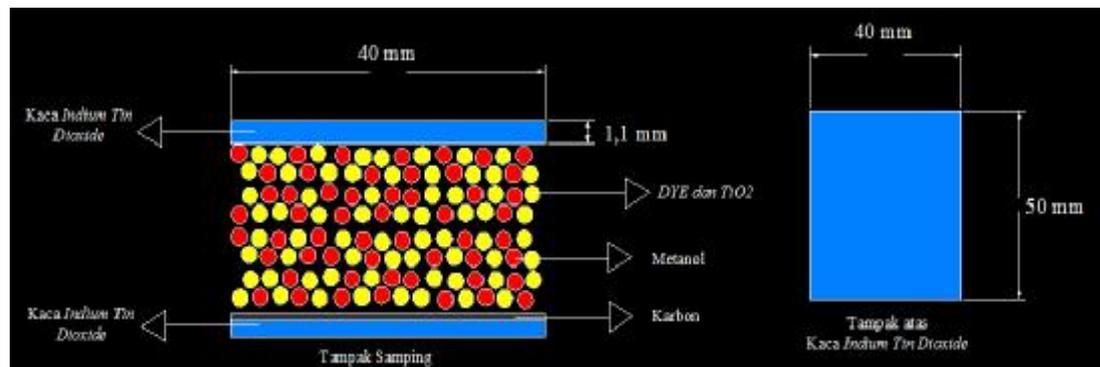


Gambar 3.12 tampilan untuk membuat ukuran pada kaca *indium tin dioxide* (ITO).



Gambar 3.13 tampilan mengedit ukuran pada kaca *indium tin dioxide* (ITO).

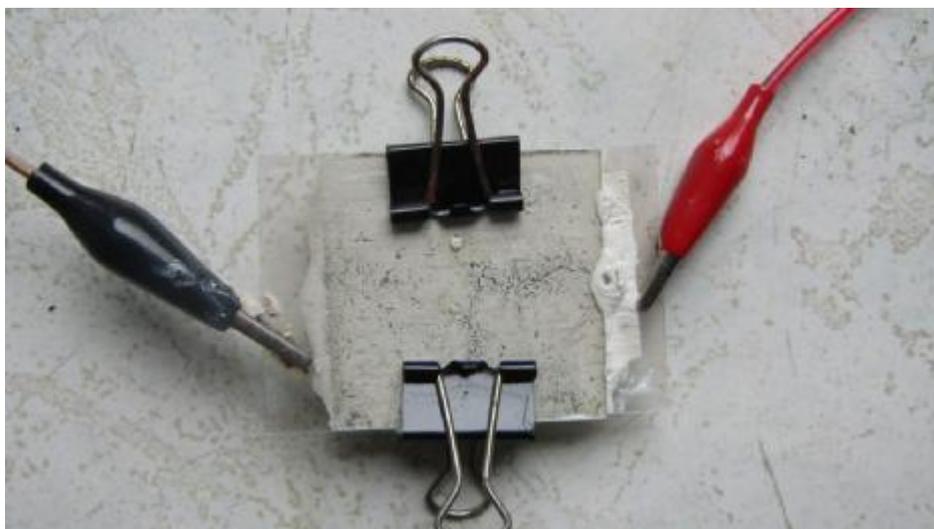
9. Setelah membuat ukuran pada kaca *indium tin dioxide*, maka membuat tampilan kaca *indium tin dioxide* tampak atas, agar terlihat ukuran sebenarnya kaca *indium tin dioxide* dari tampak atas.



Gambar 3.14 tampilan prototype *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan menggunakan autocad 2007.

