

## KAJIAN ENERGI SURYA UNTUK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,  
Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, 80361  
Phone: 62-361-703321, Fax: 62-361-701806

### Abstrak

*Sel surya adalah sebuah alat konversi energi yang mengubah bentuk energi surya menjadi energi listrik. Energi yang dihasilkan oleh sel surya adalah yang paling ramah lingkungan, namun lahan instalasi yang diperlukan sangat luas. Selain itu, energi surya sangat tergantung pada besarnya intensitas sinar matahari, sehingga kontinuitasnya menjadi masalah tersendiri. Dalam upaya untuk menjadikan energi surya sebagai pembangkit tenaga listrik, maka beberapa kelemahan tersebut harus diperbaiki, agar menghasilkan arus listrik yang kontinu dan ukuran yang seringkis mungkin. Tulisan berikut adalah upaya yang harus dilakukan untuk menjadikan energi surya sebagai energi alternatif dalam mengatasi krisis listrik di Bali.*

### Abstract

*Solar cell is an energy conversion that changed solar energy into electrical energy. The energy produced by solar cell is the most energy which safe to the environment, but the area covered of its installation will be very wide. Beside that, solar cell most depends on the intensity of sun radiation, for where its continuity is questionable and become another problem. In order to make solar energy as an electrical power generator, the weakness of the problem should be eliminated. This paper will explain how solar energy could be used as an alternative energy in order to anticipate the electrical crisis in Bali.*

Kata Kunci : Sel Surya, Energi Listrik

### 1. PENDAHULUAN

Dalam upaya memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat Bali di tengah gencarnya seruan akan kelestarian lingkungan hidup, maka hanya ada dua pilihan yang saat ini bisa ditawarkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Masing – masing pilihan itu adalah: listrik dengan harga murah namun dengan konsekuensi udara di lingkungan kita tercemar, atau harga listrik yang mahal namun dengan udara di atmosfer kita tetap bersih. Dalam waktu dekat ini kelihatannya belum ada pilihan ketiga yang menawarkan listrik dengan harga murah namun proses pembangkitannya kurang mencemari lingkungan.

Pemanfaatan energi surya menjadi listrik adalah sebuah sistem yang paling ramah lingkungan, tapi sampai saat ini masih memerlukan lahan yang luas untuk pemasangan instalasinya. Hal ini terjadi, karena intensitas panas yang diterima oleh permukaan bumi adalah relatif kecil, sehingga memerlukan kolektor yang cukup luas untuk keperluan pembangkitannya.

Energi surya yang memasuki atmosfer memiliki kerapatan daya rata-rata sebesar  $1,2 \text{ kW/m}^2$ , namun hanya sebesar  $560 \text{ W/m}^2$  yang diserap bumi. Berdasarkan angka di atas, maka energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas  $\pm 2$  juta  $\text{km}^2$  adalah sebesar  $5.10^8$  MW, sedangkan untuk pulau Bali yang

memiliki luas tanah  $\pm 5300 \text{ km}^2$ , maka energi surya yang mampu dibangkitkan adalah sebesar  $1,32.10^6$  MW, karena untuk daya listrik sebesar 100 MW akan memerlukan lahan seluas 40 hektar untuk pemasangan instrumen. Luas tanah tersebut belumlah terhitung untuk keperluan tanah bagi alat-alat pendukungnya, sehingga untuk daya listrik seluas 100 MW akan memerlukan luas lahan sebesar 60-70 hektar. Hal inilah yang menyebabkan bahwa pembangkit listrik tenaga surya nilai investasinya menjadi tinggi, karena teknologi yang mendukungnya pun masih baru dan mahal. Namun apabila suatu saat harga sebuah sel surya dapat diminimalkan, maka bukanlah hal yang mustahil bila energi listrik dengan tenaga surya dapat menjadi lebih murah. Selain itu, meskipun energi surya mampu menghasilkan daya listrik yang sangat besar, tapi karena kontinuitasnya kurang begitu stabil (akibat intensitas cahaya matahari yang tidak kontinu), maka energi surya memiliki kendala untuk dapat menjadi sebuah pembangkit tenaga listrik. Nilai investasi untuk tenaga surya dapat dilihat pada Tabel 1.

