

LAPORAN AKHIR TAHUN

PENELITIAN PRODUK TERAPAN



Rancang Bangun Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Berbasis *Solar Cell* TiO_2 , PLT-Biogas dan *Fuel cell* dengan Pemanfaatan bahan baku Lokal untuk Menciptakan Kemandirian Energi Listrik di Daerah Pedesaan/Terpencil

Pengusulan Tahun ke 1 dari 3 Tahun

TIM PENELITI PENGUSUL

Aris Ansori, S.Pd., MT. (NIDN. 0030037800)

Beni Setiawan, S.Pd., M.Pd. (NIDN. 0017048105)

Bellina Yunitasari S.Si, M.Si. (NIDN. 0024068703)

UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

November, 201

HALAMAN PENGESAHAN

Judul

: Rancang Bangun Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Berbasis Solar Cell TiO₂, PLT-Biogas dan Fuel cell dengan Pemanfaatan bahan baku Lokal untuk Menciptakan Kemandirian Energi Listrik di Daerah Pedesaan/Terpencil

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap

: ARIS ANSORI,

Perguruan Tinggi

: Universitas Negeri Surabaya

NIDN

: 0030037800

Jabatan Fungsional

: Lektor

Program Studi

: Teknik Mesin

Nomor HP

: 081334102045

Alamat surel (e-mail)

: arisansori@unesa.ac.id

Anggota (1)

Nama Lengkap

: BENI SETIAWAN S.Pd, M.Pd

NIDN

: 0017048105

Perguruan Tinggi

: Universitas Negeri Surabaya

Anggota (2)

Nama Lengkap

: BELLINA YUNITASARI S.Si, M.Si

NIDN

: 0024068703

Perguruan Tinggi

: Universitas Negeri Surabaya

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra

: -

Alamat

: -

Penanggung Jawab

: -

Tahun Pelaksanaan

: Tahun ke 1 dari rencana 3 tahun

Biaya Tahun Berjalan

: Rp 49,393,000

Biaya Keseluruhan

: Rp 199,000,000



Mengetahui,
Dekan FT Unesa

(Prof. Dr. Ekohariadi, M.Pd)
NIP/NIK 196004041987011001

Kota Surabaya, 27 - 10 - 2017
Ketua,

(ARIS ANSORI,)
NIP/NIK 197803302008121002



Menyetujui,
Kepala LPPM Unesa

(Prof. Dr. Lies Amin Lestari, M.A., M.Pd)
NIP/NIK 196101121988032004

Ringkasan

Peningkatan kebutuhan energi listrik rata-rata 18% per-tahun seiringan pertumbuhan pendudukan dan pertumbuhan ekonomi di masyarakat pedesaan atau daerah terpencil/terisolir. Penyediaan energi listrik di Indonesia mempunyai beberapa hambatan, diantaranya; 1) penyediaan energi listrik masih belum menjangkau seluruh desa-desa di Indonesia, 2) pembangkit energi listrik di Indonesia masih banyak menggunakan bahan bakar fosil, seperti batubara dan BBM sebagai bahan bakar PLTU, 3) pembangunan infrastruktur jaringan listrik untuk daerah-daerah terpencil memerlukan investasi yang besar, 4) Jaringan listrik PLN belum dapat menjangkau seluruh daerah di Indonesia, terutama daerah-daerah terpencil. Pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan (EBT) yang melimpah di Indonesia, seperti tenaga surya, angin, air, panas bumi, biomassa, biohidrogen dapat dijadikan sumber energi pembangkit energi listrik di daerah pedesaan/terpencil. Dasar Pemanfaatan EBT sebagai sumber pembangkit listrik di pedesaan/terpencil, diantaranya 1) Sumber EBT relatif bisa didapatkan dimanapun tergantung potensi masing-masing daerah; 2) Penyaluran listrik dari pembangkit besar memerlukan biaya distribusi tinggi, 3) Menekan penggunaan bahan bakar fosil, 4) pemberdayaan masyarakat dengan memperkenalkan dan mengimplementasikan teknologi penyediaan energi listrik. Solusi pemecahan masalah penyediaan energi listrik di daerah pedesaan/terpencil adalah dengan sistem pembangkit listrik hybrid dengan memanfaatkan renewable energi. Tujuan penelitian mendesain pembangkit listrik energi tenaga surya yang menggunakan solar cell TiO_2 , Metode penelitian adalah penelitian eksperimen, yaitu mendesain pembangkit listrik tenaga surya cell dengan menggunakan solar cell TiO_2 , pembuatan solar cell TiO_2 dengan menggunakan substrat tembaga sebagai elektroda kerja (E_{kerja}) dengan penempelan TiO_2 dan Al_2O_3 dengan teknik sol gel dan *doctor blad*. Hasil SEM dengan pembesaran 500x, 1000x, 2000x dan 3000x menunjukkan campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:3) menunjukan jumlah serpihan yang paling banyak serpihan oksida aluminium dari pada campuran (1:1) dan (1:2). Peningkatan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sel disebabkan oleh adanya oksida aluminium yang ada di antara logam Ti yang dapat meningkatkan nilai aktivasi electron saat permukaan sel terkena paparan sinar matahari. Tegangan modul *solar cell* harus diatas tegangan baterai 12 volt. Sel *solar cell* TiO_2 yang menggunakan campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ supaya dapat mencapai tegangan pengisian baterai, maka dibuat tegangan 16 volt-19 volt. Sehingga satu modul yang dibuat dengan 38 sel di susun seri dan selebihnya di susun paralel. Dimensi solar cell TiO_2 dengan luas 40 x 40 x 5 cm dapat menghasilkan rata-rata 10 watt-15 watt.

Kata Kunci: solar cell, berbasis TiO_2 , performa, listrik hybrid

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur peneliti panjatkan kehadirat Allah S.W.T. atas limpahan Rahmat, Taufiq dan Hidayah-Nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan tahapan penelitian dalam rangka kegiatan penelitian produk terapan (PPT) tahun ke pertama dengan judul **“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Berbasis *Solar Cell* TiO_2 , PLT-Biogas dan *Fuel cell* dengan Pemanfaatan bahan baku Lokal untuk Menciptakan Kemadirian Energi Listrik di Daerah Pedesaan/Terpencil”**

Penelitian ini membahas tentang pembuatan *solar cell* TiO_2 yang akan digunakan untuk pembangkit listrik energi terbarukan yang dapat di aplikasikan sebagai sumber energi terbarukan.

Pada kesempatan ini peneliti tidak lupa mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian produk terapan baik dalam bentuk pendanaan penelitian, masukan dan penyediaan prasarana penelitian, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Lies Amin Lestari, MA., M.Pd. Selaku Ketua LPPM Universitas Negeri Surabaya.
2. Direktur DRPM Kemenristekdikti yang telah mendukung penelitian ini dari segi pendanaan penelitian.

Peneliti menyadari sepenuhnya masih banyak kekurangan dalam laporan kemajuan kegiatan penelitian ini, sehingga saran dan masukan yang bersifat membangun kami sangat harapkan demi kesempurnaan laporan akhir penelitian nantinya. Semoga laporan kemajuan ini dapat menjadi modal peneliti untuk menyelesaikan laporan akhir nantinya.

Surabaya, November 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Lembar Pengesahan	i
Ringkasan	ii
Prakata.....	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar.....	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Lampiran	vii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan.....	5
2.2 Teknologi <i>Solar Cell</i>	8
2.3 Prinsip Kerja <i>Solar Cell</i>	10
2.4 Komponen <i>Solar Cell</i>	20
2.5 Parameter Kerja <i>Solar Cell</i>	22
2.6 Aplikasi <i>Solar Cell</i>	28
2.7 Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i>	30

BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian	36
3.2 Manfaat Penelitian	36

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Rencana Penelitian	37
4.2 Metode Penelitian.....	38
4.3 Prosedur Pengumpulan Data	39
4.4 Teknik Analisa dan Induksi	39

BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Hasil Penelitian	40
5.2 Pembahasan	45

BAB VI Rencana Tahan Berikutnya

6.1 Rencana tahap penelitian berikutnya	47
---	----

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan	48
7.2 Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Semikonduktor jenis p dan jenis n	12
Gambar 2.2 Semikonduktor jenis p dan jenis n di sambung jadi satu	12
Gambar 2.3. Sambung semikonduktor jenis p dan jenis n membentuk daerah positif.....	13
Gambar 2.4. Diatas sambung semikonduktor jenis p dan jenis n membentuk medan magnet	13
Gambar 2.5. Permukaan semikonduktor terkena sinar matahari	14
Gambar 2.5. Aliran elektron dari terminal p ke terminal n	15
Gambar 2.6 Struktur photovoltaic modules of dye solar cells	16
Gambar 2.7. Sel <i>solar cell</i> berbasis TiO_2 dan logam Fe	18
Gambar 2.8 Skema Kerja <i>Sel solar cell</i> Pewarna Tersensitisasi.....	20
Gambar 2.9 Struktur komponen sel <i>solar cell</i>	23
Gambar 2.10 Modul sel <i>solar cell</i>	24
Gambar 2.11 Karakteristik kurva I-V pada sel <i>solar cell</i>	24
Gambar 2.12. Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan temperature.....	25
Gambar 2.13. Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan iradiasi	25
Gambar 2.14. Skema ekivalen sebuah sel <i>solar cell</i>	26
Gambar 2.16 <i>Solar home system</i>	30
Gambar 2.17 Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i>	31
Gambar 2.18 Konsep arsitektur jaringan mikro	32
Gambar 2.19 Konsep PLH baterai dipasang disuatu lokasi dan dihubungkan ke AC bus sebelum dikoneksikan ke grid	35
Gambar 2.20 Konsep pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah	35
Gambar 2.21. Konsep pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpulkan ke grid (AC)	35
Gambar 2.22 Piranti pembangkit listrik <i>solar cell</i>	36
Gambar 3.1 Flow chart rancangan penelitian	38
Gambar 3.2 Rancangan instrumen penelitian	39
Gambar 5.1 Desain solar cel TiO_2	41
Gambar 5.2 Uji solar cel TiO_2	41
Gambar 5.3 Foto SEM permukaan elektroda sel $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:1).....	42
Gambar 5.4 Foto SEM permukaan elektroda sel $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:2).....	43
Gambar 5.5 Foto SEM permukaan elektroda sel $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:3).....	44
Gambar 5.6 Performa satu sel komposisi $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:1)	45
Gambar 5.7 Performa satu sel komposisi $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:2)	45
Gambar 5.8 Performa satu sel komposisi $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:3)	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Efisiensi modul diukur pada spektrum AM 1.5 pada suhu 25°C ...	28
Tabel 2.2. Performa Sel <i>Solar cell</i> Fotovoltaik dan Sel <i>Solar cell</i> Fotoelektrokimia	29

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Indonesia dikenal sebagai negeri seribu pulau, kondisi geografis menyebabkan penyebaran sistem tenaga listrik yang tidak merata di setiap wilayah terutama di daerah pedesaan/terpencil. Kebutuhan energi listrik bagi masyarakat merupakan kebutuhan pokok yang tidak biasa dilepaskan dari kehidupan sehari-hari. Lokasi tinggal lebih dari 60% penduduk berdiam di pedesaan, terpencil, memiliki pola perumahan yang menyebar, kondisi tersebut sangat menyulitkan dalam perencanaan penyediaan listrik., hal ini disebabkan beberapa faktor diantaranya; a) Kondisi wilayah geografi Indonesia sangat luas dan terdiri dari pulau-pulau, b) Kurangnya suplai bahan bakar untuk PLTU, c) Naiknya kebutuhan listrik yang tidak seimbang dengan ketersediaan listrik, d) Tidak adanya konektivitas jaringan untuk daerah terpencil.

Ketidaktersediaanya energi listrik di daerah pedesaan/terpencil tersebut menuntut masyarakat untuk mampu menyediakan kebutuhan energi listrik sendiri, sehingga banyak yang menggunakan generator diesel untuk menghasilkan sumber daya listrik. Penggunaan generator diesel untuk menghasilkan energi listrik juga mempunyai beberapa kendala, seperti; kesulitan suplai bahan bakar diesel, membutuhkan biaya perawatan tinggi dan kemampuan daya listrik yang terbatas. Sedangkan penggunaan energi surya dengan *solar cell* komersial memerlukan biaya yang besar, disebabkan harga *solar cell* komersial yang masih mahal. Penggunaan energi matahari diperlukan dengan *solar cell* yang harganya murah, sehingga terjangkau oleh masyarakat pedesaan/terpencil.

Pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik perlu dilakukan, seperti potensi energi matahari, energi biomassa dan biogas yang bahan bakunya jumlahnya melimpah sekitar mereka. Berdasarkan peta potensi energi terbarukan di Indonesia, seperti; 1) Potensi energi matahari Indonesia memiliki potensi energi listrik *solar cell* sebesar 4.5 kW/m²/hari. Hal ini tentu sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, 2) Potensi peternakan yang sangat besar yang tersebar di beberapa daerah di Indonesia. Populasi hewan ternak yang beraneka ragam, seperti; sapi perah, sapi potong, kerbau, kuda, kambing, domba, babi, ayam buras,

ayam ras pedaging, ayam ras petelur, itik merupakan potensi yang sangat besar sebagai bahan baku pembuatan energi biogas untuk dikonversi menjadi energi listrik. Pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber energi, tidak mengurangi jumlah pupuk organik yang bersumber dari kotoran ternak. Hal ini karena pada pembuatan biogas, kotoran ternak yang sudah diproses dikembalikan ke kondisi semula karena yang diambil hanya gas metana yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik., 3) Potensi biofuel yang dapat digunakan sebagai bahan bakar *fuel cell* untuk menghasilkan listrik. Biofuel dapat diproduksi dari sumber-sumber karbon dan dapat diproduksi dengan cepat dari biomassa. Bahan baku pembuatan biofuel dapat diperoleh dari, kelapa sawit, jarak pagar, singkong, jagung, sagu, gula aren dan sorgum, dimana pengembangan tersebut tergantung pada potensi bioenergi daerah.

Berdasarkan permasalahan penyediaan energi listrik di daerah pedesaan atau daerah terpencil yang tidak ada koneksitas jaringan listrik PLN dan potensi sumber energi terbarukan yang melimpah di daerah pedesaan/terpencil yang dapat dikonversi menjadi energi listrik, maka penting dibuat sistem pembangkit listrik hybrid energi terbarukan yang melimpah jumlahnya di daerah pedesaan/terpencil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan penyediaan energi listrik di daerah pedesaan atau daerah terpencil dan potensi yang besar sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan di daerah pedesaan/terpencil, maka terdapat beberapa permasalahan yang perlu dilakukan penelitian, sebagai berikut:

- a. Bagaimana model *solar cell* TiO_2 yang mudah digunakan sebagai devais konversi energi matahari menjadi listrik?
- b. Bagaimana variasi komposisi TiO_2 dan Al_2O_3 pada lapisan film *solar cell* TiO_2 terhadap penyerapan energi cahaya matahari?
- c. Bagaimana performa *solar cell* TiO_2 dengan campuran Al_2O_3 sebagai pembangkit energi listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, adalah untuk mengetahui model desain yang cocok untuk jenis *solar cell* TiO_2 dan performanya, dengan mengacu pada rumusan masalah penelitian.

- a. Membuat model *solar cell* TiO_2 yang mudah digunakan sebagai devais konversi energi matahari menjadi listrik.
- b. Mengetahui variasi komposisi TiO_2 dan Al_2O_3 yang ideal untuk lapisan film *solar cell* TiO_2 .
- d. Mengetahui performa *solar cell* TiO_2 dengan campuran Al_2O_3 sebagai pembangkit energi listrik.

1.4 Batasan penelitian

Untuk lebih memfokuskan pada penelitian yang dilakukan, diperlukan pembatasan penelitian dengan batasan penelitian sebagai berikut:

- 1. Penelitian pembuatan produk *solar cell* TiO_2 hanya menggunakan variasi komposisi TiO_2 dan Al_2O_3
- 2. Elektroda sel yang digunakan sebagai elektroda kerja adalah lembaran tembaga.
- 3. Dimensi ukuran satu cell yaitu $10 \times 10 \times 0,18 \text{ mm}$
- 4. Dey yang digunakan adalah dey alamiah, yaitu dey klorofil dari daun binahong.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Penelitian Aris A, dkk (2014) pembuatan sel *solar cell* TiO_2 dengan desain *solar cell* TiO_2 dibuat dengan ukuran persel 50 x 50 mm, dengan luas permukaan secara keseluruhan 1000 x 400 mm, sedangkan masing-masing sel di rangkaian secara kombinasi antara sel dengan rangkaian seri dan parallel, 32 sel dirangkai secara seri dan per 32 sell sebanyak 5 set dipasang parallel. sedangkan untuk bahan katoda digunakan logam almunium (Al) dan bahan anoda digunakan tembaga oksida (CuO). Besarnya energi listrik yang dihasilkan *solar cell* TiO_2 mengalami kenaikan dan penurunan secara fluktuatif, hal ini dipengaruhi besarnya intensitas energi matahari yang diterima permukaan *solar cell* TiO_2 . Sedangkan kinerja *solar cell* berbasis TiO_2 sangat dipengaruhi oleh kondisi klimatologi daerah setempat (suhu lingkungan dan radiasi matahari) dan parameter listriknya (*short circuit current*, *open circuit voltage*). Sedangkan untuk mengatasi kenaikan dan penurunan tegangan *solar cell* TiO_2 yang disebabkan perubahan intensitas cahaya matahari yang sampai dipermukaan *solar cell* TiO_2 digunakan stabiliser tegangan yang dapat menstabilkan tegangan pengisian ke baterai, sehingga pengisian baterai dapat berlangsung kontinu.

Penelitian Aris A, dkk (2015), dengan pembuatan prototype pembangkit listrik hybrid *solar cell* komersial dan *fuel cell* diperoleh performa produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem *solar cell* pada siang hari dengan pemasangan tiga unit *solar cell* 100 Wp dirangkai *parallel* sudut kemiringan *solar cell* 25° paling optimal menghasilkan energi listrik sebesar 234,75 watt dan sistem *fuel cell* 12 watt pada malam hari menghasilkan energi listrik sebesar 9,22 watt. Sedangkan analisa penggunaan energi listrik pada pembangkit listrik *hybrid* dengan beban maksimum 500 watt, dihasilkan besar arus listrik dari *solar cell* sebesar 11,74 ampere dan kapasitas penyimpanan arus listrik sebesar 100 ampere. Penggunaan arus listrik AC dengan mengkonversi arus listrik DC 24 volt menjadi arus listrik AC 220 volt dengan inventer membutuhkan arus listrik sebesar 2,27 ampere.

Sedangkan penelitian dalam bidang *fuel cell* tipe PEMFC adalah; 1) penelitian penggunaan beban transien pada *fuel cell* tipe PEMFC terhadap efisiensi bahan bakar hidrogen (H_2) dan didapatkan hasil perubahan beban pada sirkuit luar *fuel cell* tipe PEMFC terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar gas hidrogen (H_2). 2) penggunaan methanol sebagai bahan bakar *fuel cell* tipe PEMFC dan didapatkan hasil penelitian bahwa penggunaan methanol sebagai bahan bakar *fuel cell* tipe PEMFC kurang efektif karena methanol harus dikonversi menjadi as hidrogen (H_2) dengan sebuah katalis, 3) efisiensi dan daya *fuel cell* tipe PEMFC pada beban transien.

