

# KAJIAN KELAYAKAN SISTEM PHOTOVOLTAIK SEBAGAI PEMBANGKIT DAYA LISTRIK SKALA RUMAH TANGGA (STUDI KASUS DI GEDUNG VEDC MALANG)

Teguh Utomo

**Abstract**—Pemakaian sistem photovoltaik di gedung VEDC Malang yang digunakan untuk mensuplai beban pertamanan adalah salah satu contoh aplikasi pemanfaatan sistem photovoltaik untuk memanfaatkan energi surya.

Hasil kajian penggunaan sistem photovoltaik untuk beban pertamanan (yang diasumsikan sebagai beban rumah tangga) menunjukkan bahwa prosentase jatuh tegangan pada sistem photovoltaik terbesar terjadi pada saat kondisi cuaca mendung dan jatuh tegangan terkecil terjadi pada saat kondisi cuaca cerah. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa modul surya dan kemampuan baterai yang digunakan juga tidak bekerja secara efisien. Pada aspek ekonomis, biaya per kWh sistem photovoltaik juga lebih mahal apabila dibandingkan dengan biaya per kWh dari listrik PT PLN.

Akhirnya dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem photovoltaik dengan studi kasus di gedung VEDC Malang masih belum efisien dan mahal.

**Kata Kunci** : Photovoltaik, jatuh tegangan, kWh

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Energi surya merupakan energi ramah lingkungan, sehingga tidak mengherankan apabila energi terbarukan ini dikategorikan sebagai energi masa depan. Penggunaannya dapat diterima oleh masyarakat modern sehingga sudah dikembangkan secara besar-besaran oleh beberapa negara maju. Disamping itu, pemanfaatan energi surya bebas polusi sehingga dampak negatif terhadap lingkungan kecil sekali.

Beberapa studi menunjukkan bahwa biaya pembangkit listrik tenaga surya di masa mendatang akan semakin murah sehingga hal ini memberikan harapan untuk penggunaan energi surya dalam skala yang lebih luas, khususnya di Indonesia. Karenanya, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kelayakan penggunaan energi surya, baik pada aspek teknis maupun aspek ekonomis.

Studi kasus penelitian dilaksanakan di gedung VEDC Malang. Sebagai suplai daya digunakan beban pertamanan yang ada di gedung VEDC.

Teguh Utomo adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Jln. MT Haryono No. 167 Malang (65145) Telp./Fax. 0341-554166

### B. Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji kelayakan pemanfaatan sistem photovoltaik, baik secara teknis maupun ekonomis, bila dibandingkan dengan penggunaan energi listrik PT PLN, khususnya untuk skala rumah tangga.

Sedangkan manfaat penelitian adalah memberikan solusi penyediaan energi listrik bagi masyarakat melalui pemanfaatan energi terbarukan yang ada di Indonesia.

### C. Metodologi

Metodologi yang dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

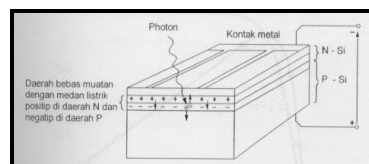
1. Pengambilan data klimatologi pada lokasi penelitian yang meliputi: data radiasi rata-rata harian, intensitas radiasi bulanan, cuaca hujan dan temperatur udara.
2. Pengujian pengaruh kemiringan sel surya terhadap energi yang dibangkitkan.
3. Pengujian modul surya pada saat berbeban untuk mengetahui prosentase jatuh tegangan (dengan kondisi cuaca: cerah, berawan dan mendung).
4. Analisis teknis – ekonomis pemanfaatan sistem photovoltaik bila dibandingkan dengan listrik PT PLN, untuk skala rumah tangga.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Prinsip sel surya

Sel surya dalam keadaan tidak mendapat sinar mempunyai prinsip kerja yang sama seperti dioda.

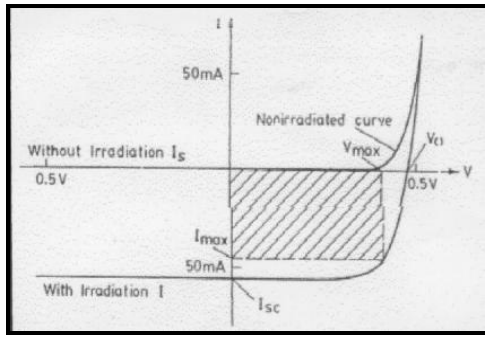
Setelah sel surya mendapat sinar matahari yang jatuh di permukaan N-Si, maka besarnya energi yang diserap sebesar  $h\nu$ , atau biasanya disebut photon. Energi photon yang cukup besar dapat melepaskan elektron pada daerah bebas muatan, sehingga terjadi elektron bebas dan lubang.