### 2. LANDASAN TEORI

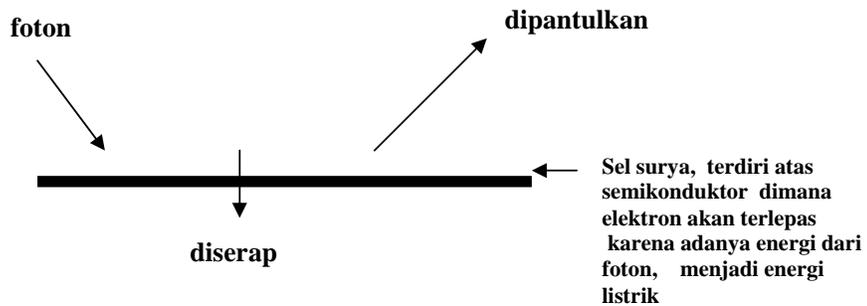
Cahaya matahari terdiri atas foton atau partikel energi surya, dimana foton inilah yang dikonversi menjadi energi listrik. Foton-foton mengandung energi yang bervariasi menurut panjang gelombangnya. Energi foton yang diserap oleh sel

surya diserahkan sebagian atau seluruhnya kepada elektron di dalam sel surya. Dengan adanya energi baru ini maka elektron mampu lepas dari posisi normalnya terhadap atom sehingga menjadi arus dalam suatu sirkuit listrik. Hal ini dapat dilihat pada

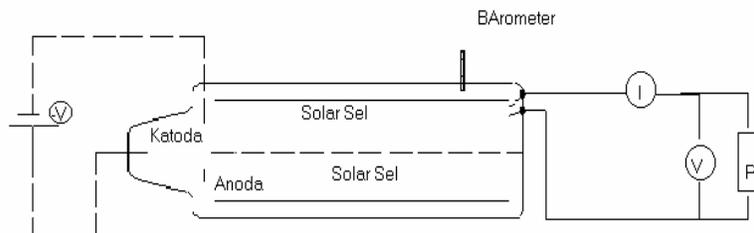
Gambar 1, sedangkan modifikasi dari energi dengan tenaga surya disajikan pada Gambar 2.

**Tabel 1. Tabel harga, dimensi dan daya dari sel surya**

Modul	Harga	Output yang dihasilkan	Pemakaian	Dimensi	Berat
CANROM-40	\$241.00	40 watts	Umum	Cells: 100x100mm Module: 37.75"x17.3"x1.55"	11.9 lbs 5.4 Kg
CANROM-50	\$296.00	50 watts	Umum	Cells: 100x100mm Module: 37.75"x17.3"x1.55"	11.9 lbs 5.4 Kg
CANROM-60	\$323.00	60 watts	Umum	Cells: 125x125mm Module: 46"x21.3"x1.55"	18.1 lbs 8.2 Kg
CANROM-65	\$344.00	65 watts	Umum	Cells: 125x125mm Module: 46"x21.3"x1.55"	18.1 lbs 8.2 Kg
CANROM-75	\$412.00	75 watts	Umum	Cells: 125x125mm Module: 46"x21.3"x1.55"	18.1 lbs 8.2 Kg



**Gambar 1. Proses terjadinya energi listrik dari tenaga surya**



**Gambar 2. Skema alat konversi tenaga surya yang dimodifikasi**

Alat konversi energi surya yang dimodifikasi tersebut, terdiri atas bagian – bagian : tabung katoda dan sel surya.

- o Tabung diisi gas unsur halogen CH<sub>3</sub>Br (mono bromida metan) atau CH<sub>2</sub>Br (dibromida metan).
- o Kaca transparan dengan kekuatan tekan yang tinggi.