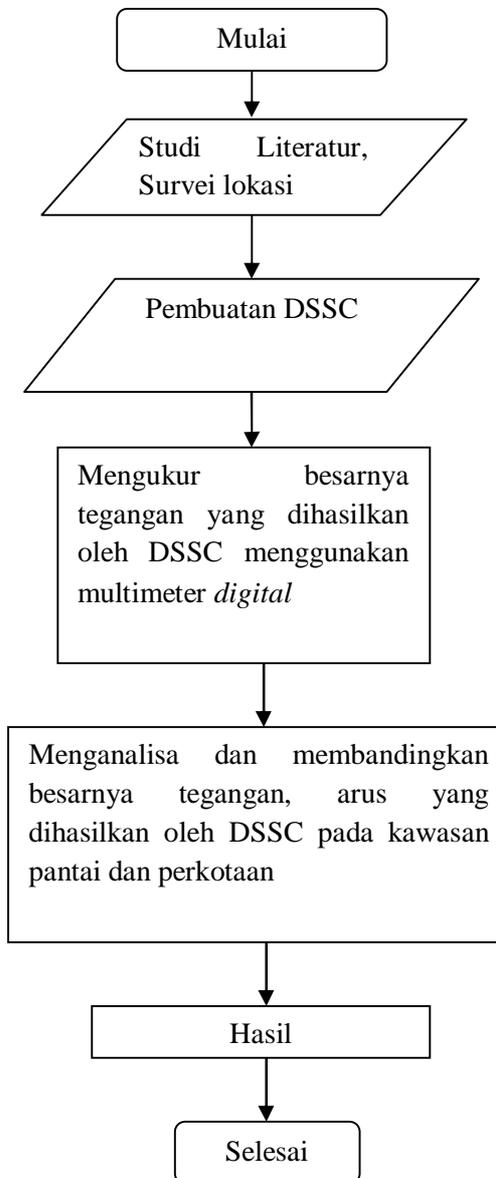


Gambar 3.15 Prototype *dye sensitized solar cell* (DSSC) tampak samping



Gambar 3.16 Prototype *dye sensitized solar cell* (DSSC) tampak atas

3.6 Flowchart Analisa Data Penelitian



Gambar 3.17 Diagram alir analisa data penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perbandingan Pengukuran Tegangan (V) *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

1. Kawasan Pantai

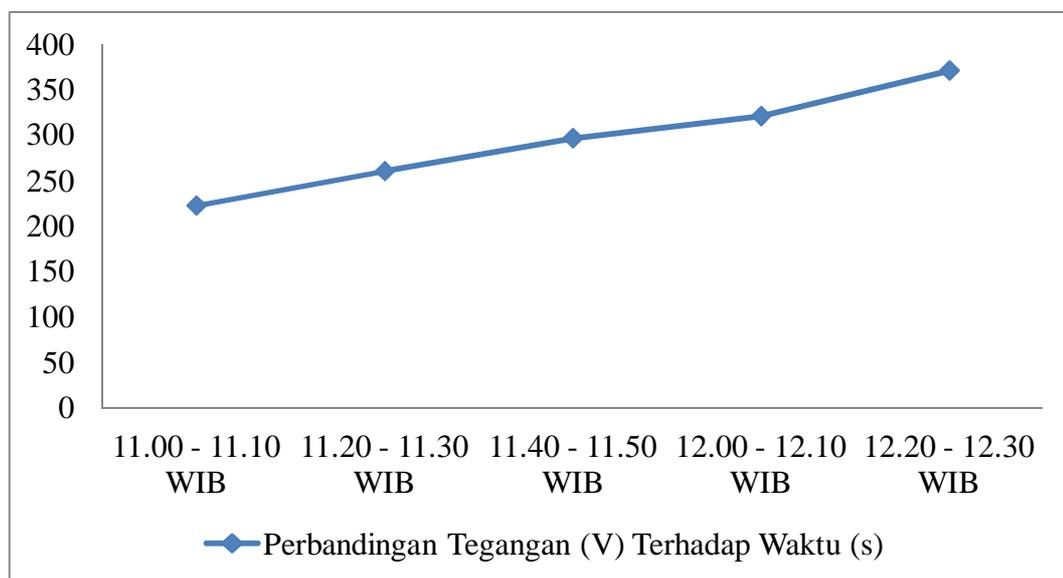
Pada penelitian telah dilakukan pengukuran pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan waktu pengukuran yang berbeda-beda pada kawasan pantai. Saat pukul 11.00 – 11.10 telah dilakukan pengukuran dengan tahanan dari kaca *indium tin dioxide* sebesar 18Ω , kemudian mengukur tegangan yang dihasilkan dari serapan sinar matahari terhadap *dye sensitized solar cell* (DSSC) sebesar 222.4 mili volt.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran (R,V) pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) di kawasan pantai