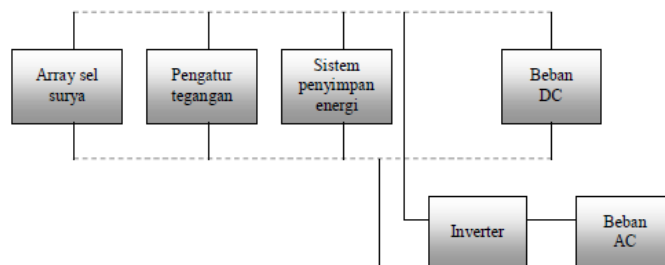
Penelitian sabhan Kanatadan Rifriyanto Buhohang (Electrichsan, vol. 01, no.02, desember 2014) Pemodelan Pembangkit Listrik Hybrid Berbasis Energi Terbarukan Menuju Desa Mandiri Energi Di Kecamatan Pinolosian Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan Desa, desa yang memiliki jumlah penduduk mencapai 1165 jiwa dan terus berkembang, dengankonsumsi energi listrik sebesar 1246,572 kWh/hari. Mengacu pada NPC (Net Present Cost), modal awal dan biaya operasional. Hasil simulasi menunjukkan daya yang dihasilkan PV sebesar 19.080kWh/tahun dan daya yang dihasilkan Microhydro sebesar 566.868kWh/tahun. sehingga jumlah daya yang dihasilkan ini cukup untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di desa Pinolosian yang hanya sebesar 450.774kWh/tahun produksi listrik pada sistem hybrid adalah sebesar 675.685 kWh/tahun, terbagi atas produksi PV sebesar 19.080kWh/tahun(3%), Microhydro sebesar 566.868kWh/tahun (84%) dan pembelian dari jaringan listrik PLN sebesar 89.738kWh/tahun (13%). Sedangkan total konsumsi listrik keseluruhan yaitu sebesar 671.333kWh/tahun, terbagi atas beban pelanggan di desa pinolosian sebesar 450.774kWh/tahun (67%) dan penjualan pada jaringan PLN sebesar 220.558kWh/tahun (33%).

Penelitian Rangga Ariantol, dkk (2016) pemanfaatan teknologi pembangkit listrik hybrid pada peternakan ayam desa sukonolo kabupaten malang, menghasilkan pembangkit *hybrid* mampu menghasilkan energi listrik 12 kWh/hari dengan kebutuhan mitra mencapai 5,31 kWh/hari sehingga peternak ayam dapat menghemat biaya listrik sebesar Rp. 173.637/bulan, sehingga hasil penerapan Pembangkit Hybrid terbukti mampu mengurangi biaya produksi

dengan memanfaatkan energi terbarukan pada peternakan ayam Desa Sukonolo Kabupaten Malang, Sehingga kemandirian energi dapat tercapai.

Pengembangan Prototype Pembangkit Listrik System Hybrid Tenaga Gasifikasi Dan Biogas Suyitno, Dharmanto Lppm UNS (2009) hasil penelitian diperoleh hasil bahwa pembangkit listrik tenaga gasifikasi dan tenaga biogas telah berhasil dirancang bangun dan diujicoba. Semakin besar beban, semakin besar efisiensi total motor berbahan bakar biogas. Efisiensi total dari motor bakar berbahan bakar biogas adalah sekitar 15% pada beban 1000W. Semakin besar beban menyebabkan efisiensi total motor berbahan bakar producer gas meningkat Efisiensi total dari motor bakar berbahan bakar producer gas adalah sekitar 8% pada beban 1000W. Efisiensi total tertinggi untuk pembangkit listrik tenaga producer gas diperoleh pada kapasitas sekam 5 kg/jam dan λ 0,3. Pada saat listrik PLN diganti listrik dari biogas diperoleh penghematan Rp 35.400 per bulan untuk pemakaian 2 jam sehari. Pada saat listrik PLN diganti dengan listrik dari producer gas diperoleh penghematan Rp 47.400 per bulan untuk pemakaian 2 jam sehari.

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga *Solar cell* Untuk Daerah Pedesaan yang dilakukan Asnal Effendi (2015) Pembangkit Listrik Tenaga *solar cell* komponen utama yang sangat dibutuhkan adalah sinar matahari untuk sub sistem *Solar cell* Selain itu dengan tidak diperlukannya jaringan transmisi dan distribusi, maka rugi-rugi transmisi dan distribusi dapat dikurangi. Tentunya penghematan ini akan mencapai maksimum untuk sistem-sistem dengan saluran transmisi yang panjang.



Gambar 2.1. Skema sistem Pembangkit Listrik *Solar cell* yang Berdiri sendiri

Penelitian rancang bangun pembangkit listrik sistem *hybrid* On-grids berbasis *solar cell* TiO₂, PLTBG dan *Fuel cell* mempunyai orisinalitas yang tinggi, hal ini dikarenakan pada penelitian dilakukan penggabungan sistem PLTS dengan *solar cell* TiO₂, PLTBG dan teknologi *fuel cell* untuk mengatasi kebutuhan listrik di daerah pedesaan/terpencil. Sedangkan kontribusi hasil penelitian ini pada perkembangan ilmu pengetahuan adalah sebagai referensi rekayasa sistem pembangkit listrik sistem *hibryd* dengan sumber energi terbarukan.

2.2 Teknologi Solar Cell

Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. Suplai energi *solar cell* dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai 3×10^{17} joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini.

Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang λ dan frekuensi photon V dirumuskan dengan persamaan:

$$E = h.c / \lambda$$

Dengan :h adalah konstanta *Plancks* (6.62×10^{-34} J.s)

c adalah kecepatan cahaya dalam vakum (3.00×10^8 m/s).

Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu. Penggunaan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n, cahaya yang datang akan mampu dirubah menjadi energi listrik.

Teknologi pembuatan sel *solar cell* yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti untuk mendapatkan sel *solar cell* yang memiliki efisiensi yang tinggi yang murah dan mudah dalam pembuatannya.

Perkembangan teknologi *solar cell* sampai sekarang sudah sampai generasi ke tiga, dari generasi pertama *solar cell* berbasis silicon, generasi kedua *solar cell* berbasis lapisan tipis (thin film) dan generasi ketiga *solar cell* berbasis *solar cell* organik dan sel *solar cell* foto elektrokimia.

1. Teknologi Solar Cell Generasi Pertama

Teknologi pertama yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti adalah teknologi yang menggunakan bahan silikon kristal tunggal. Teknologi ini dalam mampu menghasilkan sel *solar cell* dengan efisiensi yang sangat tinggi. Permasalahan terbesar yang dihadapi dalam pengembangan silikon kristal tunggal ini adalah untuk dapat diproduksi secara komersial sel *solar cell* ini harganya sangat mahal sehingga membuat sel *solar cell* panel yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif.

Pengembangan selanjutnya dengan menggunakan wafer silikon poli kristal. Saat ini, hampir sebagian besar panel sel *solar cell* yang beredar di pasar komersial berasal dari screen printing jenis silikon poli kristal ini. Wafer silikon poli kristal dibuat dengan teknologi casting berupa balok silikon dan dipotong-potong dengan metode wire-sawing menjadi kepingan (wafer), dengan ketebalan sekitar 250-350 micrometer. Teknologi ini bisa diperoleh sel *solar cell* lebih murah meskipun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan silikon kristal tunggal.

2. Teknologi Sel Solar Cell Generasi Kedua

Generasi kedua adalah sel *solar cell* yang dibuat dengan teknologi lapisan tipis (thin film). Teknologi pembuatan sel *solar cell* dengan lapisan tipis ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya pembuatan sel *solar cell* mengingat teknologi ini hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe silikon wafer.

Metode yang paling sering dipakai dalam pembuatan silikon jenis lapisan tipis ini adalah dengan *Plasma-enhanced chemical vapor deposition* (PECVD) dari gas silane dan hidrogen. Lapisan yang dibuat dengan metode ini menghasilkan silikon yang tidak memiliki arah orientasi kristal atau yang dikenal sebagai amorphous silikon (non kristal). Selain menggunakan material dari silikon.

Sel *solar cell* lapisan tipis juga dibuat dari bahan semikonduktor lainnya yang memiliki efisiensi sel *solar cell* tinggi seperti Cadmium Telluride (Cd Te) dan Copper Indium Gallium Selenide (CIGS). Efisiensi tertinggi saat ini yang bisa dihasilkan oleh jenis sel *solar cell* lapisan tipis ini adalah sebesar 19,5% yang berasal dari sel *solar cell* CIGS. Keunggulan lainnya dengan menggunakan tipe lapisan tipis adalah semikonduktor sebagai lapisan sel *solar cell* bisa dideposisi

pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan divais sel *solar cell* yang fleksibel.

Permasalahan sel *solar cell* CdTe adalah material ini belum dapat diterima dengan baik karena mengandung unsur cadmium. Bila rumah yang atapnya dipasang sel *solar cell* CdTe terbakar, unsur cadmium ini akan menimbulkan polusi yang membahayakan.

3. Teknologi Sel *Solar cell* Generasi Ketiga

Teknologi pembuatan sel *solar cell* generasi ketiga dari bahan polimer atau disebut juga dengan sel *solar cell* organik dan sel *solar cell* foto elektrokimia. Sel *Solar cell* organik dibuat dari bahan semikonduktor organik seperti *polyphenylene vinylene* dan *fullerene*. Pada sel *solar cell* generasi ketiga ini photon yang datang tidak harus menghasilkan pasangan muatan seperti halnya pada teknologi sebelumnya melainkan membangkitkan exciton. Exciton inilah yang kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor (yang biasanya di rekatkan dengan organik semikonduktor berada di antara dua keping konduktor) untuk menghasilkan pasangan muatan dan akhirnya menghasilkan efek arus foto (photocurrent). Sedangkan sel *solar cell* fotokimia merupakan jenis sel *solar cell* exciton yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang di endapkan dalam sebuah perendam (dye).

Teknologi ini pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis sel *solar cell* ini sering juga disebut dengan *Graetzel sel* atau *dye-sensitized solar cells* (DSSC). Perkembangan teknologi sel *solar cell* generasi ketiga sekarang mulai dikembangkan sel *solar cell* berbasis nanokristal TiO_2 .

3.2 Prinsip Kerja Sel *Solar cell*

Sel *solar cell* atau sel fotovoltaiik merupakan alat yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaiik merupakan dasar dari proses konversi sinar matahari (foton) menjadi listrik (Green, 2001).

3.2.1 Sel *Solar cell* p-n Junction

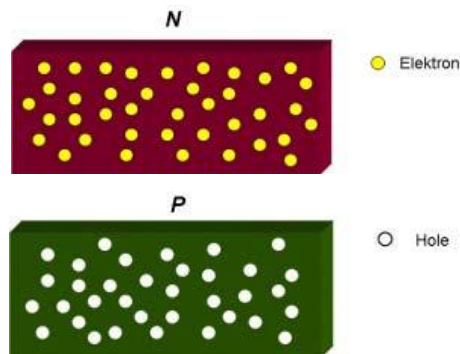
Sel *solar cell* konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri

dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya.

Proses penyambungan dua jenis bahan semikonduktor *n* dan *p* akan membentuk sambungan *p-n* atau diode *p-n* (istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi / *metallurgical junction*). Sedangkan proses penyambungan dan sifat-sifat yang terjadi pada sambungan dapat dijelaskan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut;

1. Tahap pertama sebelum semikonduktor jenis *p* dan *n* disambung

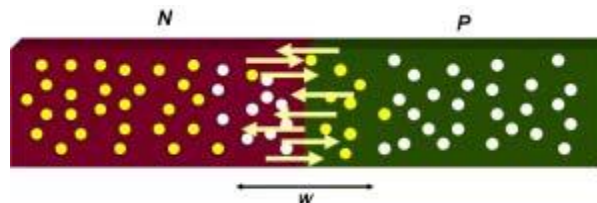
Sebelum di sambung semikonduktor jenis *n* mempunyai kelebihan elektron, sedangkan semikonduktor jenis *p* kekurangan elektron terdapat lubang-lubang kosong. Seperti terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Semikonduktor jenis *p* dan jenis *n*

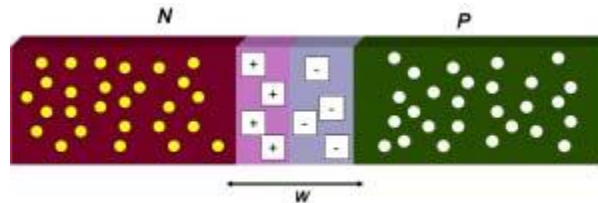
2. Tahap kedua semikonduktor jenis *p* dan *n* disambung

Dua jenis semikonduktor setelah disambung terjadi perpindahan elektron dari semikonduktor *n* menuju semikonduktor *p* dan perpindahan hole dari semikonduktor *p* menuju semikonduktor *n*. Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dari batas sambungan awal.



Gambar 2.2 Semikonduktor jenis *p* dan jenis *n* di sambung jadi satu

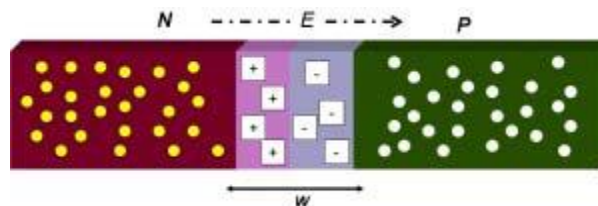
Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan positif. Pada saat yang sama hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif



Gambar 2.3. Sambung semikonduktor jenis p dan jenis n membentuk daerah positif

Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W . elektron maupun hole yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.

Perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n . Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi



Gambar 2.4. Diatas sambung semikonduktor jenis p dan jenis n membentuk medan magnet

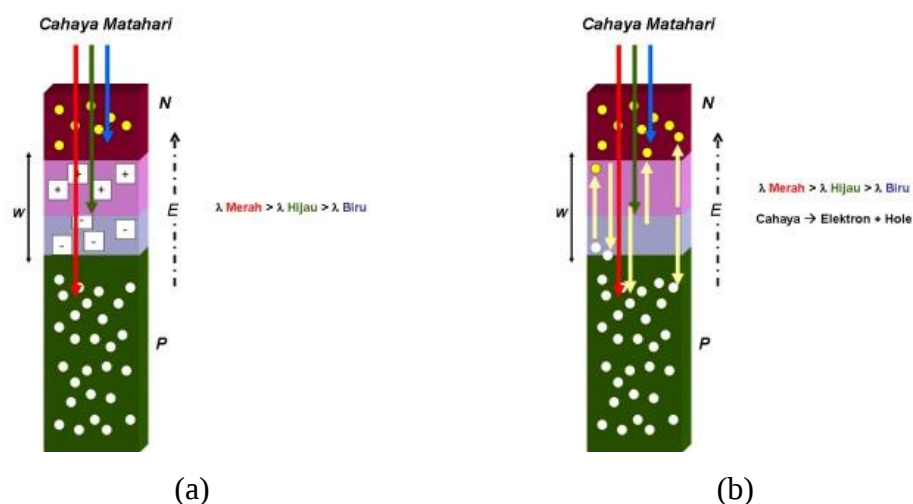
Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada *titik setimbang* saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E . Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari

semikonduktor n ke p , dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E . hal ini untuk mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain.

3. Tahap ketiga sambungan semikonduktor jenis p dan n disinari cahaya matahari

Proses yang terjadi pada saat sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n , daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*elektron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

Sambungan p - n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel *solar cell*, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p , sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel *solar cell* dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p . (seperti gambar 46a.)



Gambar 2.5. Permukaan semikonduktor terkena sinar matahari

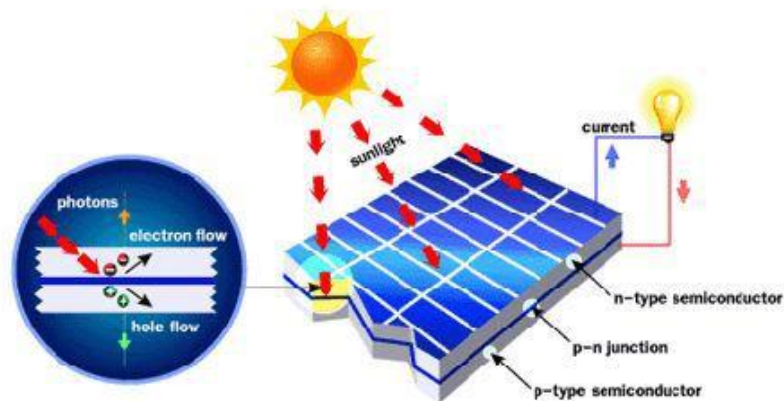
Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol λ) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada

bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana.

Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n . Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n , begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p . pada saat rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel.

4. Tahap keempat kutub semikonduktro p dan n diberi beban

Proses aliran elektron terjadi pada saat kedua terminal semikonduktor p dan n diberi sebuah beban lampu, maka aliran elektron akan mengalir dari terminal n lewati lampu ke terminal semikonduktor p , sehingga lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.

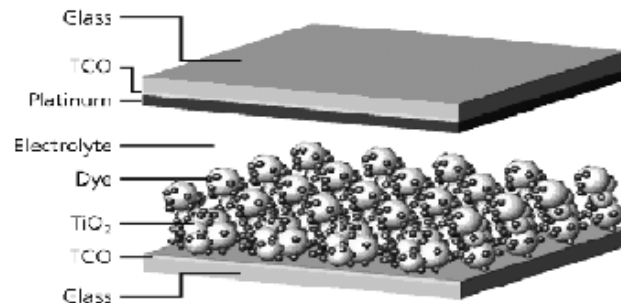


Gambar 2.5. Aliran elektron dari terminal p ke terminal n

3.2.2 Sel Solar cell Titania Jenis Dye Sensitized Sel Solar cell(DSSC).

Sel solar cell DSSC adalah sel solar cell fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Komponen DSSC selain elektrolit terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul dye yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya

dideposisi diantara dua kaca konduktif (R. Sastrawan, 2006). Struktur tersebut diperlihatkan oleh Gambar 33.



Gambar 2.6 Struktur photovoltaic modules of dye solar cells

Bagian atas dan alas sel *solar cell* adalah kaca yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*), seperti ITO (*Indium Tin Oxide*) atau SnO_2 , yang berfungsi sebagai elektroda dan *counter*-elektroda. TCO alas (*counter*-elektroda) dilapisi dengan katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pada umumnya pasangan redoks yang digunakan adalah I^-/I^{3+} (iodide/triiodide). Permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori TiO_2 dimana dye teradsorpsi pada pori TiO_2 . Dye yang umumnya digunakan yaitu jenis ruthenium complex.

Semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah TiO_2 karena memiliki ukuran dalam skala nanometer (10^{-9} meter) dan bersifat mesopori (memiliki pori berdiameter antara ukuran mikro dan nanometer). Zat pewarna (dye) merupakan material yang memberikan pengaruh sensitasi semikonduktor terhadap cahaya. **DYE** berfungsi sebagai pompa fotoelektrokimia dan lapisan penyerap foton yang selanjutnya tereksitasi menjadi eksiton (fotosensitizer) dapat pula berasal dari bahan-bahan alami (organik), terutama berasal dari keluarga flavonoid, contohnya buah beri dan kulit bawang merah.

Elektrolit sel *solar cell* fotoelektrokimia merupakan medium transport muatan. Elektrolit berperan sebagai penerima hole dan mencegah terjadinya rekombinasi kembali antara elektron dan hole. Elektrolit yang digunakan dapat berupa elektrolit semi padat atau berbentuk gel. Elektrolit dibuat dari campuran polimer dan garam yang didalamnya terkandung ion terlarut. Elektrolit yang memiliki nilai konduktivitas ionik berorde 10^{-3} S/cm merupakan elektrolit yang

memiliki konduktivitas tinggi dan sangat efektif digunakan sebagai elektrolit pada sel *solar cell*, khususnya sel *solar cell* tersensitisasi bahan dye (DSSC) (Fu-Lin Chen. *et al*, 2009)

Prinsip kerja dari DSSC adalah reaksi dari transfer elektron. Proses pertama yaitu terjadinya eksitasi elektron pada molekul dye akibat absorpsi foton. Elektron dari keadaan tereksitasi akan terinjeksi menuju pita konduksi titania sehingga molekul dye teroksidasi. Elektrolit (I^-) memberikan elektron pada molekul dye sehingga kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi.