Gambar 1. Penampang sebuah sel surya

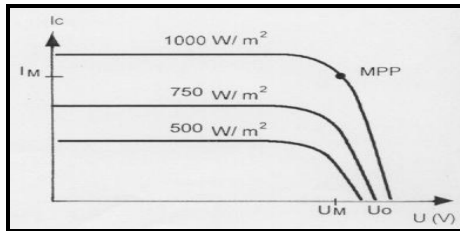
Apabila kutub positif dan negatif dihubungkan dengan voltmeter maka akan terlihat adanya beda potensial dan

bila dihubungkan dengan beban akan mengalir arus listrik.



Gambar 2. Hub. V-I pada karakteristik sel surya

Daya yang dihasilkan oleh sel surya sangat dipengaruhi oleh besarnya kuat sinar yang diterima oleh sel surya. Gambar 3. menunjukkan pengaruh kuat sinar terhadap daya yang dihasilkan.



Gambar 3. Pengaruh kuat penyinaran thp daya sel surya

**B. Perencanaan Sistem Fotovoltaik**

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan lamanya modul mendapatkan sinar surya adalah sebagai berikut (Kessler, 1995:16)

$$\frac{\text{Jumlah sinar global (Wh/m}^2\text{)}}{\text{Maksimu m sinar global 1000}} = \frac{\text{Lamanya modul Mendapatkan sinar global}}{2.1}$$

Setelah mendapatkan persamaan lamanya modul mendapatkan sinar global maka kita dapat menentukan keluaran harian modul dengan persamaan (Kessler, 1995:16)

$$\text{Daya nominal modul (Watt)} \times \text{Lamanya modul Mendapatkan sinar global (hour)} = \text{energi yang dihasilkan modul surya (Wh/hari)} \quad 2.2$$

Persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah modul adalah sebagai berikut (Robert, 1991 : 182)

$$\frac{\text{Energi elektrik harian yang dibutuhkan beban (Wh/hari)}}{\text{Keluaran harian modul (Wh/hari pada 12 V)}} \times 100\% = \frac{\text{Efisiensi pengisian baterai (\%)}}{\text{Jumlah minim um modul}} \quad 2.3$$

Persamaan yang digunakan untuk menentukan efisiensi modul adalah sebagai berikut: (Frank kreith, 1982: 179)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{S \cdot F} \quad 2.4$$

dimana:

- Voc = Tegangan open circuit ( Volt )
- Isc = Arus short circuit (Ampere)
- FF = Faktor pengisian
- S = Luas permukaan modul ( m<sup>2</sup> )
- F = Intensitas radiasi matahari yang diterima ( watt/ m<sup>2</sup> )

Persamaan yang digunakan untuk menentukan factor pengisian (FF) adalah sebagai berikut: (Bansai, 1990: 178)

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad 2.5$$

dimana:

- Voc = Tegangan open circuit ( Volt )
- Isc = Arus short circuit (Ampere)
- Vm = Tegangan nominal ( Volt )
- Im = Arus nominal (Ampere)

Untuk menentukan total kapasitas baterai yang dapat digunakan berdasarkan periode penyimpanan yang diinginkan sebagai berikut (Robert, 1991 : 184) :

$$\frac{\text{Total energi harian ke beban (Wh/hari)}}{\text{Periode penyimpanan (hari)}} : 12 \text{ V} = \frac{\text{Total kapasitas baterai yang dapat digunakan (Ah pada 12 V)}}{2.6}$$

Sedangkan untuk menentukan jumlah minimum baterai yang diperlukan mengikuti persamaan sebagai berikut (Robert, 1991 : 84) :

$$\frac{\text{Total kapasitas baterai yang dapat digunakan (A h pada 12 V)}}{100\%} : \text{Kapasitas nominal untuk 12 V (Ah)} = \frac{\text{DOD \%}}{\text{Jumlah baterai 12 volt}} \quad 2.7$$

Dengan menggunakan tegangan kerja sistem, nilai arus ke beban dapat ditentukan dengan persamaan (2.8) (Kessler, 1995 :15)

$$\frac{\text{Total daya Beban (watt)}}{\text{Tegangan Sistem (volt)}} = \text{Arus beban (ampere)} \quad 2.8.$$

Untuk perhitungan luas penampang kabel yang ditentukan dengan persamaan (Kessler, 1995 :15):

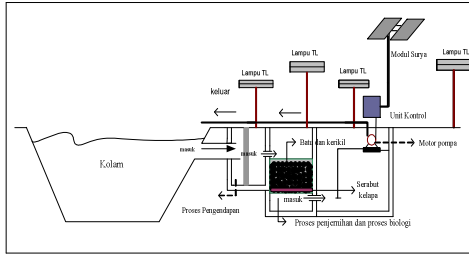
$$\Delta P = (I_L)^2 \cdot R$$

$$\Delta P = (I_L)^2 \cdot \frac{\rho L}{A} \quad 2.9$$

dimana :

$$\Delta P = \text{kerugian daya sepanjang kabel (Watt)}$$

Pada umumnya, fasilitas yang digunakan untuk setiap taman adalah sama. Sedangkan model pertamanan yang digunakan sebagai penggunaan photovoltaik di gedung VEDC sebagaimana terlihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Instalasi Kolam di gedung VEDC