Waktu	Pengukuran (V) pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	
	R	V
11.00 – 11.10 Wib	18 Ω	222.4 mV
11.20 – 11.30 Wib	18 Ω	260.2 mV
11.40 – 11.50 Wib	18 Ω	296.3 mV

12.00 – 12.10 Wib	18 Ω	320.8 mV
12.20 – 12.30 Wib	18 Ω	370.8 mV

Dari tabel hasil pengukuran tegangan diatas, akan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai

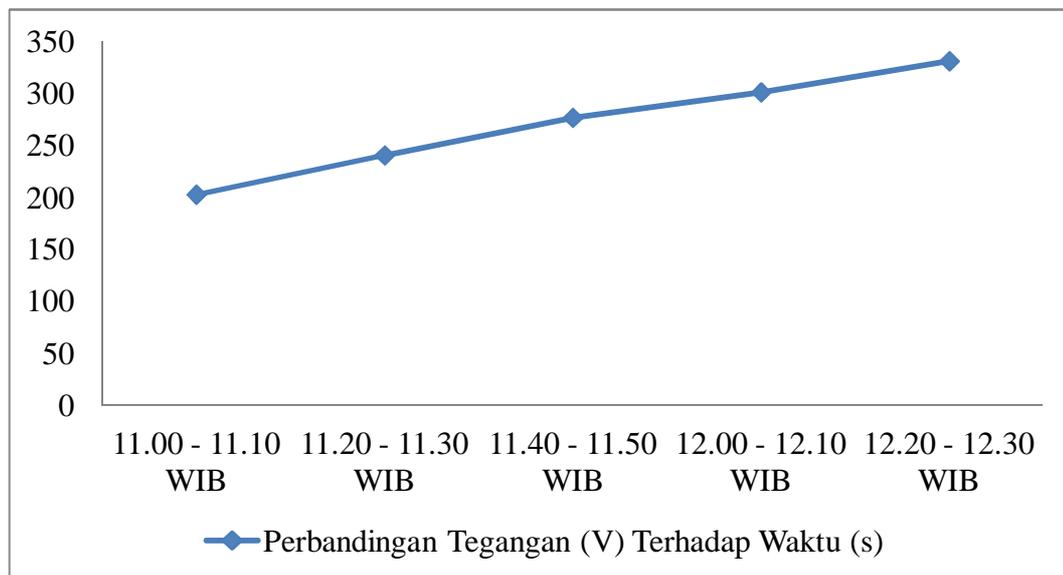
2. Kawasan Perkotaan

Pada penelitian telah dilakukan pengukuran pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan waktu pengukuran yang berbeda-beda pada kawasan pantai. Saat pukul 11.00 – 11.10 telah dilakukan pengukuran dengan tahanan dari kaca *indium tin dioxide* sebesar 18 Ω , kemudian mengukur tegangan yang dihasilkan dari serapan sinar matahari terhadap *dye sensitized solar cell* (DSSC) sebesar 202.4 mili volt.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran (R,V) pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) di kawasan perkotaan