Elektron yang tereksitasi tersebut bergerak mencapai elektroda TCO, kemudian mengalir menuju counter-elektroda melalui rangkaian eksternal. Karena pada counter-elektroda terdapat katalis, maka elektron diterima oleh elektrolit. Selanjutnya elektron tersebut akan berekombinasi dengan hole yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-) akibat donor elektron pada proses sebelumnya membentuk iodide (I^-). Iodide ini digunakan sebagai donor elektron bagi dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Siklus ini memungkinkan terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

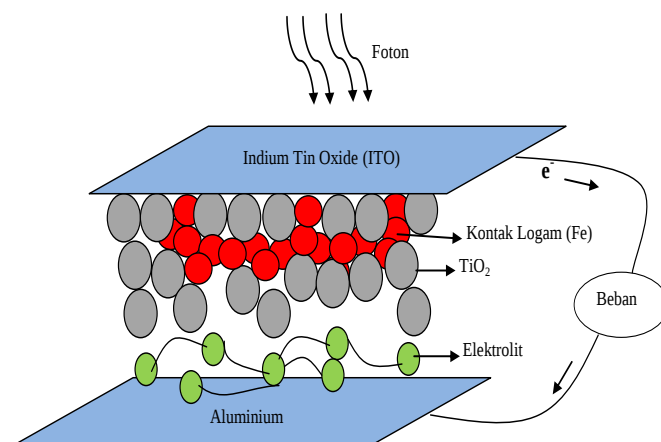
2.2.2 Sel Solar cell Titania dengan Penyisipan Logam

Penelitian tentang sel *solar cell* titania dalam rangka memodifikasi lapisan titania sebagai lapisan aktif terus dikembangkan. Modifikasi pada lapisan titania dilakukan dengan menyisipkan logam pada lapisan titania. Logam yang disisipkan dapat berupa emas, tembaga, besi atau logam yang lain. Efisiensi sel *solar cell* meningkat ketika lapisan titania disisipi dengan logam. Penyisipan logam pada lapisan titania dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya dengan metode sputtering, elektroplating dan doctor blade coating.

Lapisan titania dapat disisipi logam Fe dengan menggunakan metode elektroplating. Pada proses elektroplating, larutan elektrolit yang digunakan adalah $FeCl_2$, dengan lapisan titania sebagai katoda dan batang Fe sebagai anoda. Elektroplating dilakukan pada berbagai variasi tegangan elektroplating, lama waktu *elektroplating* dan konsentrasi $FeCl_2$. Lapisan TiO_2 yang dielektroplating dengan tegangan yang lebih besar (konsentrasi larutan elektrolit dan waktu *elektroplating* sama) atau waktu *elektroplating* yang lebih lama (konsentrasi

larutan elektrolit dan tegangan *elektroplating* sama, atau konsentrasi FeCl_2 yang lebih besar (tegangan dan waktu *elektroplating* sama) akan mengandung unsur Fe yang lebih banyak. Sel *solar cell* dengan lapisan aktif titania yang disisipi Fe dapat mencapai efisiensi 0,2 % (Rita Prasetyowati, 2011).

Lapisan TiO_2 *dielektroplating* dengan Fe, berarti ada atom-atom Fe yang menyisip diantara partikel-partikel TiO_2 . Hal ini bisa dijelaskan seperti gambar 49, ketika sel *solar cell* diradiasi dengan cahaya maka akan terjadi generasi (timbulnya pasangan elektron-hole). Foton yang diserap oleh elektron pada TiO_2 menyebabkan elektron tereksitasi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi dan selanjutnya elektron mengalir menuju ITO melalui lapisan kontak logam (Fe). Lapisan kontak logam ini menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju ITO (K. Asagoe. *et al*, 2007). Selanjutnya elektron mengalir melalui beban luar menuju *counter* elektroda dan akan diterima oleh elektrolit. Sedangkan hole yang terbentuk akan berdifusi menuju elektrolit. Hal ini berarti elektron yang diterima elektrolit akan berekombinasi dengan hole membentuk pembawa muatan negatif (R. Sastrawan, 2006).



Gambar 2.7. Sel *solar cell* berbasis TiO_2 dan logam Fe

Sel *solar cell* juga dibuat dengan lapisan titania yang disisipi logam Cu (Sahrul Saehana. *et al*, 2011). Penyisipan logam Cu dilakukan dengan berbagai metode. Sel *solar cell* dengan lapisan titania yang disisipi logam dengan metode *sputtering* dapat mencapai efisiensi 1,2%, dengan metode *elektroplating* dapat mencapai efisiensi 0,78% dan dengan metode *doctor blade* dapat mencapai efisiensi 0,4%. Efisiensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu

rendahnya nilai *fill factor*, arus pendek (*short-circuit current*), atau tegangan terbuka (*open-circuit voltage*) , yang dipengaruhi juga oleh resistansi dari lapisan TiO₂ (Ahn et al., 2007; Han et al., 2006).

Sel solar cell atau sel fotovoltaik merupakan alat yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik merupakan dasar dari proses konversi sinar matahari (*foton*) menjadi listrik. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit (Green, 2001; Shah, et al, 1999; Septina, Fajarisandi, Aditia, 2007).

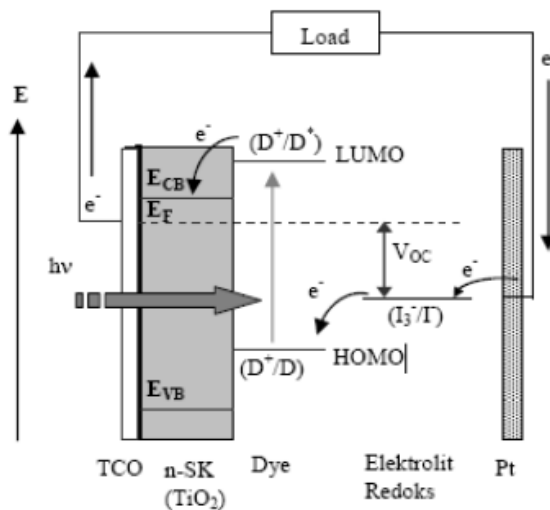
Mekanisme yang bekerja pada *sel solar cell* berdasarkan efek *photovoltaik* dimana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut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

Prinsip ini dapat direalisasikan dengan cara membuat tumpukan *sel solar cell* dimana *sel solar cell* yang paling atas yang memiliki celah pita energi terbesar dibuat transparan terhadap spektrum cahaya yang tidak diserapnya, sehingga dapat lolos dan diserap oleh *sel solar cell* di bawahnya yang memiliki celah pita energi lebih kecil (Araujo, 1989). Secara garis besar *sel solar cell* dibagi menjadi dua bagian berdasarkan material yang digunakan untuk menyerap cahaya matahari, yaitu *sel solar cell* anorganik dan organik (Gratzel, 2003).

Sel solar cell anorganik (*Inorganik solar cell*) menggunakan bahan anorganik untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Biasanya menggunakan silikon sebagai material yang menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. *Sel solar cell* organik (*Organik Solar cell*) menggunakan material organik atau *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dan lain sebagainya. Pewarna (*dye*) yang digunakan dapat

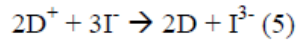
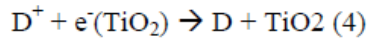
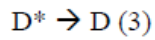
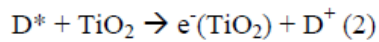
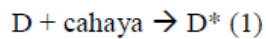
berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan pewarna (*dye*) secara berlapis masih terbatas. Sistem kerja *sel solar cell* organik meniru sistem kerja fotosintesis.

Perkembangan yang menarik dari teknologi *sel solar cell* saat ini adalah *sel solar cell* yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya TiO_2) yang direndam dalam sebuah *fotosensitizer* (pemeka cahaya). Prinsip kerja *sel solar cell* TiO_2 tersensitisasi *dye* ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2.1, sedangkan urutan proses yang terjadi di dalam *sel solar cell* dirangkum pada persamaan (1-5). *Dye* (D) menyerap sebuah foton mengakibatkan elektron tereksitasi dari level HOMO ke LUMO pada molekul *dye*.



Gambar 2.8 Skema Kerja *Sel solar cell* Pewarna Tersensitisasi

Dye tereksitasi (D^*) menginjeksi sebuah elektron ke dalam pita konduksi (CB) semikonduktor (TiO_2) yang berada sedikit lebih tinggi daripada level konduksi TiO_2 . Elektron tersebut melintas melewati partikel-partikel TiO_2 menuju kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan ITO (*Indium Tin Oxide*), selanjutnya ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektron masuk kembali ke dalam sel dan mereduksi sebuah donor teroksidasi (I^+) yang ada di dalam elektrolit. *Dye* teroksidasi (D^+) akhirnya menerima sebuah elektron dari donor tereduksi (I^{3-}) dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal (D). Rangkaian reaksi kimia di dalam sel adalah sebagai berikut (Li, *et. al.*, 2006) :



Tegangan yang dihasilkan oleh *sel solar cell* nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I^-/I_3^-). Sedangkan arus yang dihasilkan dari *sel solar cell* ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Li, *et. al.*, 2006).

Tipe *sel solar cell* fotokimia merupakan jenis *sel solar cell* exciton yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya TiO_2) yang diendapkan dalam sebuah perendam (*dye*). Jenis ini pertama kali diperkenalkan oleh Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis *sel solar cell* ini sering juga disebut dengan sel Graetzel atau *Dye-Sensitized Solar Cells* (SSPT). Sel Graetzel ini dilengkapi dengan pasangan redoks yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padatan atau cairan) sistem elektrolit redoks yang biasa digunakan umumnya disusun dari pasangan redoks I_3^-/I^- dalam pelarut organik seperti asetonitril atau 3-metoksi propinitril. *Solar cell* SSPT tersusun atas dua elektroda dan larutan elektrolit. (O'Regan, 1991).

3.3 Komponen *Solar cell*

Sel solar cell terdiri dari beberapa komponen, yaitu; Substrat/Metal backing, Material semikonduktor, Kontak metal / *contact grid* dan Lapisan antireflektif

1. Substrat/Metal Backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen *solar cell*. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif *solar cell*, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk

sel solar cell dye-sensitized (DSSC) dan *sel solar cell* organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti *iodium tin oxide* (ITO) dan *flourine doped tin oxide* (FTO).

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari *sel solar cell* yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk *sel solar cell* generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk *sel solar cell* apisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk *sel solar cell* lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material Cu(In,Ga)(S,Se)_2 (CIGS), CdTe (*kadmium telluride*), dan *amorphous silikon*, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$ (CZTS) dan Cu_2O (*copper oxide*).

Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari *junction* atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS, dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja *solar cell*. Pengertian semikonduktor tipe-p, tipe-n, dan juga prinsip p-n junction dan *sel solar cell* akan dibahas dibagian “cara kerja *solar cell*”.

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

3. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya *sel solar cell* dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan

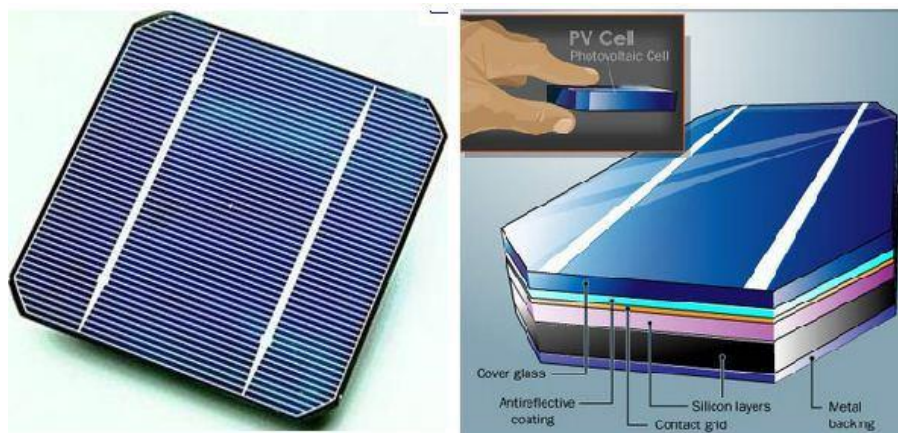
cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

4. Kontak metal / *contact grid*

Material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

5. Enkapsulasi / *cover glass*

Cover glass berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul *solar cell* dari hujan atau kotoran, sehingga pada saat hujan air tidak masuk ke modul sel *solar cell* yang dapat menyebabkan korsleting pada modul sel *solar cell*.



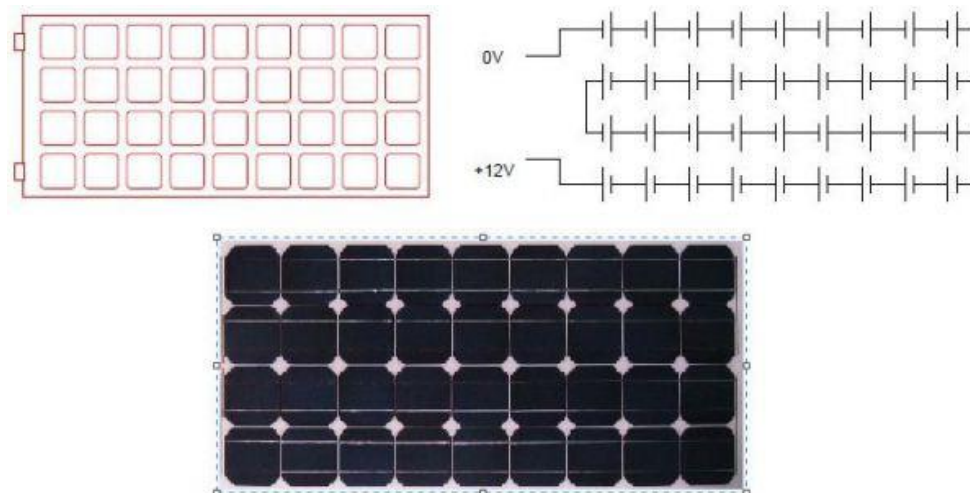
Gambar 2.9 Struktur komponen sel solar cell

2.5 Parameter Kinerja Solar cell

2.5.1 Tegangan dan arus listrik sel solar cell

Sel *solar cell* komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel *solar cell* disusun secara seri membentuk modul *solar cell*. Satu modul *solar cell* biasanya terdiri dari 28-36 sel *solar cell*, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5).

Modul *solar cell* tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar dibawah menunjukkan ilustrasi dari modul *solar cell*.

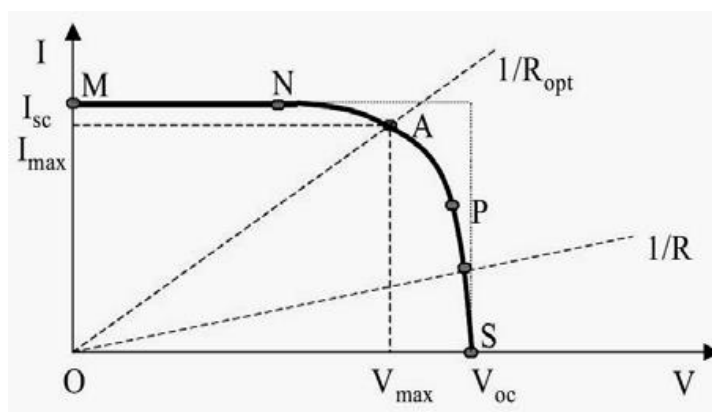


Gambar 2.10 Modul sel *solar cell*

2.5.2 Performansi Sel *Solar cell*

Performa sel *solar cell* dapat dilihat dari daya output listrik yang dihasilkan. Daya listrik yang dihasilkan sel *solar cell* ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel *solar cell* tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama.

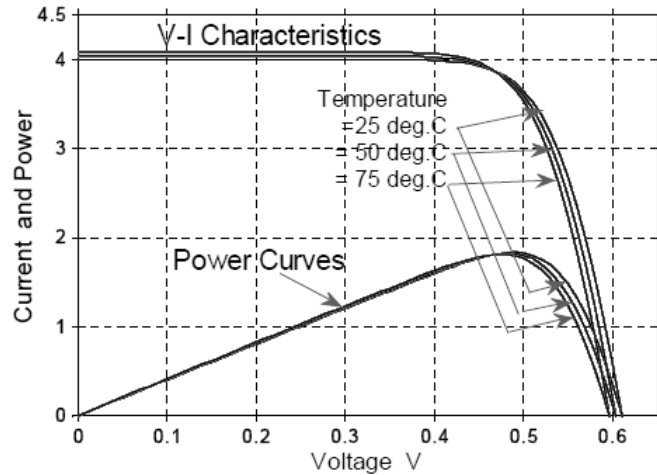
Kondisi saat sel *solar cell* dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum pada titik. Daya maksimum ini terjadi saat I_{sc} dan V pada saat maksimum, seperti terlihat pada gambar 53.



Gambar 2.11 Karakteristik kurva I-V pada sel *solar cell*

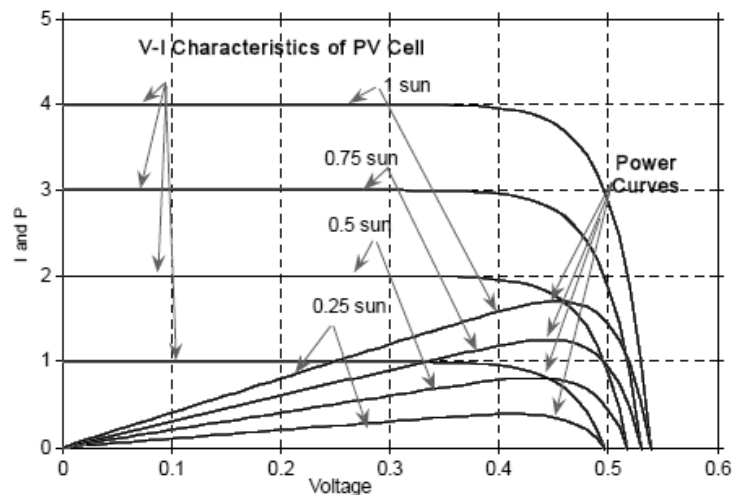
Performa sel *solar cell* selain intensitas cahaya matahari, kemiringan sudut sel *solar cell* juga dipengaruhi oleh temperatur permukaan sel *solar cell*, kenaikan

temperatur permukaan sel *solar cell* dapat menurunkan performa sel *solar cell*. Penurunan ini terjadi karena penurunan arus listrik yang dihasilkan, seperti terlihat pada gambar 2.11.