Cahaya yang dihasilkan dari tabung katoda digunakan untuk mengganti cahaya matahari. Pada saat foton yang dihasilkan dari tabung katoda menyinari sel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan menerima sejumlah energi, sehingga elektron mampu bergerak melewati gap

energi. Peristiwa tersebut akan mengakibatkan terjadinya arus listrik di dalam sebuah rangkaian listrik.

Tabung katoda adalah tabung kaca yang memiliki dua elektroda. Elektroda positif (anoda) dihubungkan ke kutub positif dan elektroda negatif (katoda) dihubungkan ke kutub negatif sumber tegangan. Apabila tekanan gas di dalam tabung berangsur-angsur dikurangi dengan cara memompa gas keluar, maka akan terjadi peristiwa-peristiwa sebagai berikut :

1. Pada tekanan gas sekitar 20 mmHg, di dalam tabung mulai terlihat aliran arus listrik yang berbentuk pita berwarna ungu
2. Pada tekanan gas sekitar 5 mmHg, di dekat katoda (elektoda negatif) timbul cahaya biru yang disebut *pijar negatif kebiruan*. Di dalam tabung timbul pijar merah muda yang disebut *kolom positif merah muda*. Di antara *kolom positif* dengan *pijar negatif* terdapat ruang gelap yang disebut *ruang gelap Faraday*
3. Pada tekanan gas sekitar 0,05 mmHg, *pijar negatif* bergerak ke tengah dan di belakangnya terdapat ruang gelap yang disebut ruang gelap *Crookes*
4. Pada tekanan gas sekitar 0,01 mmHg atau lebih kecil, semua cahaya di dalam tabung menghilang dan kaca di dekat anoda (elektroda positif) akan menunjukkan warna kehijau-hijauan

Bagian-bagian dari tabung sinar katoda adalah sebagai berikut:

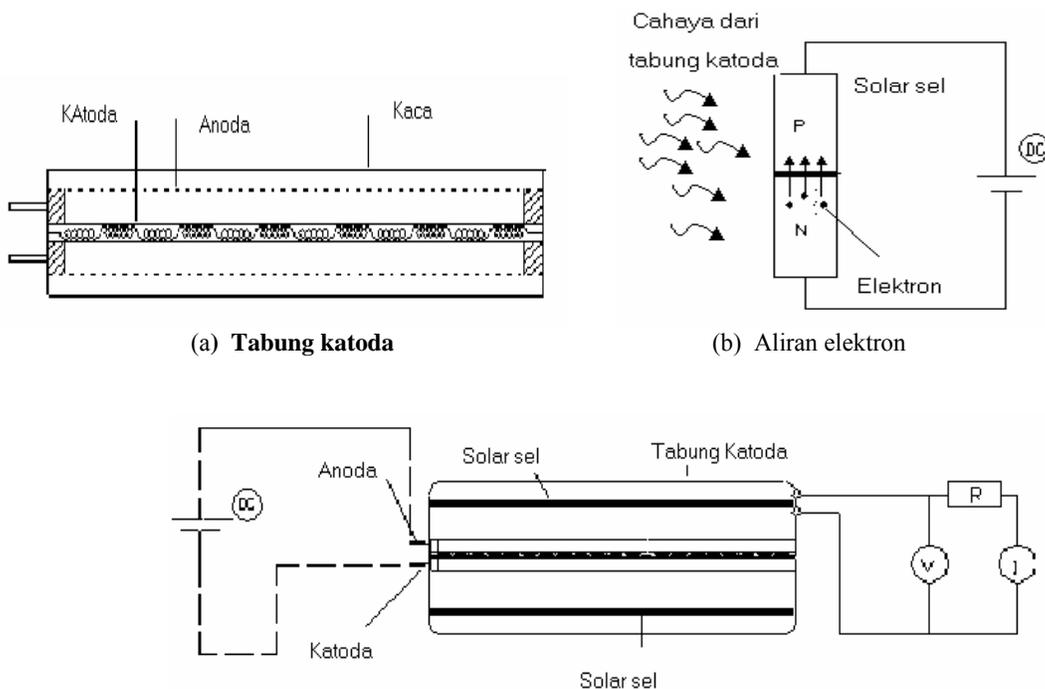
1) Filamen Pemanas

Filamen pemanas berfungsi untuk memanasi ujung katoda. Akibat pemanasan ini maka terjadi pemancaran elektron-elektron dari katoda. Elektron-elektron yang dipancarkan dipercepat dengan suatu beda potensial 5 kV sampai 50 kV diantara katoda dan anoda.