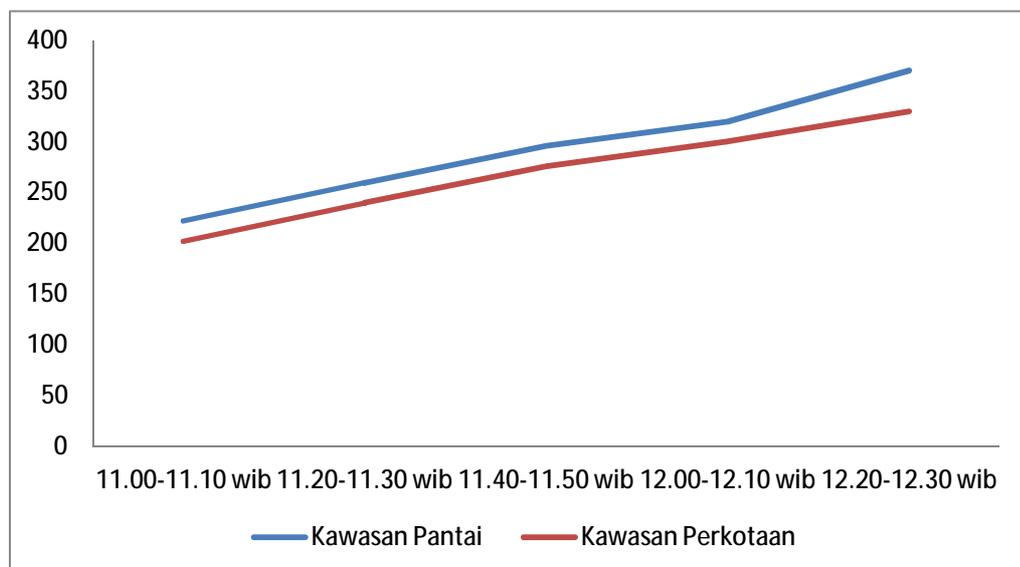
Waktu	Pengukuran (V) pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	
	R	V
11.00 – 11.10 Wib	18 Ω	202.4 mV
11.20 – 11.30 Wib	18 Ω	240.2 mV
11.40 – 11.50 Wib	18 Ω	276.3 mV
12.00 – 12.10 Wib	18 Ω	300.8 mV
12.20 – 12.30 Wib	18 Ω	330.8 mV

Dari tabel hasil pengukuran tegangan diatas, akan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Waktu Di Kawasan Perkotaan

Dari hasil data pengukuran tegangan diatas yang diukur pada kawasan pantai dan kawasan perkotaan, maka perbandingan pada dua kawasan tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai Dan Perkotaan

4.2 Hasil Perbandingan Perhitungan Arus (I) *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

1. Kawasan Pantai

Pada penelitian telah dilakukan pengukuran pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan waktu pengukuran yang berbeda-beda pada kawasan pantai. Saat pukul 11.00 – 11.10 telah dilakukan pengukuran dengan tahanan dari kaca *indium tin dioxide* sebesar 18Ω , kemudian mengukur tegangan yang dihasilkan dari serapan sinar matahari terhadap *dye sensitized solar cell* (DSSC) sebesar 222.4 mili volt.

Tabel 4.3 Data Hasil Penelitian *dye sensitized solar cell* (DSSC) di kawasan pantai

Waktu	Pengukuran (V) pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	
	R	V
11.00 – 11.10 Wib	18 Ω	222.4 mV
11.20 – 11.30 Wib	18 Ω	260.2 mV
11.40 – 11.50 Wib	18 Ω	296.3 mV
12.00 – 12.10 Wib	18 Ω	320.8 mV
12.20 – 12.30 Wib	18 Ω	370.8 mV

Adapun hasil perhitungan arus pada DSSC yang didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$V = I \times R$$

$$I = \frac{V}{R}, \text{ adalah sebagai berikut :}$$

Data ke-1

$$V = I \times R$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{222,4}{18} = 12,35 \text{ mA}$$