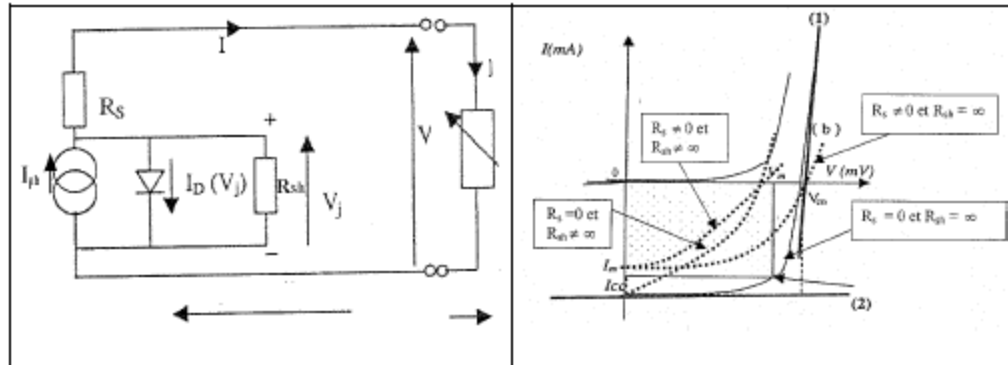
Gambar 2.12. Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan temperatur

Sedangkan perubahan iradiasi pada permukaan sel *solar cell* sangat mempengaruhi kinerja dari sel *solar cell* tersebut, ini terlihat pada penurunan arus listrik dan tegangan sel *solar cell* pada saat terjadi penurunan cahaya matahari yang mengenai permukaan sel *solar cell*, seperti terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.13. Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan iradiasi

Skema ekivalen sebuah sel *solar cell* menggambarkan karakteristik tegangan-arus keadaan gelap dan keadaan penyinaran



Gambar 2.14. Skema ekivalen sebuah sel solar cell

Karakteristik arus - tegangan (I - V) sambungan P-N dapat diturunkan sebagai berikut, berdasarkan gambar, maka dapat dituliskan persamaan arus, sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

Arus diode I_d merupakan jumlahan dari arus mayoritas I_D dan arus generasi-rekombinasi I_R .

$$I_d = I_D + I_R = I_{0D} \left(\exp \frac{qV_a}{k_B T} - 1 \right) + I_{0R} \left(\exp \frac{qV_a}{2k_B T} - 1 \right)$$

V_a adalah tegangan terpasang, k_B konstanta Boltzmann, dan T adalah suhu mutlak dalam kelvin. Dengan demikian persamaan arus listrik adalah sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV + R_s I}{nk_B T} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

I_0 adalah arus jenuh diode.

Untuk menyederhanakan perhitungan parameter sel solar cell ideal, tahanan seri R_s diambil nol dan tahanan paralel R_{sh} adalah tak berhingga, sehingga diperoleh persamaan karakteristik I-V:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nk_B T} \right) - 1 \right]$$

n menyatakan ketidakidealan diode ($n = 1$ untuk diode ideal). Untuk rangkaian terbuka ($I = 0$), maka diperoleh V_{oc} yang besarnya dapat dinyatakan dengan rumus;

$$V_{oc} = n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \approx n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right)$$

Sedangkan efisiensi konversi η didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik maksimum dan daya matahari yang datang pada sel *solar cell*, dengan factor bentuk FF (berkaitan dengan keidealisan diode) memungkinkan dapat dinyatakan efisiensi dengan parameter optimal I_{cc} dan V_{co} . I_{cc} adalah arus ketika rangkaian terhubung pendek ($V = 0$) merupakan parameter fotovoltaik yang menggambarkan kapasitas sel *solar cell* menangkap foton sehingga menghasilkan pembawa muatan bebas. Sedangkan tegangan rangkaian terbuka V_{co} ($I = 0$) menggambarkan mekanisme rekombinasi dalam sel *solar cell*. Faktor bentuk FF dapat dinyatakan dalam persamaan

$$FF = FI \left(1 - \frac{V_{co}}{R_{sh} I_{cc}} - \frac{I_{cc} R_s}{V_{co}} - \frac{R_s}{R_{sh}} \right)$$

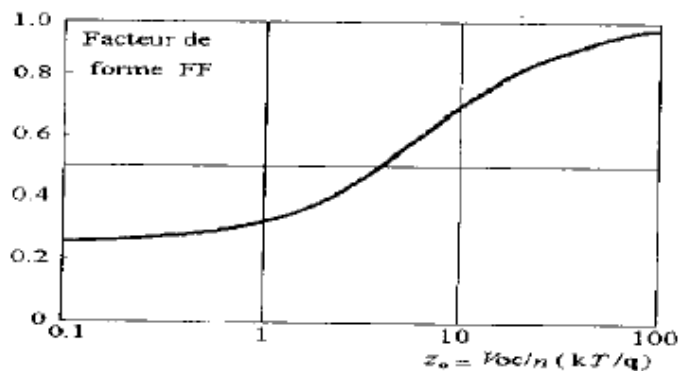
Selanjutnya dapat dinyatakan hubungan antara faktor idealitas diode (FI), V_{co} dan n dalam bentuk persamaan;

$$FI = \frac{I_m V_m}{I_{cc} V_{co}} = \frac{V_m \left(I_{cc} - I_0 \left(\exp \frac{q V_m}{n k T} - 1 \right) \right)}{V_{co} I_0 \left(\exp \frac{q V_{co}}{n k T} - 1 \right)}$$

Jika $z_o = q V_{co} / n k T$ dan $z_m = q V_m / n k T$, FI dapat dinyatakan :

$$FI = \frac{z_m}{z_o} \frac{\exp z_o - \exp z_m}{\exp z_o - 1}$$

Pada umumnya para peneliti mengambil keadaan ideal dengan mengambil $R_s = 0$, dan $R_{sh} = \infty$, sehingga $FF = FI$. Bentuk faktor bentuk sebagai fungsi z_o ditunjukkan seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Faktor bentuk FF sebagai fungsi z_o menurut

1. Daya solar cell

Energi listrik atau daya listrik yang dihasilkan sel *solar cell* dapat dihitung dari hasil perkalian arus listrik dan tegangan yang dihasilkan oleh sel *solar cell*, dengan menggunakan rumus berikut;

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc}$$

Dimana: P_{out} = daya sel *solar cell* (watt)

V_{oc} = tegangan saat open-circuit (volt)

I_{sc} = arus yang mengalir sirkuit (ampere)

2. Efisiensi sel solar cell

Efisiensi sel *solar cell* diperoleh dengan perbandingan energi matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik oleh sel *solar cell*. Efisiensi sel *solar cell* komersial berkisar rata-rata 15 - 20 %.

Besarnya energi input yang dikonversi sel *solar cell* dapat dihitung dengan mengukur besarnya intensitas cahaya matahari dengan alat solarmeter. Besarnya efisiensi sel *solar cell* dapat dihitung dengan rumus berikut;

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_{surya}} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{surya}}$$

dimana FF adalah faktor bentuk (*fill factor*)

Sedangkan efisiensi sel *solar cell* dalam bentuk sub modul dan modul dari berbagai bahan sel *solar cell*

Tabel 2.1. Efisiensi modul diukur pada spektrum AM 1.5 pada suhu 25°C

Klasifikasi	Efisiensi (%)	Luas (cm ²)	V_{oc} (Volt)	I_{sc} (A)	FF (%)
Si (kristal)	22.7	778	5.60	3.93	80.3
Si(multikristal)	15.3	1017	14.6	1.36	78.6
CIGSS	12.1	3651	23.42	2.83	67.9
CdTe	10.7	4874	26.21	3.205	62.3
a-Si/a-SiGe/ a-SiGe	10.4	905	4.353	3.2285	66.0

Sumber : Sumber: Gatzel, 2011)

Tabel 2.2. Performa Sel Solar cell Fotovoltaik dan Sel Solar cell Fotoelektrokimia

Tipe sel	Efisiensi (%)		Riset dan teknologi yang dibutuhkan
	Sel	Modul	
Silikon kristalin	24	10-15	Memperbesar hasil, menurunkan biaya produksi dan kapasitas energi
Silikon multikristalin	18	9-12	Menurunkan biaya produksi dan pembuatan yang rumit
Silikon amorf	13	7	Menurunkan biaya produksi, meningkatkan volume produksi dan kestabilan
CuInSe ₂	19	12	Mengganti Indium, mengganti CdS, memperbesar skala produksi
Material nano tersensitisasi zat warna (DSSC)	10-11	7	Meningkatkan efisiensi dan kestabilan terhadap temperature tinggi, memperbesar skala produksi
Sel fotoelektrokimia bipolar AlGaAs/Si	19-20	-	Mengurangi biaya bahan, memperbesar skala produksi
Sel surya organik	2-3	-	Meningkatkan efisiensi dan kestabilan

Sumber: Gatzel, 2011)

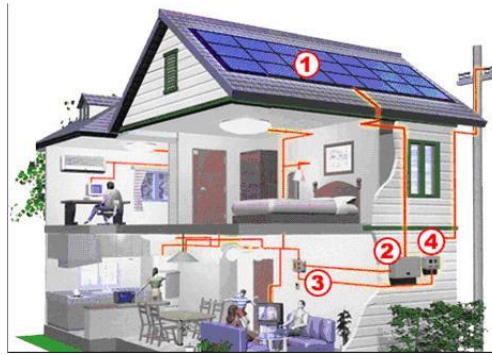
3.6 Aplikasi Sel Solar cell

Pemanfaatan sel *solar cell* untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dapat aplikasikan sebagai sumber energi listrik skala kecil maupun skala besar.

1. Solar Home System

Solar home system adalah bentuk aplikasi pembangkit listrik tenaga *solar cell* yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sistem sel *solar cell* yang digunakan terdiri dari panel *solar cell*, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan baterai (*accu*). Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel *solar cell* merupakan rangkaian elektrolit yang mengatur proses pengisian baterai dengan tegangan 12 plus minus 10 persen. Saat terjadi penurunan tegangan sampai 10,8 volt, maka kontroler akan mengisi baterai dengan panel *solar cell* sebagai sumber daya. Pengisian dapat berlangsung pada saat ada cahaya matahari.

Penurunan tegangan terjadi pada malam hari dan saat beban puncak, maka kontroler akan memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah pengisian berlangsung selama beberapa jam, tegangan baterai akan naik. Saat tegangan baterai mencapai 13,2 volt maka kontroler akan menghentikan proses pengisian baterai. Hal ini tentu saja tidak efektif dan efisien jika sel *solar cell* digunakan sebagai sumber energi sendiri tanpa sumber energi pendukung untuk mengatasi masalah tersebut.



Keterangan:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1. Solar panel | 3. Alat pendistribusi |
| 2. <i>Power conditioner</i> | 4. Alat pengukur energi listrik |

Gambar 2.16 *Solar home system*

2. PLTS (pembangkit Listrik Tenaga Solar cell)

Pembangkit listrik tenaga *solar cell* (PLTS) berfungsi untuk mengkonversi sinar matahari menjadi listrik DC. Mengingat system hybrid menggunakan modul *solar cell* (*Solar module*) dalam jumlah yang cukup banyak dan semuanya disambungkan baik seri maupun paralel, maka modul *solar cell* dengan kapasitas per panel yang besar ($> 100 \text{ Wp/panel}$) sangat cocok untuk mengurangi kebutuhan kabel koneksi.

Listrik yang dihasilkan oleh modul *solar cell*, sebelum masuk ke jaringan distribusi dikonversi menjadi listrik AC (alternating current), oleh karena itu output dari solar modul diusahakan dengan voltage $> 12 \text{ VDC}$ (*system voltage* $48 \text{ V} \sim 120 \text{ VDC}$). Untuk kebutuhan ini, BP Solar mengeluarkan modul *solar cell* 160 Wp dengan *system voltage* 24 V DC , hal ini memudahkan koneksi untuk mengejar DC voltage yang tinggi. Koneksi seri/paralel antar modul *solar cell* juga disertai dengan diode-diode pengaman (*Bypass Diode & Blocking Diode*) untuk mencegah *short circuit*, *hot spot*, dan *reverse current*. *Elektronic Controller/Bi directional inverter* atau *power conditioner* berfungsi sebagai: (a). *Voltage conditioning* sebelum dihubungkan ke beban, (b). Inverter DC-AC berfungsi sebagai mengkonversi listrik DC yang dihasilkan solar PV sistem menjadi listrik AC yang akan dihubungkan ke beban, (c). *Charger* berfungsi *mencharge* baterai dengan memanfaatkan kelebihan listrik dari genset, (d). Berfungsi mengatur charging baterai dari solar module, (e). Mengatur dan mengelola pembangkit

2.7 Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid

Pembangkit listrik sistem *hybrid* merupakan salah satu contoh sistem pembangkit listrik dengan menggunakan lebih dari sumber energi pembangkit listrik, seperti; pembangkit listrik mikrohidro, *solar cell*, *wind*, *fuell cell*, energi biogas dan energi biomasa. Sistem pembangkit listrik untuk sumber energi *wind*, *solar cell* dan *fuell cell* dihubungkan ke DC bus, DC bus ini merupakan bus yang memparalelkan ketiga sistem tersebut sebelum masuk ke inverter. Selanjutnya energi listrik masuk ke inverter yang berfungsi untuk merubah tegangan dengan arus DC menjadi arus AC sesuai dengan jenis beban yang digunakan.

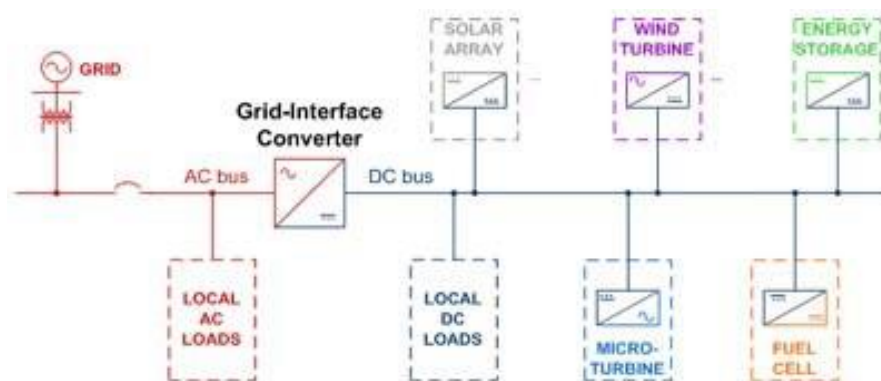
30

mendapatkan daya guna yang optimal. Sistem PLTS merupakan komponen utama, sedang pembangkit listrik lainnya digunakan untuk mengkompensasi kelemahan sistem PLTS dan mengantisipasi ketidakpastian cuaca dan sinar matahari. Pada sistem PLTSPLTD, PLTD-nya akan digunakan sebagai "bank up" untuk mengatasi beban maksimal. Pada sistem hibrida antara *photovoltaic* dengan *Fuel Cell* (sel bahan bakar), selisih antara kebutuhan listrik pada beban dan listrik yang dihasilkan oleh photovoltaic akan dipenuhi oleh *fuel cell*.

Controller berfungsi untuk mengatur *fuel cell* agar listrik yang keluar sesuai dengan keperluan. Arus DC yang dihasilkan *fuel cell* dan arus *photovoltaic* digabungkan pada tegangan DC yang sama kemudian diteruskan ke power conditioning subsistem (PCS) yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Keuntungan sistem ini adalah efisiensinya tinggi sehingga dapat menghemat bahan bakar, dan kehilangan daya listrik dapat diperkecil dengan menempatkan *fuel cell* dekat pusat beban. Salah satu kendala yang dihadapi dengan dalam pengembangan Pembangkit Listrik *solar cell* adalah Investasi awalnya yang tinggi dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan juga masih relatif tinggi.

2.7.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Hybrid

Jaringan listrik mikro adalah jaringan listrik dengan kapasitas pasokan daya yang relatif kecil. Jaringan ini terdiri dari beberapa pembangkit listrik lokal seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Mikrohidro, Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dan generator diesel/solar.



Gambar 2.18 Konsep arsitektur jaringan mikro
sumber : CPES, 2010

Terdapat 2 jenis sistem jaringan mikro berdasarkan sambungan jaringan listrik ke grid, yaitu;

a. Sistem jaringan mikro off-grid

Jaringan ini tidak terhubung dengan grid. Pasokan daya sistem jaringan ini sepenuhnya bergantung pada kemampuan pembangkit – pembangkit dalam menghasilkan daya dan cadangan energi yang tersimpan pada media penyimpanan yang digunakan. Sistem ini banyak digunakan untuk lokasi terpencil yang tidak dapat diakses oleh jaringan listrik milik PLN.

b. Sistem jaringan mikro on-grid

Jaringan ini terhubung dengan grid atau jaringan listrik utama seperti jaringan listrik milik PLN seperti gambar 2.3 Kelebihan dari sistem jaringan ini adalah ketika pasokan daya dari pembangkit – pembangkit lokal (PLTS atau PLTB) yang digunakan kurang dapat dibantu oleh pasokan daya dari jaringan listrik utama sehingga kontinyuitas daya tetap terjaga sedangkan jika terjadi kelebihan pasokan daya yang dihasilkan oleh pembangkit – pembangkit lokal dapat dijual ke jaringan utility.

Jaringan mikro terdiri dari beberapa teknologi dasar untuk beroperasi, yaitu (Glover, dkk, 2011) :

a. Distributed Generation

Unit Distributed Generation (DG) merupakan sumber pembangkit listrik seperti PV module, turbin angin, biomasa, generator diesel. Unit ini didukung dengan alat untuk mengkonversikan energi, hal ini karena kebanyakan dari daya yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik yang digunakan memiliki tegangan/arus DC (direct current) sehingga harus dikonversikan dengan inverter menjadi tegangan/arus AC (alternating current) bila ingin dipararelkan dengan jaringan utility seperti jaringan PLN. Konverter dapat digunakan jika daya yang dibangkitkan ingin disimpan di media penyimpanan seperti baterai karena daya yang dibangkitkan oleh generator diesel berupa tegangan/arus AC sehingga harus dikonversikan menjadi tegangan/arus DC agar dapat disimpan pada media penyimpanan.

b. Distributed Storage

Unit Distributed Storage (DS) merupakan media penyimpanan yang diperlukan oleh sebuah jaringan mikro. Fungsi dari distributed storage adalah untuk menjaga kestabilan dan keandalan dari unit distributed generation meskipun terjadi fluktuasi beban, menjaga kontinuitas pasokan daya listrik ke beban meskipun cuaca mendung (untuk PLTS) atau berkurangnya kecepatan angin (untuk PLTB), mampu memasok daya listrik sementara ketika generator diesel sedang diperbaiki, mampu meredam ketika terjadi lonjakan permintaan listrik, menangani gangguan sesaat. Media penyimpanan ini dapat berupa baterai, aki, superkapasitor.

c. Interconnection Switch

Interconnection Switch merupakan sakelar penghubung antar unit pada jaringan mikro dan menghubungkan jaringan mikro dengan jaringan *utility* (jaringan PLN).

d. Control System

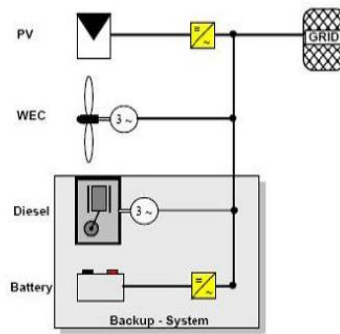
Sistem pengontrolan digunakan untuk menjaga tegangan/arus, frekuensi, amplitudo dan bentuk gelombang dari daya yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik sama dengan jaringan *utility* dan dalam memparalelkan pembangkit listrik. Sistem pengontrolan akan bekerja sesuai pengaturan yang dilakukan sebelumnya. Sistem pengontrolan berfungsi sebagai salah media pengaman pada jaringan mikro.

Konsep arsitektur jaringan mikro (Gambar 2.3) menunjukkan selain beban dapat memperoleh pasokan listrik dari grid yang lebih besar (*national smart grid*), melalui konsep jaringan mikro, beban-beban tersebut juga dapat dipasok dari *local generation* (pembangkit lokal).