2) Katoda

Material yang digunakan sebagai katoda antara lain :

- Tungsten  
Material ini memiliki dua kelebihan untuk digunakan sebagai katoda yaitu memiliki ketahanan mekanik dan juga titik lebur yang tinggi ( $3400^{\circ}\text{C}$ ), sehingga tungsten banyak digunakan untuk tabung sinar X yang bekerja pada beda potensial sebesar 5000 kV dan temperatur tinggi. Fungsi kerja tungsten sangat tinggi yaitu sebesar 4,52 eV sehingga kurang cocok untuk aplikasi audio.
- Thrioted tungsten  
Material ini adalah campuran antara tungsten dan thorium. Thorium adalah material yang secara individual memiliki fungsi kerja sebesar 3,4 eV, campuran antara tungsten dan thorium memiliki fungsi kerja sebesar 2,63 eV, serta temperatur kerja sekitar  $1700^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 4. Prinsip kerja Sel surya

- Katoda berlapis oksida ( Oxide-Coated Cathode )  
Katoda jenis ini terbuat dari lempeng nickel yang dilapisi dengan barium dan oksida stontium. Sebagai hasil dari pelapisan tersebut maka dihasilkan katoda yang memiliki fungsi kerja dan temperatur kerja yang rendah, dan tegangan yang diperlukan sebesar 1000 V
- 2) Anoda  
Befungsi untuk menerima elektron yang terlepas dari katoda.

### Sel Surya

Sel surya dapat menyerap gelombang elektromagnetik dan mengubah energi foton yang diserapnya menjadi energi listrik. Bagian terbesar sel surya adalah sebuah dioda. Dioda terbuat dari suatu semikonduktor dengan jurang energi ( $E_c - E_v$ ). Ketika energi foton yang datang lebih besar dari jurang energi ini, foton akan diserap oleh semikonduktor untuk membentuk pasangan elektron-hole. Elektron dan hole kemudian ditarik oleh medan listrik sehingga menimbulkan *photocurrent* (photo current bisa juga dinamakan sebagai arus yang dihasilkan oleh cahaya). Dalam sel surya tidak hanya *photocurrent* yang penting, tetapi ada beberapa parameter lain yang perlu mendapat kajian.

### Semikonduktor

Semikonduktor mempunyai susunan pita energi yang mirip dengan pita energi isolator. Pada suhu sangat rendah, pita konduksi semikonduktor tidak terisi oleh elektron. Di antara pita konduksi dan valensi juga terdapat celah energi. Namun, celah terlarang ini mempunyai jarak yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan celah terlarang pada isolator. Nilai celah terlarang untuk semikonduktor adalah sekitar 1,1 eV sedangkan pada isolator intan adalah sebesar 6 eV.

Pada suhu kamar, elektron yang ada pada pita valensi akan mendapatkan energi kinetik. Energi kinetik ini cukup kuat untuk memindahkan elektron ke pita konduksi. Berpindahannya elektron ke pita konduksi menyebabkan adanya elektron bebas pada pita konduksi. Akibatnya, pada suhu kamar tersebut maka semikonduktor mampu mengantarkan arus listrik seperti halnya pada konduktor.