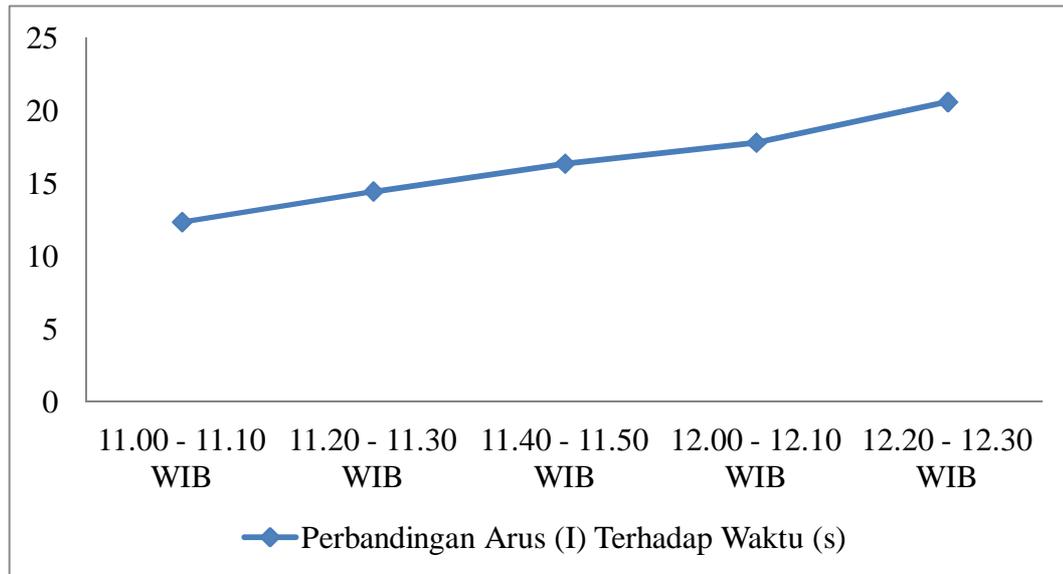
Dan untuk hasil perhitungan data ke 2 sampai data ke 5 akan ditampilkan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan arus pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) di kawasan pantai

Waktu	Perhitungan arus pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)		
	R	V	I
11.00 – 11.10 Wib	18 Ω	222.4 mV	12,35 mA
11.20 – 11.30 Wib	18 Ω	260.2 mV	14,45 mA
11.40 – 11.50 Wib	18 Ω	296.3 mV	16,36 mA
12.00 – 12.10 Wib	18 Ω	320.8 mV	17,8 mA

12.20 – 12.30			
Wib	18 Ω	370.8 mV	20,6 mA

Dari tabel hasil perhitungan arus diatas, akan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Arus Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai

2. Kawasan Perkotaan

Pada penelitian telah dilakukan pengukuran pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan waktu pengukuran yang berbeda-beda pada kawasan pantai. Saat pukul 11.00 – 11.10 telah dilakukan pengukuran dengan tahanan dari kaca *indium tin dioxide* sebesar 18 Ω , kemudian mengukur tegangan yang dihasilkan dari serapan sinar matahari terhadap *dye sensitized solar cell* (DSSC) sebesar 202.4 mili volt.

Tabel 4.5 Data Hasil Penelitian *dye sensitized solar cell* (DSSC) di kawasan perkotaan

Waktu	Pengukuran (V) pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	
	R	V
11.00 – 11.10 Wib	18 Ω	202.4 mV
11.20 – 11.30 Wib	18 Ω	240.2 mV
11.40 – 11.50 Wib	18 Ω	276.3 mV
12.00 – 12.10 Wib	18 Ω	300.8 mV
12.20 – 12.30 Wib	18 Ω	330.8 mV