2.7.2 Model Pembangkit Listrik Hybrid.

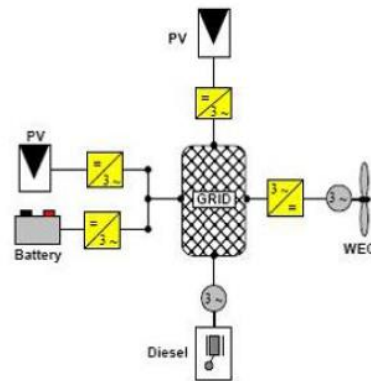
Model pembangkit listrik hibrid dengan kombinasi sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dengan yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*), sebagai berikut;

1. Pembangkit-pembangkit dan baterai dipasang disuatu lokasi dan dihubungkan ke AC bus sebelum dikoneksikan ke grid.



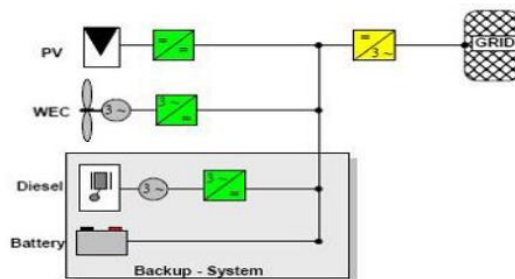
Gambar 2.19 Konsep PLH baterai dipasang disuatu lokasi dan dihubungkan ke AC bus sebelum dikoneksikan ke grid

2. Pembangkit terdistribusi pada lokasi yang berbeda dan setiap pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah.



Gambar 2.20 Konsep pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah

3. Dilakukan konversi tegangan AC ke DC pada pembangkit yang menghasilkan daya AC. Selanjutnya daya DC tersebut dikoneksikan ke DC bus dan sebuah pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).



Gambar 2.21. Konsep pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).

2.7.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik *solar cell* (PLTS) merupakan pembangkit listrik *solar cell* yang ramah lingkungan, dan sangat menjanjikan. Salah satu alternatif untuk menggantikan pembangkit listrik menggunakan uap (dengan minyak dan batubara). Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu piranti yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Besar energi listrik yang dihasilkan oleh sistem pembangkit *solar cell* ditentukan oleh kapasitas *solar cell* dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik dengan satuan WP (watt peak), seperti *solar cell* 50 wp artinya *solar cell* tersebut mempunyai 50 watt peak (pada saat matahari terik). Peak 1 hari di asumsikan 4,5 jam (hitungan aman adalah 4 jam), sehingga $50 \times 4,5 = 225$ watt hour / daya itu kapasitas maksimal untuk pemakaian 1 hari. Komponen-komponen yang digunakan pada sistem PLTS terdiri dari *solar panel*, inventer, *controler voltase*, baterai dan beban.



Gambar 2.22 Piranti pembangkit listrik *solar cell*

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian pembuatan produk *solar cell* TiO_2 adalah untuk memanfaatkan bahan-bahan lokal untuk membuat kompoenen *solar cell* TiO_2 yang dapat digunakan sebagai alat konversi energi matahari, adapun secara khusus tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan produk devais *solar cell* TiO_2 yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi listrik.
2. Membuat lapisan film dengan dengan variasi komposisi TiO_2 dan Al_2O_3 yang berbeda untuk meningkatkan penyerapan energi foton matahari.
3. Membuat sel *solar cel* TiO_2 dengan menggunak substrat tembaga sebagai elektroda kerja dengan penempelan lapisan film dengan metode sol gel dan docter blade
4. Menghasilkan produk pembangkit listrik dengan *solar cel* TiO_2 yang nantinya dapat digunakan sebagai pembangkit listrik *hybrid*.

3.2 Manfaat Penelitian

- 1 *Solar cell* TiO_2 yang dihasilkan dapat digunakan untuk megkonversi energi matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan dengan mudah.
- 2 *Solar cell* TiO_2 yang dihasilkan dapat digunakan untuk sumber energi listrik energi terbarukan.
- 3 *Solar cell* TiO_2 yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber energi listrik berskala rumah tangga yang mudah digunakan dan ramah lingkungan untuk daerah terpencil.
- 4 *Solar cell* TiO_2 yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber salah satu sumber pembangkit lsitrik mini pada system pembangkit listrik hibryd.

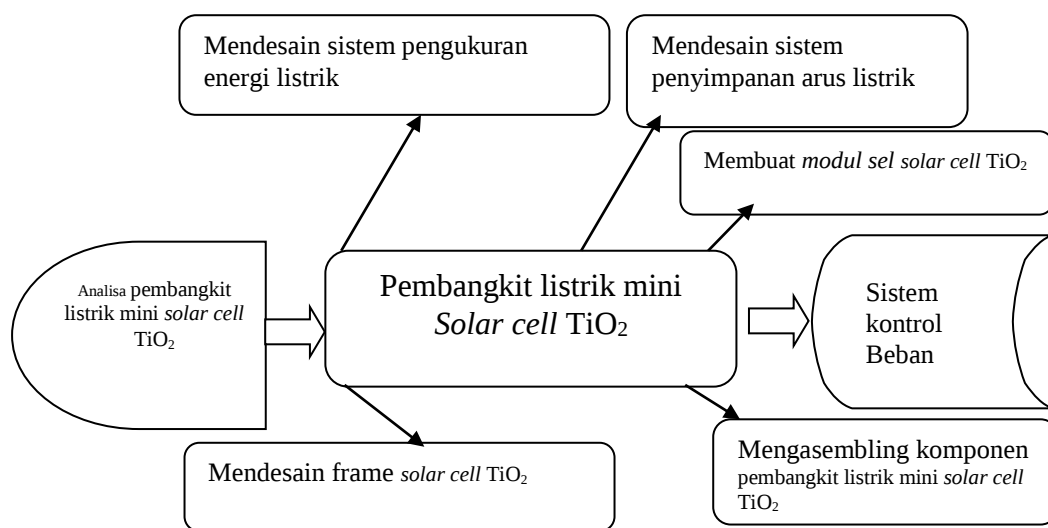
BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1 Rencana Penelitian

Rancangan desain penelitian ini adalah penelitian eksperimen (*experimental research*). Rancangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

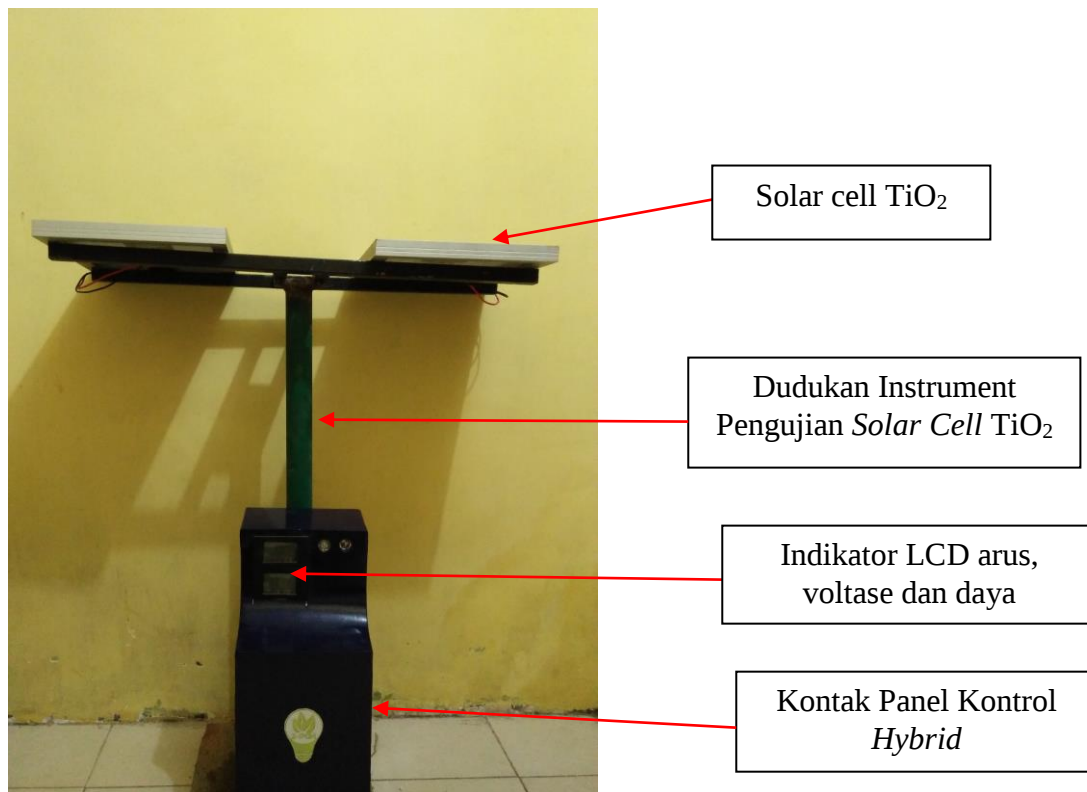
- Tahan **pertama**, membuat dimensi frame *solar cel* TiO_2 .
- Tahap **kedua**, membuat substrat yang akan digunakan elektroda kerja dan elektroda counter.
- Tahap **ketiga**, membuat lapisan film pada substrat tembaga sebagai elektroda kerja.
- Tahap **ke-empat**, memanaskan elektroda kerja yang sudah dilapisi campuran (TiO_2 dan Al_2O_3)
- Tahap **kelima**, melakukan uji karakteristik permukaan lapisan dengan SEM.
- Tahap keenam**, menguji tegangan dan arus listrik satu sel dengan memberikan paparan permukaan sel dengan sinar matahari.
- Tahap ke-tujuh**, membuat merakit sel dalam modul sel pada frame yang sudah dibuat.
- Tahan **kedelapan**, membuat sistem jaringan kelistrikan untuk mengukur performa *solar cel* TiO_2

Rancangan penelitian dapat digambarkan dengan *flow chart* sebagai berikut;



Gambar 3.1 Flow chart rancangan penelitian

Rancangan pembangkit listrik mini *solar cell* TiO_2 dengan model hybrid On-grids dengan sumber energi terbarukan sebagai berikut;



Gambar 3.2 Rancangan instrumen penelitian

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah pembangkit listrik mini solar cell TiO_2 , sehingga variabel penelitian terdiri dari tiga variabel, yaitu;

a. Variabel bebas.

Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi komposisi TiO_2 dan Al_2O_3 sebagai bahan lapisan film pada subtract elektroda kerja dengan variasi komposisi, 1:1, 2:1 dan 3:1

b. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah performa solar cell TiO_2 yang akan digunakan sebagai sumber pembangkit listrik mini dengan model *hybrid* On-grids.

c. Variabel kontrol.

Variabel kontrol terdiri dari variabel kontrol terdiri lama waktu penyinaran, sudut pemasangan *solar cell* 25^0 dan metode penempelan TiO_2 dengan metode *doctor blade*.

4.2 Prosedur Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data penelitian yang digunakan adalah mencatat hasil produksi arus listrik yang dihasilkan *solar cell* TiO_2 yang digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) saat siang hari. Prosedur mencatat data produksi arus listrik dengan menggunakan data logger dengan format excel. Selanjutnya permukaan *solar cell* diberi penyinaran dengan sudut kemiringan *solar cell* 25^0 dan diukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan selama penyinaran cahaya matahari dari pukul 08.00-16.00. Pengambilan data dilakukan dengan data logger terdiri tiga tahap, yaitu; 1) mengukur besarnya tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan *solar cell* selama penyinaran, 2) mengukur besarnya intensitas cahaya matahari selama dilakukan pengukuran arus listrik dan tegangan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan menggunakan *solar cell* TiO_2

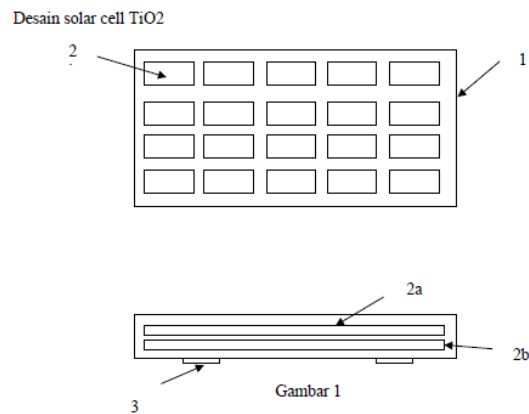
4.3 Teknik Analisa dan Induksi

Dari hasil data penelitian yang terekam pada data logger dianalisis dengan menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif-kualitatif. Data yang bersifat kuantitatif akan dianalisis dengan prosentase dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui performa sistem PLTS dengan menggunakan *solar cell* TiO_2 yang digunakan sebagai sumber energi listrik primer pada sistem pembangkit listrik *hybrid* ON-grids energi terbarukan, sedangkan data yang bersifat kualitatif akan digambarkan dalam bentuk kata-kata atau kalimat dipisah-pisahkan menurut kategori untuk memperoleh kesimpulan.

BAB V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Hasil Penelitian

Hasil yang dicapai pada penelitian tahun pertama adalah menghasilkan desain *solar cell* TiO_2 yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik yang dapat diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik hybrid. Desain *solar cell* berbasis TiO_2 yang dibuat seperti gambar 4.1.



Keterangan :

1. Frame
2. Cell
3. Anoda
4. Katoda
5. Pemegang fram

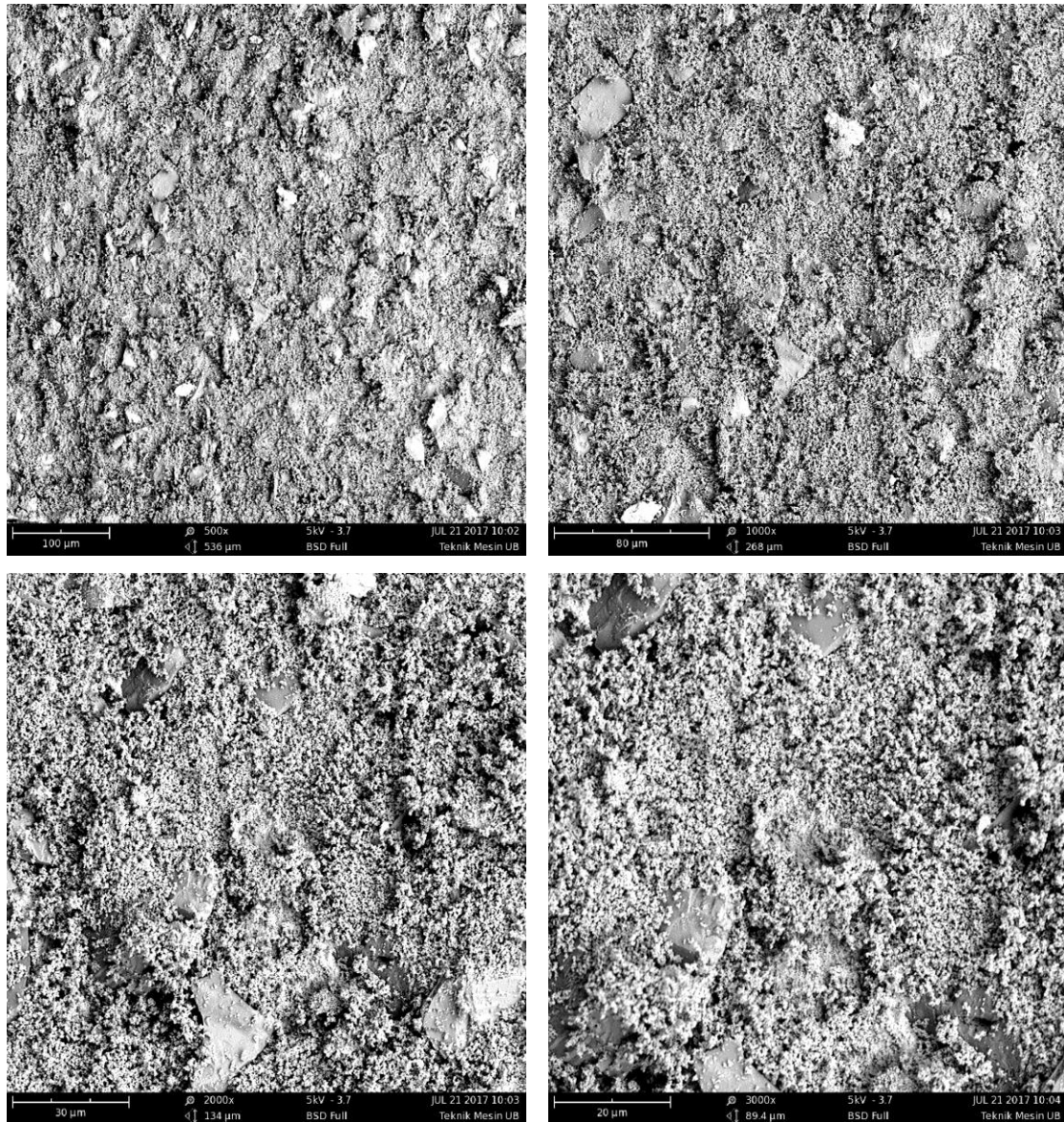
Gambar 5.1 Desain solar cel TiO_2



Gambar 4.2 Uji solar cel TiO_2

5.1.1 Hasil uji lapisan tipis *solar cell* TiO_2 campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:1)

Pengujian struktur permukaan lapisan elektroda *solar cell* yang sudah dilakukan proses penempelan dengan metode *doctor blad* dengan menggunakan SEM. Hasil SEM dengan pembesaran 500x, 1000x, 2000x dan 3000x menunjukkan campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:1) yang digunakan dilapisan pada permukaan elektroda sel yang akan digunakan sebagai elektroda kerja *solar cel* menunjukkan adanya beberapa serpihan oksida alumunium.



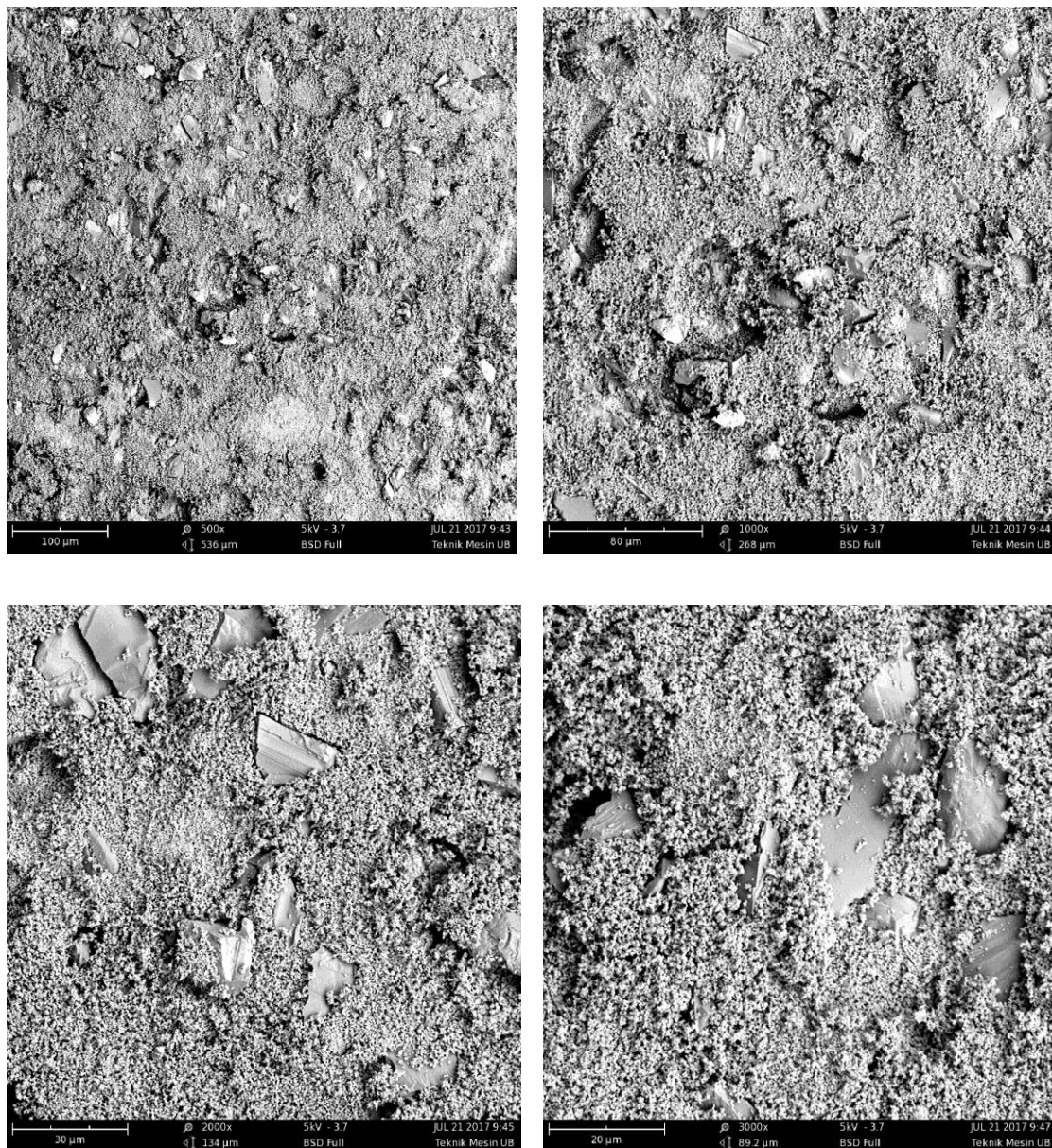
Gambar 5.3 Foto SEM permukaan elektroda sel $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:1)

5.1.2 Hasil uji lapisan tipis *solar cell* TiO_2 campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:2)

Pengujian struktur permukaan lapisan elektroda *solar cell* yang sudah

dilakukan proses penempelan dengan metode *doctor blad* dengan menggunakan SEM.