### Efek Foto Listrik

Efek fotolistrik adalah peristiwa terlepasnya elektron- elektron dari permukaan logam (disebut sebagai elektron foto) ketika logam tersebut disinari dengan cahaya. Rumus energi berdasarkan teori kuantum adalah  $E = nhf$ . Dengan demikian, cahaya dipancarkan sebagai partikel-partikel kecil yang disebut *foton*. Jika tabung tabung ditempatkan dalam ruang gelap, maka tidak akan ada arus listrik (I) yang mengalir. Tapi ketika cahaya dengan frekuensi

tertentu diarahkan ke pada pelat/panel surya, maka akan terjadi aliran listrik.

Apabila dikaji lebih jauh, efek fotolistrik ini maka ada dua sifat penting dari gelombang cahaya yakni: intensitas cahaya dan frekuensi. Beberapa sifat penting yang terjadi pada efek foto listrik adalah sebagai berikut :

1. Besarnya energi kinetik maksimum elektron foto tidak tergantung pada intensitas cahaya.
2. Permukaan dari sel surya membutuhkan frekuensi minimum tertentu yang disebut frekuensi ambang ( $f_0$ ) untuk dapat menghasilkan elektron foto.
3. Elektron-elektron dapat terbebas dari permukaan sel surya hampir tanpa selang waktu, yaitu kurang dari  $10^{-9}$  detik setelah penyinaran.
4. Energi kinetik maksimum elektron foto bertambah jika frekuensi cahaya diperbesar.
5. Semua foton memiliki energi yang sama sebesar  $hf$ , sehingga apabila intensitas cahaya dinaikkan namun dengan frekuensi yang tetap akan menambah jumlah foton, tetapi tidak menambah energi yang dipancarkan.

Agar terjadi aliran listrik (berpindahannya elektron) dari permukaan sel surya, maka diperlukan kerja minimum  $W_0$  (disebut fungsi kerja atau energi ambang) untuk melepaskan elektron dari permukaan sel surya. Besarnya  $W_0$  tergantung pada jenis logam yang dipakai sebagai bahan sel surya. Agar terjadi arus listrik yang kontinu maka frekuensi ( $f$ ) yang dipancarkan oleh cahaya haruslah sedemikian rupa sehingga  $hf > W_0$ ,

keterangan:

$W_0$  = Fungsi kerja atau energi ambang (Joule) Satuan

$W_0$  sering ditulis dalam eV,  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$h$  = konstanta Planck ( $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ )

$m$  = masa elektron ( $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )

$v$  = kecepatan elektron (m/s)

$f_0$  = frekuensi ambang (Hertz)

### Rencana Pengembangan Energi Surya sebagai Pembangkit Listrik

Tabung katoda adalah suatu alat yang menghasilkan cahaya atau aliran elektron dari katoda ke anoda. Sedangkan sel surya adalah sebuah alat yang mengkonversikan energi foton (cahaya sebagai partikel) menjadi energi listrik. Agar mampu menjadi sumber tenaga listrik dengan daya output yang tinggi, maka dua parameter yang perlu diperbaiki dan dikontrol adalah intensitas cahaya dan frekuensi cahaya yang diterima oleh sel surya.

Frekuensi cahaya yang dihasilkan oleh tabung katoda  $f$  haruslah jauh lebih besar dari frekuensi ambang  $f_0$  sel surya, sehingga akan terjadi arus listrik yang kontinu. Dengan demikian, maka ada dua hal yang diperbaiki, yakni memperbesar frekuensi cahaya katoda atau mengganti bahan sel surya dengan bahan

lain yang memiliki frekuensi ambang sekecil mungkin.

Intensitas cahaya yang dihasilkan oleh tabung katoda cukup setara dengan intensitas cahaya matahari yang sebesar  $560 \text{ W/m}^2$ , namun dengan frekuensi yang sangat tinggi. Hal ini akan berdampak pada dihasilkannya daya output dari sel surya yang tinggi. Selain itu, ada beberapa hal yang perlu diperbaiki, yakni:

1) Filamen Pemanas

Filamen pemanas berfungsi untuk memanasi ujung katoda perlu dipercepat dengan memberikan suatu beda potensial dari 50 kV sampai 5000 kV DC di antara katoda dan anoda.