Adapun hasil perhitungan arus pada DSSC yang didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$V = I \times R$$

$$I = \frac{V}{R}, \text{ adalah sebagai berikut :}$$

Data ke-1

$$V = I \times R$$

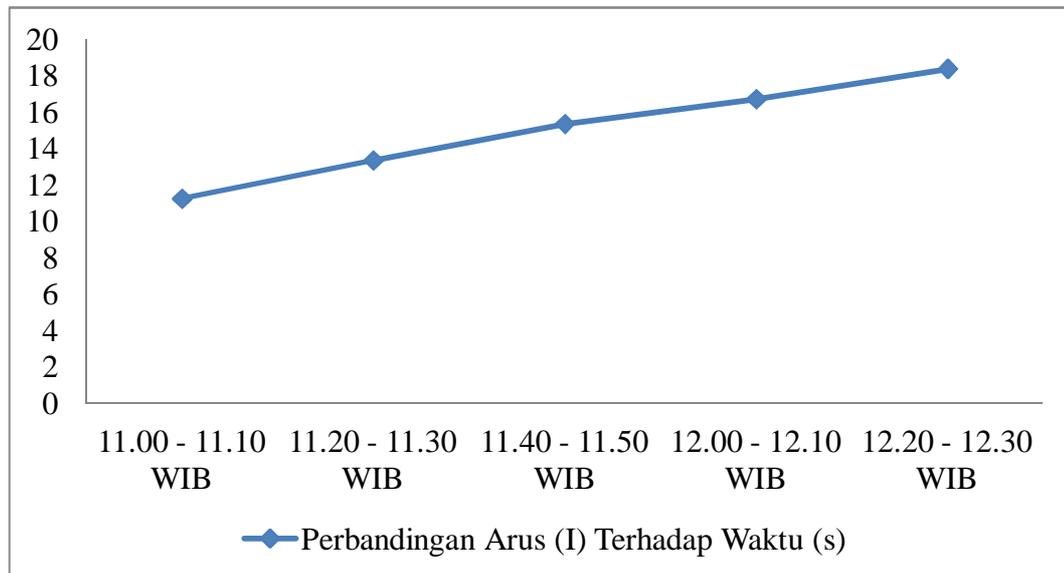
$$I = \frac{V}{R} = \frac{202,4}{18} = 11,24 \text{ mA}$$

Dan untuk hasil perhitungan data ke 2 sampai data ke 5 akan ditampilkan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan arus pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) di kawasan perkotaan

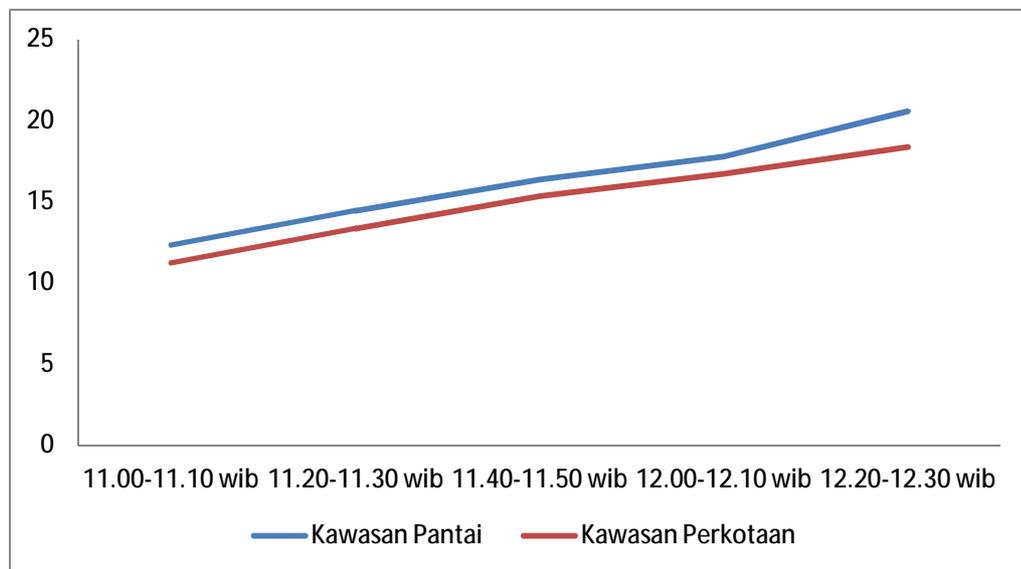
Waktu	Perhitungan arus pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)		
	R	V	I
11.00 – 11.10 Wib	18 Ω	202.4 mV	11,24 mA
11.20 – 11.30 Wib	18 Ω	240.2 mV	13,34 mA
11.40 – 11.50 Wib	18 Ω	276.3 mV	15,35 mA
12.00 – 12.10 Wib	18 Ω	300.8 mV	16,71 mA
12.20 – 12.30 Wib	18 Ω	330.8 mV	18,37 mA