Pengujian struktur permukaan lapisan elektroda *solar cell* yang sudah dilakukan proses penempelan dengan metode *doctor blad* dengan menggunakan SEM. Hasil SEM dengan pembesaran 500x, 1000x, 2000x dan 3000x menunjukkan campuran $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ (1:2) yang digunakan dilapisan pada permukaan elektroda sel yang akan digunakan sebagai elektroda kerja *solar cel* menunjukkan adanya peningkatan jumlah serpihan oksida alumunium.

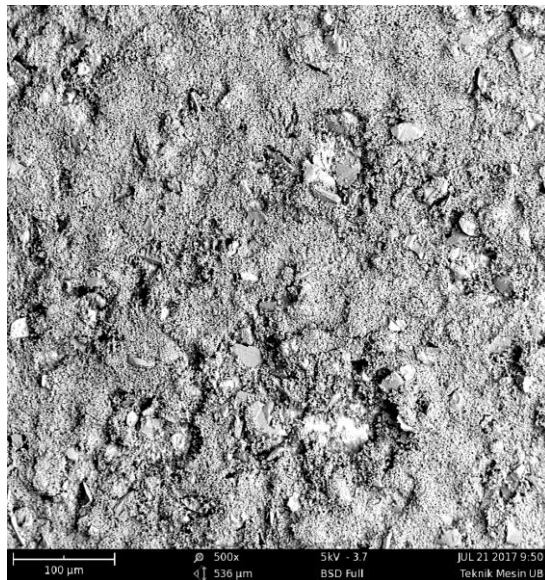


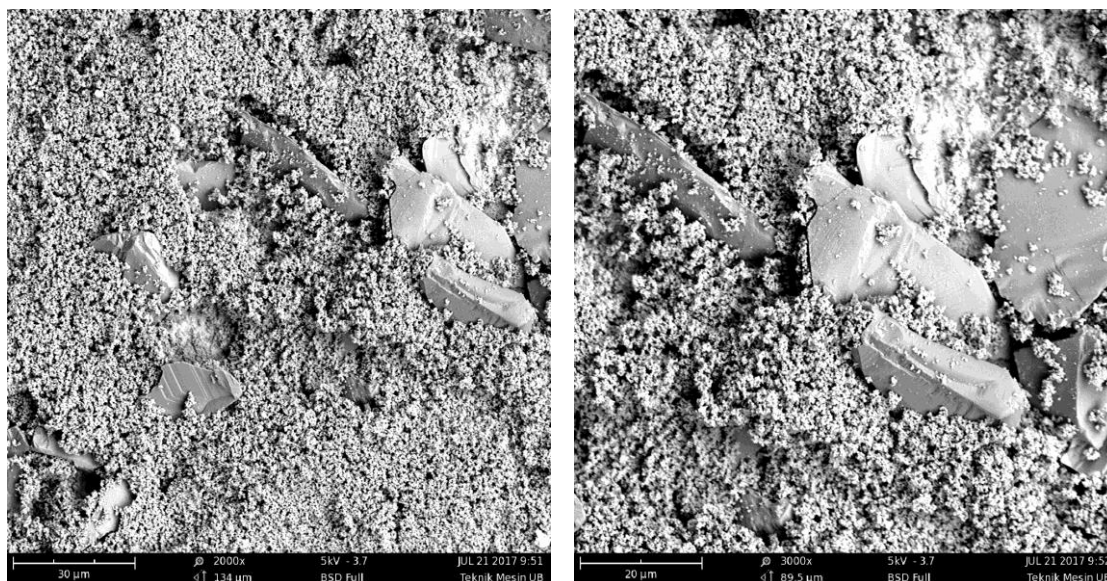
Gambar 5.4 Foto SEM permukaan elektroda sel $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ (1:2)

5.1.3 Hasil uji lapisan tipis *solar cell* TiO_2 campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:3)

Pengujian struktur permukaan lapisan elektroda *solar cell* yang sudah dilakukan proses penempelan dengan metode *doctor blad* dengan menggunakan SEM.

Pengujian struktur permukaan lapisan elektroda *solar cell* yang sudah dilakukan proses penempelan dengan metode *doctor blad* dengan menggunakan SEM. Hasil SEM dengan pembesaran 500x, 1000x, 2000x dan 3000x menunjukkan campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:3) yang digunakan dilapisan pada permukaan elektroda sel yang akan digunakan sebagai elektroda kerja *solar cel* menunjukkan jumlah serpihan yang paling banyak serpihan oksida alumunium dari pada campuran (1:1) dan (2:1)



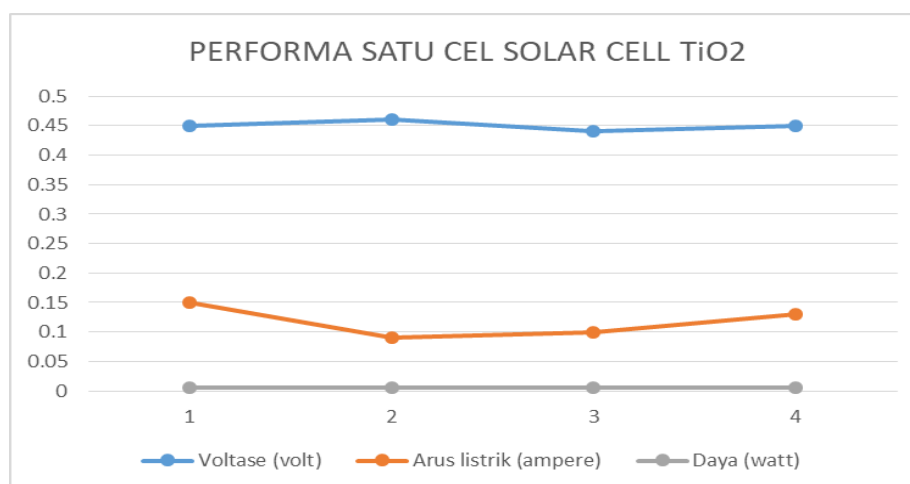


Gambar 5.5 Foto SEM permukaan elektroda sel $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ (1:3)

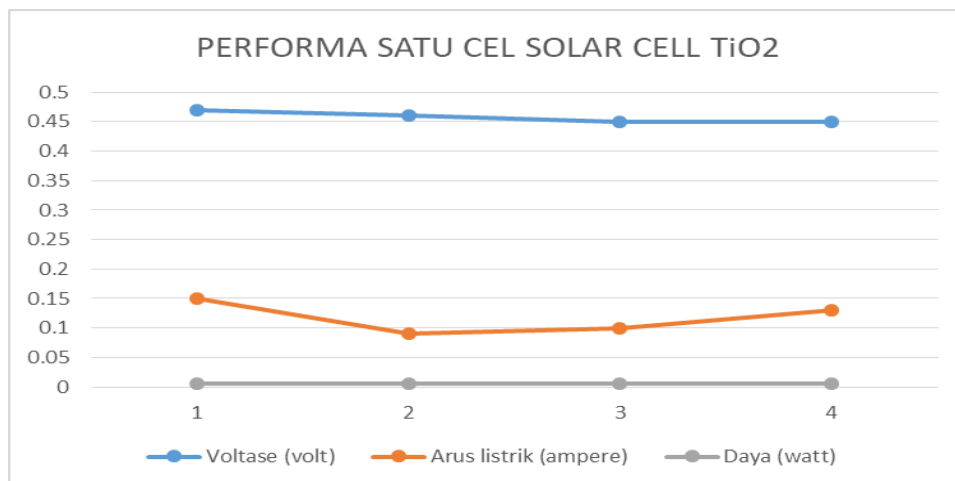
5.1.3 Hasil performa satu sel solar cell TiO_2

Hasil analisis performa sel *solar cell* TiO_2 dapat dilihat dari kemampuan dalam mengkonversi sinar matahari menjadi listrik dengan indikator yang diukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan pada saat permukaan sel diberi paparan sinar matahari dengan intensitas rata-rata $700\text{--}650\text{ w/m}^2$.

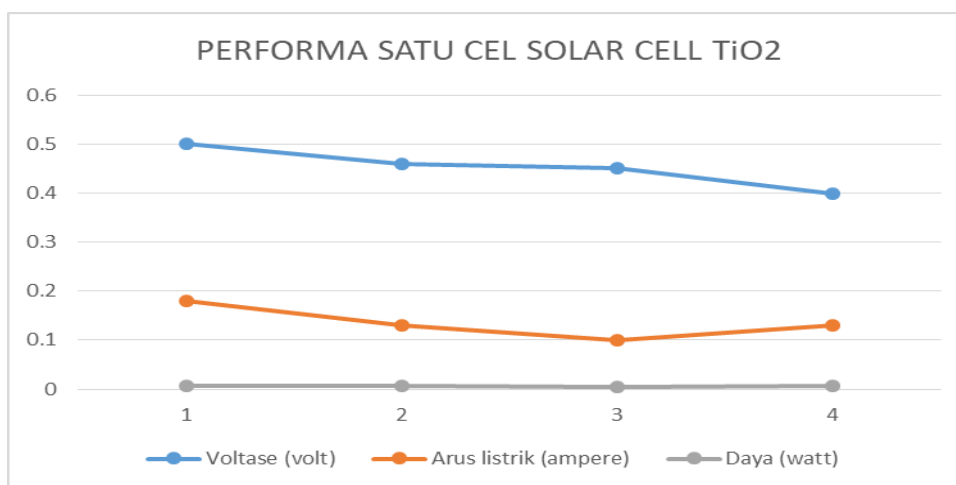
Tabel 5.1 Pengujian performa satu sel solar cell TiO_2



Gambar 5.6 Performa satu sel komposisi $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ (1:1)



Gambar 5.7 performa satu sel komposisi $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ (1:2)



Gambar 5.8 performa satu sel komposisi $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ (1:3)

5.2 Pembahasan

Pembuatan sel *solar cell* TiO_2 dengan menggunakan campuran $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ dengan berbagai variasi campuran dapat meningkatkan kemampuan *solar cell* TiO_2 dalam mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik, hal ini dapat dilihat dari peningkatan tegangan sel dan arus listrik yang dihasilkan saat permukaan sel diberi paparan cahaya matahari. Peningkatan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sel disebabkan oleh adanya oksida aluminium yang ada di antara logam Ti yang dapat meningkatkan nilai aktivasi electron saat permukaan sel terkena paparan sinar matahari.

Kemampuan satu sel ini dapat ditingkatkan voltasenya dengan merangkai sel-sel menjadi rangkaian seri, sehingga dapat meningkatkan tegangan

sel. Jumlah sel yang dirangkai disesuaikan dengan voltase yang diinginkan. Voltase sel solar cell supaya dapat melakukan pengisian baterai, maka tegangan sel harus diatas tegangan baterai 12 volt dan 24 volt. *Solar cell* TiO_2 yang menggunakan campuran $\text{TiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ supaya dapat mencapai tegangan pengisian baterai, maka dibuat tegangan 16 volt-19 volt. Sehingga satu modul yang dibuat dengan 38 sel di susun seri dan selebihnya di susun paralel. Dimensi solar cell TiO_2 dengan luas 40 x 40 x 5 cm dapat menghasilkan rata-rata 10 watt-20 watt.

BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Setelah diperoleh data hasil pengukuran desain sistem *solar cell* TiO_2 yang dihasilkan dan untuk mensuprot penggunaan *solar cell* TiO_2 yang akan digunakan untuk pembangkit listrik *hybrid* di daerah terpencil dan pedesaan yang banyak sumber biogas, sehingga rencana tahap berikutnya adalah;

1. Mendesain model sistem digester biogas yang digunakan untuk menghasilkan biogas sebagai bahan bakar generator yang praktis dan ekonomis.
2. Mendesain sistem instalasi sistem pengelolaan dan instalasi pipa biogas.
3. Mendesain model motor bakar dan sistem generator yang akan digunakan sebagai pembangkit energi listrik
4. Mendesai sistem instalasi jaringan kelistrikan *hybrid* dengan *solar cell* TiO_2
5. Mendesain sistem kontrol *hybrid* yang akan digunakan.

BAB VII. SIMPULAN DAN SARAN

1. Simpulan

Hasil SEM dengan pembesaran 500x, 1000x, 2000x dan 3000x menunjukkan campuran $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ (1:3) yang digunakan dilapisan pada permukaan elektroda sel yang akan digunakan sebagai elektroda kerja *solar cel* menunjukan jumlah serpihan yang paling banyak serpihan oksida almunium dari pada campuran (1:1) dan (1:2).

Peningkatan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sel disebabkan oleh adanya oksida almunium yang ada di antara logam Ti yang dapat meningkatkan nilai aktivasi electron saat permukaan sel terkena paparan sinar matahari.

Tegangan modul *solar cell* harus diatas tegangan baterai 12 volt. Sel *solar cell* TiO_2 yang menggunakan campuran $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ supaya dapat mencapai tegangan pengisian baterai, maka dibuat tegangan 16 volt-19 volt. Satu modul *solar cell* TiO_2 untuk dapat menghasilkan tegangan pengisian pada baterai dibuat dengan 38 sel di susun seri dan selebihnya di susun paralel. Dimensi *solar cell* TiO_2 dengan luas 40 x 40 x 5 cm dapat menghasilkan rata-rata 10 watt-20 watt.

2. Saran.

Beberapa saran yang perlu disampaikan berkaitan dengan penelitian ini, adalah:

- a. Sebaiknya dalam penelitian pengembangan *solar cell* TiO_2 dibuat tegangan sel 19 volt dengan menyusun seri, selebihnya dapat disusun parallel untuk meningkatkan kapasitas arus listriknya. Hal ini penting untuk menjaga tegangan tidak turun sampai batas minimal tegangan dan dapat terus mengalirkan arus pengisian bata baterai saat intensitas cahaya matahari menurun.
- b. Sebaiknya dalam penempelan bahan semikonduktor $\text{TiO}_2\text{:Al}_2\text{O}_3$ menggunakan bahan yang elastis, sehingga permukaan tidak cepat retak dan kuat tetapi memiliki sifat semikonduktor yang baik.

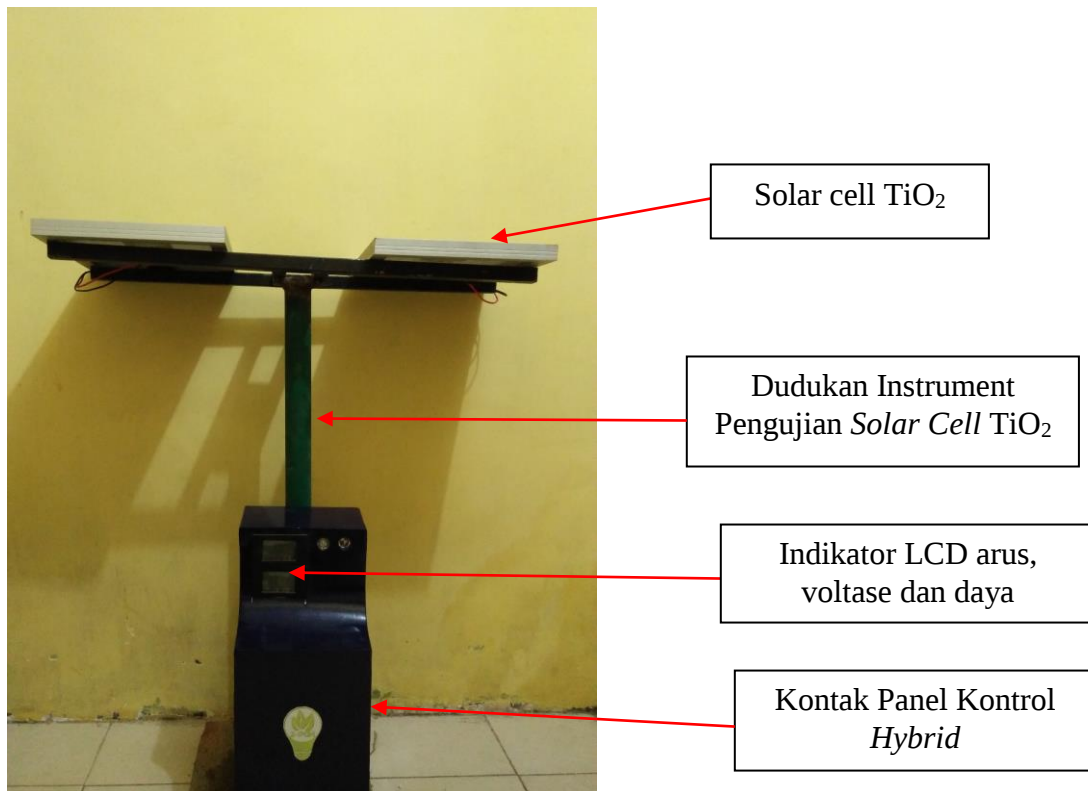
DAFTAR PUSTAKA

- Benjamin C. Kuo, 1982, *Automatic Control Systems*, Prentice-Hall Of India, New Delhi.
- Didit, W. 2011. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Kawasan Usaha Peternakan Sapi*. Tesis FT UI,
- EG&G Technical Services, Inc. 2004. *Fuel Cell Handbook (Seventh Edition)*, U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory P.O. Box 880 Morgantown, West Virginia 26507-0880
- Hamzah Hilal. 1993. *Pemanfaatan Energi Terbarukan untuk Wilayah Terpencil*. Presentasi Ilmiah Lustrum VI Elektronika Universitas Hasanudin. Ujung Pandang.
- Johnson, R., C. Morgan, D. Witmer, T. Johnson. 2001. "Performance of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack", Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 26, No. 8, pp. 879-887.
- L.E. Weldermariam (2010). Genset-Solar-Wind Hybrid Power System of Off-Grid Power Station for Rural Applications. Master thesis in Electrical Power Engineering. Delf University of Technology, Delf
- Marsudi Djiteng. 2003. *Pembangkit Energi Listrik*. PT. Jalamas Berkatama bersama STT YPLN. Jakarta.
- Musfir dan Idham djauhari. 1995. *Analisis Perbandingan Sistem hybrid Fotovoltaik-Diesel dengan Sistem Fotovoltaik Berdiri Sendiri untuk Kelistrikan wilayah Terpencil*. Tugas Akhir Universitas Hasanuddin. Ujung Pandang.
- M. R. Patel. (1999). *Wind and Solar Power Systems*. CRC Press.
- Saiful M. 2010 . *Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif Yang Effisien, Handal Dan Ramah Lingkungan Di Indonesia*. Analisis Kinerja Solar Photovoltaic System (Sps) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi Dan Eksergi. Universitas Diponegoro
- Seno d. panjaitan,dkk. 2013.*Teknologi pembangkit listrik tenaga biogas terpurifikasi yang berasal dari sampah perkotaan*. Proseding Insinas. Universitas Tanjungpura, disajikan tanggal 29-30 nop 2012.
- Sudradjat, R. 2004. *The Potential of Biomass Energy resources in Indonesia for the Possible Development of Clean Technology Process (CTP)*. International Workshop on Biomass & Clean Fossil Fuel Power Plant