2) Material yang digunakan sebagai katoda adalah campuran antara tungsten dan thorium, karena memiliki kekuatan mekanik yang bagus, titik lebur yang tinggi, fungsi kerja yang tinggi serta memerlukan daya input yang lebih kecil.

Material penyusun semikonduktor dalam solar sel surya yang umum adalah InAs: 0.36 eV, Ge: 0.67 eV, Si: 1.1 eV, amorphous Si (a-Si : H): 1.7 eV, GaN: 3.5 eV). Berdasarkan pada fungsi kerja material tersebut, maka material yang cocok adalah InAs: 0.36. Sel surya dengan material InAs ini diharapkan akan mampu menghasilkan energi listrik yang lebih besar bila dibandingkan dengan sel surya berbahan silikon.

### 3. PENUTUP

Energi surya adalah merupakan sumber energi yang potensial di Bali, serta diharapkan dapat berfungsi sebagai pembangkit listrik alternatif ramah lingkungan mendukung PLTD/ PLTG yang sekarang ini dioperasikan. Dua masalah yang menyebabkan kurangnya minat investasi di bidang pembangkit listrik tenaga surya, yakni penggunaan lahan yang luas dan kurangnya kontinuitas cahaya yang ada, kini dapat ditanggulangi dengan menggunakan cahaya yang berasal dari tabung katoda.

Apabila mengacu pada spesifikasi sel surya yang saat ini dijual secara komersial serta dengan merujuk pada Tabel 1 di atas, maka pembangkit energi listrik tenaga surya dengan daya sebesar 50 MW memerlukan lahan seluas 1 hektar, atau untuk daya sebesar 150 MW, yang direncanakan untuk mengantisipasi krisis energi listrik di Bali, maka diperlukan lahan seluas 3 hektar saja, dengan biaya investasi sebesar US\$ 888 juta (harga ini mungkin sudah turun karena persaingan pasar silikon yang sedemikian pesat). Apabila ditambah dengan biaya untuk keperluan yang lain, maka dana investasi untuk kapasitas daya listrik 150 MW adalah sekitar US\$ 1,000 juta.

Dalam satu harinya, daya listrik pembangkit yang sebesar 150 MW akan menghasilkan total energi sebesar 1800000 kwh (*12 hours running time*), yang

berarti akan memiliki load faktor sebesar 4,5 untuk 400,000 unit instalasi. Apabila biaya energi listrik secara rerata adalah 4 cent US\$ per kwh, dan bila pemakaian energi listrik rerata masyarakat Bali dalam satu bulan adalah 80 kwh, serta jumlah instalasi terpasang di Bali adalah sekitar 400,000 unit, maka target pemasukan dalam satu bulan adalah US\$ 1,29 juta. Dengan demikian, investasi sebesar US\$ 1,000 juta akan mengalami BEP dalam kurun waktu sekitar 80 tahun.

### 4. KESIMPULAN

1. Nilai optimal untuk kapasitor dan induktor pada frekuensi 666,7 Hz, *duty cycle* 66,7 %, resistansi output  $36 \Omega$  dan tegangan input 12 volt adalah  $1038 \mu\text{F}$  dan 11,9 mH.
2. Frekuensi mempengaruhi ripel tegangan dan arus, dan tidak berpengaruh terhadap besaran tegangan/arus .

### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Akhadi, M., 2000, *Listrik Murah atau Udara Bersih*, Elektro Indonesia, Nomor 34, Tahun VI, November, [ Online, diakses : 23-03-2002 ] URL :<http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener34.html>
2. Foster, B., 2000, *Fisika*, Erlangga, Jakarta
3. Goenawan. J., 2001, *Fisika*, PT. Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta
4. Kadir, A., 1995, *ENERGI*, Universitas Indonesia, Jakarta
5. Muhaimin, 2001, *Teknologi Pencahayaan*, PT. Refika Aditama, Bandung
6. Martina.G., 1982, *Solar cells*, University of New South Wales Australia