Dari tabel hasil perhitungan arus diatas, akan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Arus Terhadap Waktu Di Kawasan Perkotaan

Dari hasil data perhitungan arus diatas yang diukur pada kawasan pantai dan kawasan perkotaan, maka perbandingan pada dua kawasan tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Arus Terhadap Waktu Di Kawasan Pantai Dan Kawasan Perkotaan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis data yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Tegangan keluaran yang dihasilkan DSSC memiliki perbandingan yang sangat jauh berbeda pada waktu 12.00-12.10 WIB dan 12.20-12.30 WIB. Pada waktu 12.00-12.10 WIB tegangan yang dihasilkan DSSC pada kawasan pantai sebesar 370.8 mV, sedangkan pada kawasan perkotaan sebesar 330.8 mV. Dan memiliki perbedaan tegangan sebesar 40 mV yang dikarenakan tingkat intensitas radiasi matahari yang diserap DSSC pada kawasan pantai lebih besar dibandingkan kawasan perkotaan yang memiliki tingkat penyerapan yang rendah.
2. Arus yang dihasilkan DSSC memiliki perbandingan yang sangat jauh berbeda pada waktu 12.00-12.10 WIB dan 12.20-12.30 WIB. Pada waktu 12.00-12.10 WIB arus yang dihasilkan DSSC pada kawasan pantai sebesar 20.6 mA, sedangkan pada kawasan perkotaan sebesar 18.37 mA.

5.2 Saran

1. Untuk pengembangan tugas akhir ini dapat dikaji lebih rinci lagi tentang bahan yang dapat meningkatkan penyerapan radiasi matahari sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang besar dan mengubahnya dari DC ke AC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitria, A., et al. (2016). “Pembuatan Prototip Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum L*) dengan Variasi Fraksi Pelarut dan Lama Perendaman Coating TiO₂”. Jom FTEKNIK (Vol. 3).
- [2] Hardeli, Suwardani, et al. (2013). “Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami”. Pr 2013osiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, 155–162.
- [3] Ardianto, R., et al. (2015). “Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Lapisan Capacitive Touchscreen Sebagai Substrat dan Ekstrak Klorofil *Nannochloropsis Sp.* Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO₂”. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem (Vol. 3, pp. 325–337).
- [4] Dahlan, D., Leng, T. S., & Aziz, H. (2016). “Dye Sensitized Solar Cells (Dssc) Dengan Sensitiser Dye Alami Daun Pandan, Akar Kunyit Dan Biji Beras Merah (*Black Rice*)”. *Maret*, 8(1), 1.
- [5] Marthua, S., Nadeak, R., & Susanti, D. (2012). “Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO₂ sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Nugrahawati, D. (2012). “Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Mawar Merah (*Rosa Damscena Mill*) sebagai Pewarna Alami Berbasis Antosianin”. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [7] Kumara, M. S. W., & 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”. *Jurnal Fisika*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[8] Ika, L., Haris, A., & Setiyo, D. (2010). “Pembuatan Dye-Sensitized Solar Cell dengan Memanfaatkan Fotosensitizer Ekstrak Kol Merah (*Brassica oleracea var . capitata f rubra*)”. Semarang: Universitas Diponegoro.

[9] Prasatya, Akbar Nur, et al. (2013). “Pengaruh Temperatur Kalsinasi Pada Kaca FTO Yang di-coating ZnO Terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Yang Menggunakan Dye Dari Buah Terung Belanda (*Solanum Betaceum*)”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[10] Program, N. T. (2009).” Chemical Information Profile for Indium Tin Oxide”.