Technology: Sustainable Energy Development & CDM. Jakarta, January
13-14, 2004

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Produk TTG solar cell TiO₂



Lampiran 2. Makalah Ilmiah

Aplikasi *Solar Cell* TiO₂ untuk Pembangkit Listrik

¹Aris ansori, ²Bellina Yunitasari, ³Beni Setiawan

¹Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, arisansori@unesa.ac.id

²Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, belinayunitasari@unesa.ac.id

³Pendidikan IPA, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, benisetiawan@unesa.ac.id

*) Alamat Korespondensi: Email: (arisansori@unesa.ac.id)

ABSTRAK

Potensi energi matahari yang diterima permukaan bumi mencapai 2×10^{17} Watt/pertahun. Energi matahari sebagai sumber energi terbarukan belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi listrik. Konversi energi matahari menjadi listrik membutuhkan devais photovoltaic. Beberapa kendala pemanfaatan energi matahari menjadi listrik adalah harga devais solar cell yang mahal, efisiensi rendah dan factor alam (Intensitas cahaya matahari). Tujuan penelitian mendesain devais solar cell yang dapat digunakan mengkonversi listrik dengan menggunakan material katoda lembaran tembaga dan semikonduktor TiO₂. Metode penelitian pembuatan solar cell dengan elektroda cell lembaran Cu dengan dimensi 20 x 20 x 0,5 mm dan dilapisi semikonduktor TiO₂ dan Al₂O₃ dengan rasio 1:1 dengan metode doctor blade, elektroda cell di oven suhu 400 OC selama 15 menit dan direndam dengan pigmen klorofil. Sell dilakukan uji SEM dan di beri paparan sinar matahari untuk mengetahui tegangan dan arus listrik yang dihasilkan. Hasil analisis permukaan sel yang di lapisi campuran TiO₂ dan Al₂O₃ menunjukkan adanya oksida almunium yang dapat meningkatkan tegangan sell dan transport electron, tegangan cell yang dihasilkan 0,5 volt. Efisiensi konversi sel 1,2 %

Kata kunci: solar cell, TiO₂ dan Al₂O₃, efisiensi, tegangan sel

ABSTRACT

The potential of solar energy received by the earth's surface reaches 2×10^{17} Watt / year. Solar energy as a source of renewable energy has not been utilized optimally as a source of electrical energy. Converting solar energy into electricity requires a photovoltaic device. Some of the constraints to the use of solar energy into electricity is the expensive price of solar cell devices, low efficiency and natural factor (sun light Itensity). The objective of the research is to design a solar cell device that can be used to convert electricity using cathode materials of copper sheet and TiO₂ semiconductor. Metode research of making solar cell with cell electrode of Cu sheet with dimension 20 x 20 x 0,5 mm and coated semiconductor TiO₂ and Al₂O₃ with ratio 1: 1 with doctor blade method, cell electrode at oven temperature 400 OC for 15 minutes and soaked with pigment clorofil. Sell SEM test is done and given sun exposure to know the voltage and electric current generated. The results of cell surface analysis in layers of mixtures of TiO₂ and Al₂O₃ indicate the presence of almunium oxide which can increase the sell voltage and transport electron, cell voltage generated 0.5 volts. Cell conversion efficiency of 1.2%.

Key words : solar cell, TiO₂ and Al₂O₃, efficiency, cell voltage

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi memaksa manusia untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Pembangkit listrik oleh PT. PLN selama ini memanfaatkan energi fosil khususnya minyak, batu bara, dan gas Bumi. Potensi energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan mudah adalah energi matahari. Potensi energi matahari di Indonesia sebesar $4.5 \text{ kW/m}^2/\text{hari}$.

Energi matahari dikonversi menjadi menjadi arus listrik yang searah dengan menggunakan divais *solar cell*. Energi matahari merupakan sumber energi dalam jumlah besar, bersifat kontinyu, dan sangat atraktif, karena bersifat kolotif, tidak dapat habis dan dapat dipercaya serta gratis. *Solar cell* fotovoltaiik merupakan suatu dioda semikonduktor yang bekerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaiik, *Solar cell* menghasilkan tegangan 0,5-1 volt tergantung intensitas cahaya dan zat semikonduktor yang dipakai. Beberapa tipe *solar cell* selain menggunakan silikon juga menggunakan semikonduktor TiO_2 .

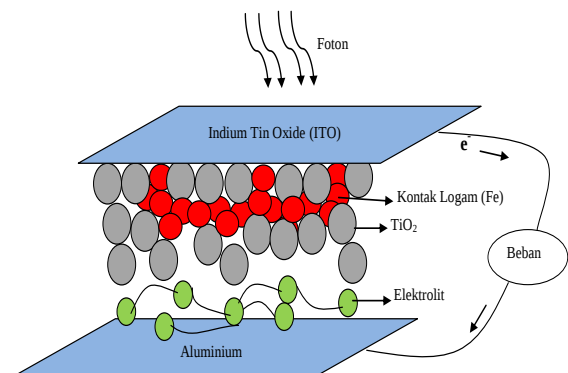
1.1 Solar cell Titania

Solar cell Titania adalah memodifikasi lapisan titania sebagai lapisan aktif terus dikembangkan. Modifikasi pada lapisan titania dilakukan dengan menyisipkan logam pada lapisan titania. Logam yang disisipkan dapat berupa emas, tembaga, besi atau logam yang lain. Efisiensi sel *solar cell* meningkat ketika lapisan titania disisipi dengan logam. Penyisipan logam pada lapisan titania dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya dengan metode sputtering, elektroplating dan doctor blade coating.

Lapisan titania dapat disisipi logam Fe dengan menggunakan metode elektroplating. Pada proses elektroplating, larutan elektrolit yang digunakan adalah FeCl_2 , dengan lapisan titania sebagai katoda dan batang Fe sebagai anoda. Elektroplating dilakukan pada berbagai variasi tegangan elektroplating, lama waktu *elektroplating* dan konsentrasi FeCl_2 . Lapisan TiO_2 yang dielektroplating dengan tegangan yang lebih besar (konsentrasi larutan elektrolit dan waktu *elektroplating* sama) atau waktu *elektroplating* yang lebih lama (konsentrasi larutan elektrolit dan tegangan *elektroplating* sama, atau konsentrasi FeCl_2 yang lebih besar (tegangan dan waktu *elektroplating* sama) akan mengandung unsur Fe yang lebih banyak. Sel *solar cell* dengan lapisan aktif titania yang

disisipi Fe dapat mencapai efisiensi 0,2 % (Rita Prasetyowati, 2011).

Lapisan TiO_2 *dielektroplating* dengan Fe, berarti ada atom-atom Fe yang menyisip diantara partikel-partikel TiO_2 . Hal ini bisa dijelaskan seperti gambar 1, sel *solar cell* diradiasi dengan cahaya maka akan terjadi generasi (timbulnya pasangan elektron-hole). Foton yang diserap oleh elektron pada TiO_2 menyebabkan elektron tereksitasi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi dan selanjutnya elektron mengalir menuju ITO melalui lapisan kontak logam (Fe). Lapisan kontak logam ini menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju ITO (K. Asagoe. *et al*, 2007). Selanjutnya elektron mengalir melalui beban luar menuju *counter* elektroda dan akan diterima oleh elektrolit. Sedangkan hole yang terbentuk akan berdifusi menuju elektrolit. Hal ini berarti elektron yang diterima elektrolit akan berekombinasi dengan hole membentuk pembawa muatan negatif (R. Sastrawan, 2006).



Gambar 1. Sel *solar cell* berbasis TiO_2 dan logam Fe

Sel *solar cell* juga dibuat dengan lapisan titania yang disisipi logam Cu (Sahrul Saehana. *et al*, 2011). Penyisipan logam Cu dilakukan dengan berbagai metode. Sel *solar cell* dengan lapisan titania yang disisipi logam dengan metode *sputtering* dapat mencapai efisiensi 1,2%, dengan metode *elektroplating* dapat mencapai efisiensi 0,78% dan dengan metode *doctor blade* dapat mencapai efisiensi 0,4%. Efisiensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu rendahnya nilai *fill factor*, arus pendek (*short-circuit current*), atau tegangan terbuka (*open-circuit voltage*), yang dipengaruhi juga oleh resistansi dari lapisan TiO_2 (Ahn *et al.*, 2007; Han *et al.*, 2006).

Sel *solar cell* atau sel fotovoltaiik merupakan alat yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaiik merupakan

dasar dari proses konversi sinar matahari (*foton*) menjadi listrik. Efek fotovoltaiik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit (Green, 2001; Shah, et al, 1999; Septina, Fajarisandi, Aditia, 2007).

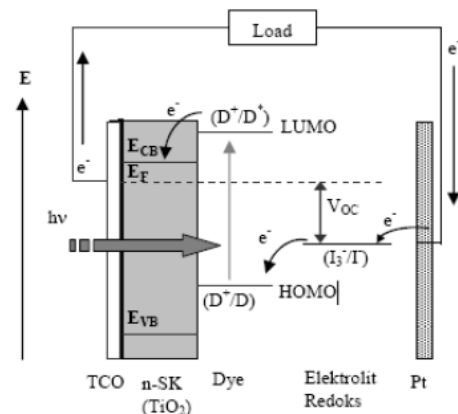
Mekanisme yang bekerja pada *sel solar cell* berdasarkan efek *photovoltaik* dimana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik. Struktur *sel solar cell* tandem (*multi-junction*) didesain untuk mengatasi persoalan kehilangan energy. Prinsip dasar dari *sel solar cell* tandem adalah pembagian spektrum cahaya matahari kedalam dua atau lebih bagian, untuk kemudian masing-masing bagian tersebut dapat diserap oleh beberapa *sel solar cell* yang memiliki celah pita energi yang berbeda.

Prinsip ini dapat direalisasikan dengan cara membuat tumpukan *sel solar cell* dimana *sel solar cell* yang paling atas yang memiliki celah pita energi terbesar dibuat trasparan terhadap spektrum cahaya yang tidak diserapnya, sehingga dapat lolos dan diserap oleh *sel solar cell* di bawahnya yang memiliki celah pita energi lebih kecil (Araujo, 1989). Secara garis besar *sel solar cell* dibagi menjadi dua bagian berdasarkan material yang digunakan untuk menyerap cahaya matahari, yaitu *sel solar cell* anorganik dan organik (Gratzel, 2003).

Sel solar cell anorganik (*Inorganik solar cell*) menggunakan bahan anorganik untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Biasanya menggunakan silikon sebagai material yang menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. *Sel solar cell* organik (*Organik Solar cell*) menggunakan material organik atau *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dan lain sebagainya. Pewarna (*dye*) yang digunakan dapat berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan pewarna (*dye*) secara berlapis masih terbatas. Sistem kerja *sel solar cell* organik meniru sistem kerja fotosintesis.

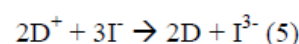
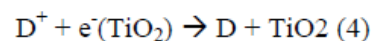
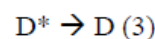
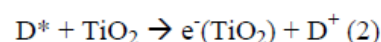
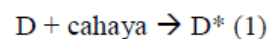
Perkembangan yang menarik dari teknologi *sel solar cell* saat ini adalah *sel solar cell* yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya TiO_2) yang direndam dalam sebuah *fotosensitizer* (pemeka cahaya). Prinsip kerja *sel solar cell* TiO_2 tersensitisasi *dye* ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2. sedangkan urutan proses yang terjadi di dalam *sel*

solar cell dirangkum pada persamaan (1-5). *Dye* (D) menyerap sebuah foton mengakibatkan elektron tereksitasi dari level HOMO ke LUMO pada molekul *dye*.



Gambar 2. Skema Kerja *Sel solar cell* Pewarna Tersensitisasi

Dye tereksitasi (D^*) menginjeksi sebuah elektron ke dalam pita konduksi (CB) semikonduktor (TiO_2) yang berada sedikit lebih tinggi daripada level konduksi TiO_2 . Elektron tersebut melintas melewati partikel-partikel TiO_2 menuju kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan ITO (*Indium Tin Oxide*), selanjutnya ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektron masuk kembali ke dalam sel dan mereduksi sebuah donor teroksidasi (I^+) yang ada di dalam elektrolit. *Dye* teroksidasi (D^+) akhirnya menerima sebuah elektron dari donor tereduksi (I^{3-}) dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal (D). Rangkaian reaksi kimia di dalam sel adalah sebagai berikut (Li, et. al., 2006) :



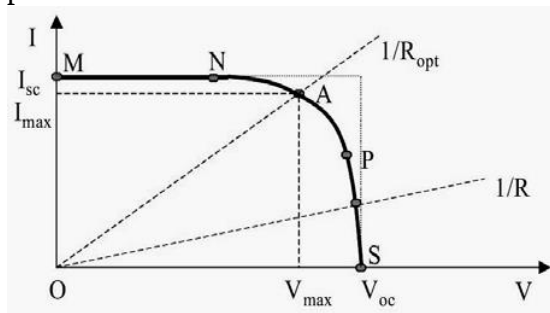
Tegangan yang dihasilkan oleh *sel solar cell* nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan

tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO₂ dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I/I³⁺). Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel solar cell ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja dye yang digunakan (Li, et. al., 2006).

Pembangkit listrik solar cell mempunyai performa dapat dilihat dari daya output listrik yang dihasilkan. Daya listrik yang dihasilkan sel solar cell diperoleh dari kemampuan sel solar cell untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik, dengan indikator arus listrik yang dihasilkan (I_{sc}) dan tegangan yang dihasilkan (V_{oc}).

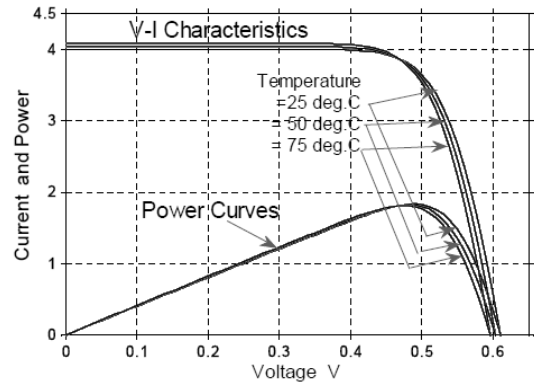
1.2 Performa solar cell Titania

Performa sel solar cell dalam kondisi short circuit, arus maksimum atau arus short circuit (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan open circuit (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum pada titik. Daya maksimum ini terjadi saat I_{sc} dan V pada saat maksimum.



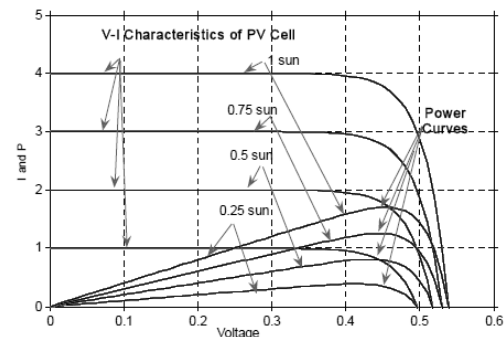
Gambar 3. Karakteristik kurva I-V solar cell

Beberapa faktor yang mempengaruhi performa solar cell adalah intensitas cahaya matahari, kemiringan sudut solar cell dan temperatur permukaan sel solar cell. Faktor kenaikan temperatur permukaan solar cell dapat menurunkan performa solar cell yang dapat terlihat dari penurunan arus listrik yang dihasilkan, terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Perubahan temperatur terhadap karakteristik I-V solar cell

Faktor perubahan iradiasi sinar matahari dipermukaan solar cell mempengaruhi performa kinerja solar cell. Penurunan arus listrik dan tegangan sel solar cell pada saat terjadi penurunan sinar matahari yang mengenai permukaan solar cell, terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Perubahan iradiasi pada permukaan solar cell terhadap I-V

Karakteristik sel solar cell sambungan P-N nilai arus - tegangan (I - V) dapat dituliskan persamaan arus, sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \dots\dots\dots$$

Arus diode I_d merupakan jumlahan dari arus mayoritas I_D dan arus generasi-rekombinasi I_R.

$$I_d = I_D + I_R = I_{0D} \left(\exp \frac{qV_a}{k_B T} - 1 \right) + I_{0R} \left(\exp \frac{qV_a}{2k_B T} - 1 \right) \dots\dots\dots$$

V_a = Tegangan terpasang,

k_B = Konstanta Boltzmann

T = Suhu mutlak dalam kelvin.

Persamaan perhitungan arus listrik adalah sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV + R_s I}{n k_B T} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

I_0 = arus jenuh diode. ...12

Perhitungan parameter sel *solar cell* ideal, tahanan seri R_s diambil nol dan tahanan paralel R_{sh} adalah tak berhingga, sehingga diperoleh persamaan karakteristik I-V:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{n k_B T} \right) - 1 \right]$$

n adalah menyatakan ketidakidealan diode ($n=1$ untuk diode ideal) ...13
($I = 0$), maka diperoleh V_{oc} yang besarnya dapat dinyatakan dengan rumus;

$$V_{oc} = n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \approx n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right)$$

Sedangkan daya listrik yang dihasilkan *solar cell*

dapat dihitung dari hasil perkalian arus listrik dan tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell*, dengan menggunakan rumus berikut;

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc}$$

Dimana: P_{out} = daya sel *solar cell* (watt)

V_{oc} = tegangan saat open-circuit (volt)

I_{sc} = arus yang mengalir sirkuit (ampere)

Performa pembangkit listrik solar cell dapat dilihat dari efisiensi yang dihasilkan sistem tersebut (η). Perhitungan efisiensi merupakan perbandingan daya listrik maksimum dan daya matahari yang datang pada permukaan *solar cell*, dengan factor bentuk FF (berkaitan dengan keidealan diode) memungkinkan dapat dinyatakan efisiensi dengan parameter optimal I_{cc} dan V_{co} .

I_{cc} adalah arus ketika rangkaian terhubung pendek ($V = 0$) merupakan parameter fotovoltaiik yang menggambarkan kapasitas *solar cell* menangkap foton sehingga menghasilkan pembawa muatan bebas. Sedangkan tegangan rangkaian terbuka V_{co} ($I = 0$) menggambarkan mekanisme rekombinasi dalam *solar cell*.

Faktor bentuk FF dapat dinyatakan dalam persamaan

$$FF = FI \left(1 - \frac{V_{co}}{R_{sh} I_{cc}} - \frac{I_{cc} R_s}{V_{co}} - \frac{R_s}{R_{sh}} \right)$$

Untuk mengambil keadaan ideal dengan mengambil $R_s = 0$, dan $R_{sh} = \infty$

Besarnya energi input yang dikonversi sel *solar cell* dapat dihitung dengan mengukur besarnya intensitas cahaya matahari dengan alat ...9 r. Besarnya efisiensi sel *solar cell* dapat dihitung dengan rumus berikut;

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_{surya}} = \frac{FF \times V_{co} \times I_{co}}{P_{surya}}$$

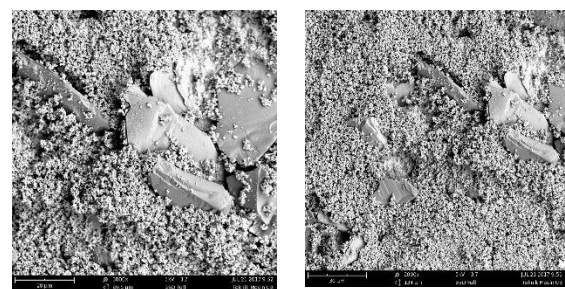
Efisiensi sel *solar cell* komersial berkisar rata-rata 15 - 20 %. ...10

2. METODE

Rancangan penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, pembuatan *solar cell* dengan elektroda cell lembaran Cu dengan dimensi 10 x 10 x 0,8 mm dan dilapisi semikonduktor TiO_2 dan Al_2O_3 dengan rasio 1:1 dengan metode doctor blade, elektroda cell di oven suhu 400 °C selama 15 menit dan direndam dengan pigmen klorofil. Electrolyte sel menggunakan iodium (I^-) dengan electrode counter menggunakan karbon. Permukaan sell dilakukan uji SEM dan di beri paparan sinar matahari untuk mengetahui tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sell. Metode pengambilan data dilakukan dengan memberikan paparan sinar matahari pada permukaan sel dan dilakukan hasil perhitungan tegangan sel dan arus listrik yang dihasilkan dengan menggunakan voltmeter dan ampere meter digital. Analisis data dengan menggunakan analisis deskriptif kuantitatif

sil Dan Pembahasan

Hasil analisis uji SEM permukaan solar cell dengan menggunakan lapisan campuran semikonduktor TiO_2 dan Al_2O_3 membentuk bongkahan aluminium yang terbentuk dari oksida aluminium diantara logam Titania, pembentukan oksida aluminium ini dapat meningkatkan tegangan sel serta dapat meningkatkan transport elektron.



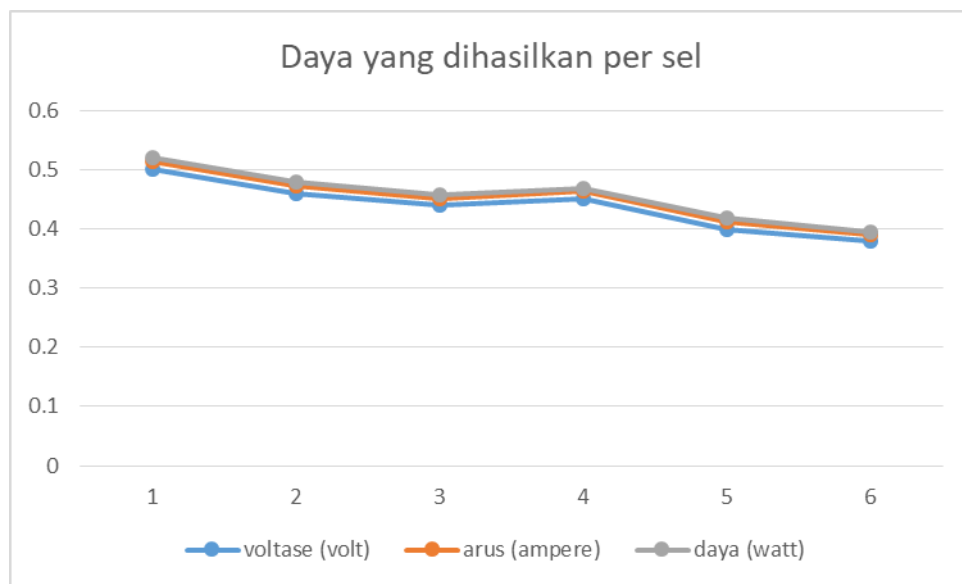
Gambar 6. Uji sem permukaan lapisan sel

Dari gambar 6, terlihat campuran semikonduktor Al_2O_3 pada permukaan cell dengan pemanasan pada suhu 400°C dapat membentuk bongkahan aluminium yang dapat membantu meningkatkan transport electron dan tegangan sel yang dihasilkan.

Sedangkan hasil pengukuran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh cell dengan dimensi $5 \times 5 \times 0,8$ mm dengan menggunakan electrode kerja logam tembaga dapat disajikan table 1.

Tabel 1. Pengukuran tegangan dan arus listrik cell dimensi $20 \times 20 \times 0,5$ mm

Voltase (volt)	Arus listrik (ampere)	Daya (watt)
0.50	0.014	0.007
0.46	0.013	0.006
0.44	0.012	0.005
0.45	0.013	0.006
0.4	0.013	0.005
0.38	0.011	0.004



Gambar 4. Performa DSSC dengan elektroda kerja tembaga

Penggunaan elektroda kerja tembaga untuk aplikasi solar cell menghasilkan daya sebesar 0,0063 watt per sel, sedangkan untuk menghasilkan tegangan listrik 12 volt harus dirangkai seri 26 sel dan untuk meningkatkan arus listrik yang dihasilkan dengan merangkai sel parallel.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dimensi sel solar cell dengan 5x5x0,8 mm dapat menghasilkan tegangan sel dalam rentang 0,38 – 0,50 volt sedangkan dengan arus listrik yang dihasilkan sebesar 0.0063 ampere dan Efisiensi konversi sel 1,2 %, Sedangkan untuk meningkatkan transport electron pada sel hubungan antar permukaan elektroda dibuat lebih rapat, sehingga rambatan electron lebih optimal

4.2 Saran

Peningkatan kemampuan daya rekat dan elastisitas lapisan permukaan sel, sebaiknya diberi bahan tambahan aerosol saat penempelan semikonduktor TiO_2 , dan menggunakan metode spraying yang lebih meratakan dan menguatkan ikatan TiO_2 pada permukaan tembaga.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada DRPM Kemenristekdikti yang telah memberikan dana penelitian, melalui dana BONPTN skim penelitian produk terapan.

Referensi

- Chmiel, Gehring, Uhlendorf, 1998, *Dye sensitized solar cells (SSPT) : Progress toward application*, 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6 July Vienna Austria
- Fu-Lin Chen, I.-Wen Sun, H. Paul Wang, dan C.-H. Huang. (2009). *Nanosize Copper Dispersed Ionic Liquids As an Electrolyte of New Dye-Sensitized Solar Cells Journal of Materials* **2009**, 472950 (4pp).
- Gratzel, 2004, *Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells*, J. Photochem. Photobiol. A: Chem, 164, 3-14
- Halme, 2002, *Dye-sensitized nanostructured and organik photovoltaic cells : technical review and preliminary tests*, Master's thesis, Departemen of Engineering Physics and Mathematics, Helsinki University of Technology, Espoo
- Kay dan Gratzel, 1996, *Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 44, 99-177
- Phani, G., G. Tulloch, D. Vittorio, dan I. Skyrabin. (2001). *Titanium Solar Cells: New Photovoltaic*

Lampiran 4. Draf Haki

Deskripsi

SOLAR CELL TiO_2

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berhubungan dengan suatu *solar cell* TiO_2 yang digunakan menghasilkan energi listrik sebagai pembangkit listrik untuk sumber energi energi terbarukan

Latar Belakang Invensi

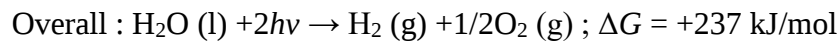
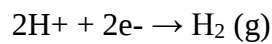
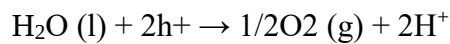
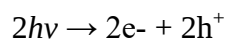
Solar cell atau juga sering disebut fotovoltaiik adalah divais yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. *Solar cell* bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai kebumi, penggunaan *solar cell* masih terbatas untuk menghasilkan listrik.

Keberhasilan perencanaan *solar cell* berbasis TiO_2 adalah fungsi ganda *solar cell* TiO_2 yang dapat menghasilkan energi listrik dan gas hidrogen secara bersamaan dalam satu sistem dengan mengkonversi cahaya matahari yang sampai di permukaan *solar cell* TiO_2 .

Prinsip kerja dari solar cel TiO_2 adalah sebagai berikut; dekomposisi fotokatalitik air (reaksi *water-splitting*) didasarkan pada konversi energi cahaya menjadi listrik ketika cahaya diserap oleh semikonduktor TiO_2 yang dilapiskan pada permukaan anoda *solat cell* TiO_2 . Pemaparan permukaan anoda *solar cell* TiO_2 yang dilapisi TiO_2 (bersifat semikonduktor) oleh sinar matahari (UV) menghasilkan pasangan elektron (e^-) dan *hole* (h^+) pada permukaannya. Titanium dioksida mempunyai pita valensi yang terisi penuh dan pita konduksi yang kosong. Celah pita pada TiO_2 sekitar 3,2 eV, dimana energi foton dari cahaya memiliki panjang gelombang 400 nm, di luar daerah visibel mendekati ultraviolet. Cahaya ultraviolet dari cahaya matahari dapat mengeksitasi elektron dari pita

valensi TiO₂ kedalam pita konduksi dan meninggalkan lubang positif pita valensi. Dengan cara ini, TiO₂ dengan adanya sinar matahari dapat menyediakan elektron yang berenergi tinggi dari pita konduksi. Energi pasangan elektron donor 3,2 eV (309 kJ/mol) yang dihasilkan anoda lebih dari cukup untuk terjadinya reaksi *water-splitting* media elektrolit *solar cell* TiO₂ yang menggunakan air (H₂O) terlepas ikatan kimianya menjadi hidrogen dan oksigen. Reaksi *water splitting* membutuhkan perubahan energi bebas Gibbs ΔG sebesar 237 kJ/mol atau 1.23 eV. Reaksi ini terjadi menurut mekanisme berikut;

Photon absorption:



Sedangkan proses produksi listrik yang dihasilkan pada sistem *solar cell* TiO₂ paparan sinar matahari (UV) yang sampai dipermukaan anoda yang dilapisi TiO₂ menghasilkan pasangan elektron (e⁻) sebesar 3,2 eV dipermukaan anoda dan diteruskan ke plat anoda (Cu) sedangkan di katoda (AL) kekurangan elektron sehingga terjadi perbedaan potensial antara kutub anoda dan katoda, hal ini akan menyebabkan elektron akan mengalir dari kutub anoda ke katoda. Aliran elektron dari kutub anoda ke kutub katoda melalui sirkuit luar jika pasang beban (lampu) lampu tersebut akan menyala yang disebabkan aliran elektron dari anoda ke katoda atau dapat disimpan dibaterai.

Invansi selanjutnya Publication number CN103339292 *A Multi-layer water-splitting devices* perangkat pengurai ikatan air yang meliputi elektroda pertama untuk memproduksi gas oksigen dan elektroda kedua untuk memproduksi gas hidrogen dari air . Elektroda pertama dan elektroda kedua diposisikan antara lapisan polimer luar pertama dan lapisan polimer luar kedua , dan setidaknya satu lapisan spacer diposisikan antara pertama lapisan polimer luar dan lapisan polimer luar kedua. Sedangkan pada invensi kedua ini proses pembentukan hidrogen dengan menggunakan dua buah elektroda dan tidak menghasilkan listrik,.

Ringkasan Invensi

Sedangkan dimensi *solar cell* TiO_2 sesuai dengan invensi ini, adalah sebagai berikut; mengacu gambar 1, yaitu tampilan gambar tampak depan *solar cell* TiO_2 pada bagian 1a luas dimensi bidang permukaan *solar cell* TiO_2 900 x 500 x 20 mm, rangkaian seri dan paralel, (b) pada bagian 1b luas dimensi sel 50 x 50 x 0,80 mm dengan bahan sel anoda (Cu) dan katoda (AL), (c) pada gambar 1c pembatas sel dengan dimensi 50 x 20 x 0,5 mm berbahan isolator, (d) pada gambar 1d merupakan terminal kutub anoda dan katoda yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke sirkuit luar, (e) pada gambar 1e lubang saluran gas hidrogen yang dihubungkan ke sistem *fuel cell*.

Gambar 2, adalah tampak samping dari *solar cell* berbasis TiO_2 sesuai dengan invensi ini, dengan bagian sebagai berikut; (a) pada bagian 2a anoda yang terbuat berbahan tembaga oksida (CuO), (b) bagian 2b adalah katoda yang terbuat dari bahan (Al), (c) bagian 2c merupakan jarak antara anoda dan katoda *solar cell* TiO_2 sebesar 0,25 mm, (d) pada bagian 2d lapisan TiO_2 yang dilapiskan pada permukaan anoda, (e) pada bagian 2e tempat media elektrolit *solar cell* TiO_2 dan (f) pada bagian 2f dudukan *solar cell* TiO_2 yang digunakan untuk masang solar cell TiO_2

Uraian Singkat Gambar

Untuk memudahkan pemahaman mengenai inti invensi ini, selanjutnya akan diuraikan perwujudan invensi melalui gambar-gambar terlampir. Bagian *solar cell* TiO_2 terdiri dari sel-sel yang disusun secara kombinasi dengan dimensi-dimensi sebagai berikut, sesuai yang disajikan pada gambar 1 dan gambar 2 dengan bagian-bagian komponen sebagai berikut; pada bagian gambar 1a luas dimensi bidang permukaan *solar cell* TiO_2 900 x 500 x 20 mm, pada bagian gambar 1b luas dimensi sel 50 x 50 x 0,80 mm dengan bahan sel anoda (CuO) dan katoda (AL) yang dirangkai secara kombinasi, yaitu rangkaian seri dan paralel, bagian pada gambar 1c pembatas sel dengan dimensi 50 x 20 x 0,5 mm berbahan isolator, pada bagian gambar 1d merupakan terminal kutub anoda dan katoda yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke sirkuit luar, pada bagian gambar 1e lubang saluran gas hidrogen yang dihubungkan ke sistem *fuel cell*, bagian gambar 1f saluran masuk media elektrolit *solar cell* TiO_2 , pada bagian 2a anoda yang terbuat berbahan tembaga oksida (CuO), bagian 2b adalah katoda yang terbuat dari bahan (Al), bagian 2c merupakan jarak antara anoda dan katoda *solar cell*

TiO₂ sebesar 0,25 mm, pada bagian 2d lapisan TiO₂ yang dilapiskan pada permukaan anoda, pada bagian 2e tempat media elektrolit *solar cell* TiO₂ dan pada bagian 2f dudukan *solar cell* TiO₂ yang digunakan untuk masang solar cell TiO₂

Uraian Lengkap Invensi

Invensi yang diusulkan ini pada prinsipnya adalah suatu *solar cell* berbasis TiO₂ yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik sebagai sumber energi listrik kebutuhan manusia sehari-hari.

Perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell* TiO₂ disebabkan oleh perbedaan tingkat energi antara TiO₂ yang dilapiskan pada anoda dan katoda. Kutub anoda (Cu) yang terlapisi TiO₂ mempunyai kelebihan elektron dibandingkan kutub katoda (Al) jika dihubungkan antara kutub anoda (CuO) dan kutub katoda (Al) melalui sirkuit luar dan dihubungkan dengan sebuah beban (lampu atau baterai), maka elektron akan mengalir melewati beban yang mengakibatkan lampu menyala atau listrik (aliran elektron) dapat disimpan di dalam baterai sebagai sumber cadangan energi listrik.

Sedangkan untuk menunjang prinsip kerja *solar cell* TiO₂ untuk menghasilkan gas hidrogen dan listrik, *solar cell* TiO₂ dibuat dengan bagian-bagian sebagai berikut; mengacu gambar 1, yaitu tampilan gambar tampak depan *solar cell* TiO₂ pada bagian 1a luas dimensi bidang permukaan *solar cell* TiO₂ 900 x 500 x 20 mm, rangkaian seri dan paralel, (b) pada bagian 1b luas dimensi sel 50 x 50 x 0,80 mm dengan bahan sel anoda (Cu) dan katoda (AL), (c) pada gambar 1c pembatas sel dengan dimensi 50 x 20 x 0,5 mm berbahan isolator

Klaim

1. Suatu *solar cell* berbasis TiO₂ untuk memaksimalkan fungsi *solar cell* TiO₂, sehingga menghasilkan listrik, terdiri dari: susunan sel-sel secara seri dan paralel (rangkain kombinasi) dan satu sel terdiri dari anoda yang permukaannya dilapisi bahan semikonduktor TiO₂ dan katoda yang berbahan AL.
2. Suatu *solar cell* TiO₂ sesuai dengan klaim 1, dimana jumlah sel sebanyak 48 sel dengan disusun dengan rangkain seri dan paralel.
3. Suatu *solar cell* TiO₂ sesuai dengan klaim 1 dan 2, dimensi ukuran sel adalah 50 x 50 x 0,80 mm.

4. Suatu *solar cell* TiO_2 sesuai dengan klaim 1, dimana pada dasarnya bentuk *solar cell* TiO_2 yang digunakan sesuai dengan invensi ini adalah persegipanjang dengan dimensi 900 x 500 x 20 mm.
5. Suatu *solar cell* TiO_2 sesuai dengan klaim 1 sampai klam 4, dibuat penyekat untuk masing-masing rangkaian sel dengan dimensi penyekat sel adalah 50 x 20 x 0,25 mm.

Abstrak

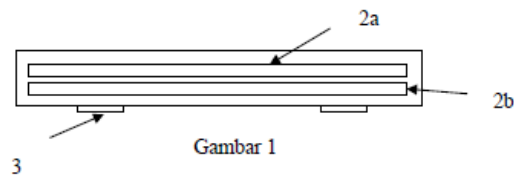
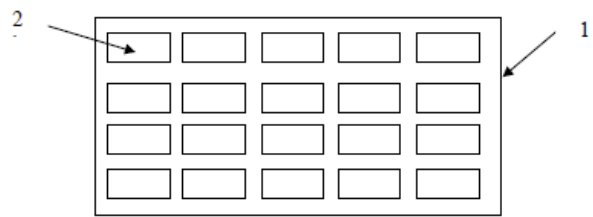
SOLAR CELL TiO_2 UNTUK PRODUKSI HYDROGEN DAN LISTRIK

Invensi ini berhubungan dengan suatu *solar cell* berbasis TiO_2 yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dan gas hidrogen dari fotokatalis air (H_2O) secara bersamaan dalam satu sistem *solar cell* TiO_2 dengan menggunakan paparan sinar matahari.

solar cell TiO_2 dibuat untuk tercapinya besarnya energi listrik dengan bantuan sinar matahari, dimana cahaya matahari dengan panjang gelombang 400 yang mampu mengeksitasi elektron dari pita valensi TiO_2 yang dilapiskan pada permukaan anoda (CuO) kedalam pita konduksi dan meninggalkan lubang positif pita valensi, sehingga dapat menyediakan elektron yang berenergi tinggi dari pita konduksi sebesar 3,2 eV (309 kJ/mol), dengan energi elektron sebesar 3,2 eV, adanya perbedaan jumlah elektron yang dihasilkan antara anoda dan katoda menyebabkan beda potensial antara anoda dan katoda yang dapat menghasilkan aliran listrik (aliran elektron) melalui sirkuit luar dari anoda ke katoda.

Parameter utama yang sangat menentukan terhadap produksi energi listrik dan gas hidrogen adalah rancangan dari *solar cell* TiO_2 yang dibuat dengan bagian-bagian *solar cell* TiO_2 sebagai berikut; pada gambar 1, bagian 1a luas dimensi bidang permukaan *solar cell* TiO_2 900 x 500 x 20 mm, bagian 1b luas dimensi sel 50 x 50 x 0,80 mm dengan bahan sel anoda (Cu) dan katoda (AL) yang dirangkai secara kombinasi, yaitu rangkaian seri dan paralel, bagian gambar 1c pembatas atau penyekat sel dengan dimensi 50 x 20 x 0,5 mm berbahan isolator.

Desain solar cell TiO₂



Gambar 1

Keterangan :

1. Frame
2. Cell
3. Anoda
4. Katoda
5. Pemegang fram