C. Analisis Ekonomis

Parameter ekonomi yang digunakan pada sistem Photovoltaik ini adalah (Telford,1987):

1. Biaya investasi
2. Biaya operasi dan perawatan
3. Energi yang dihasilkan

Biaya per kWh adalah biaya total yang dikeluarkan dibagi dengan energi yang dibangkitkan (Wardono,1992):

$$\text{Biaya per kWh} = \frac{\text{Biaya investasi} + \text{Biaya operasi} + \text{Biaya perawatan}}{\text{Energi yang dibangkitkan}}$$

2.10

Total biaya perawatan dengan menggunakan metode nilai sekarang (I Nyoman Pujawan,1995:39)

$$P = F \left[ \frac{1}{(1+i)^N} \right]$$

$$P = F ( P/F, i \%, N ) \quad 2.11$$

dimana

- P = Nilai sekarang (Present worth).
- F = Nilai mendatang (Future Worth).
- N = Jumlah periode pemajemukan
- i = tingkat bunga efektif per periode

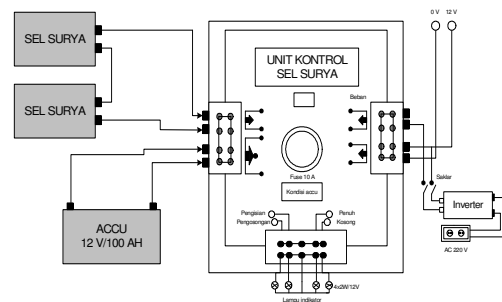
Total biaya operasional dengan menggunakan metode nilai sekarang (I. Nyoman Pujawan,1995:42 )

$$P = A \left[ \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right]$$

$$P = A ( P/A, i \%, N ) \quad 2.12$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram blok system photovoltaic yang ada di VEDC Malang sebagaimana diperlihatkan pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Blok system photovoltaik VEDC Malang

Berikut adalah data-data dari sistem photovoltaik yang digunakan.

1. Daya keluaran modul : 150 Wp
2. Kemiringan Modul : 15 ° (Derajat)
3. Akkumulator : 100 Ah
4. Tegangan kerja : DC 12 V/AC 220 V
5. Inverter : 150 Watt
6. Pompa air : Submersible 30 Watt
7. Lampu penerangan : 2x10 W dan 2x20 W
8. Kabel penghantar : NYMHY 2,5 mm<sup>2</sup>

TABEL 1. BEBAN PERTAMAMAN VEDC

No	Jumlah	Jenis Peralatan	Daya yang dibutuhkan [W]	Lama operasi (jam)	Energi/hari [Wh/hr]
1.	2	Lampu TL	20	3	60
2.	2	Lampu TL	40	3	120
3.	1	Pompa air	30	9	270
Total Beban			90		450

SUMBER : VEDC MALANG

Kapasitas baterai lead acid SLI untuk truck dengan kapasitas nominal 100 Ah, diperoleh :

$$100 \text{ Ah} \times 80 \% : 100 \% = 80 \text{ Ah}$$

Kapasitas yang dapat digunakan sampai umur daur adalah

$$80 \text{ Ah} \times 500 = 40000 \text{ Ah}$$

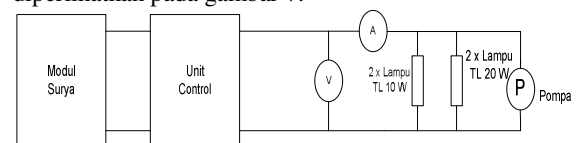
Bila ditetapkan periode penyimpanan selama 2 hari maka dengan menggunakan persamaan (2.7) total kapasitas baterai yang dapat digunakan adalah:

$$450 \text{ Wh/hari} \times 2 \text{ hari} : 12 \text{ volt} = 75 \text{ Ah (pada 12 volt)}$$

Dengan persamaan (2.8) dapat ditentukan jumlah baterai yang diperlukan yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Radiasi } 15^\circ &= \text{Radiasi } 0^\circ \times \text{FK} \\ &= 5,049 \times 0,84 \\ &= 4,241 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

Pengujian modul surya saat berbeban sebagaimana diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian percobaan Modul Surya saat berbeban Prosentase jatuh tegangan (V<sub>R</sub>) didefinisikan ( Hutahuruk, 1985:61 )

$$V_R (\%) = \frac{|V_{(NL)}| - |V_{(FL)}|}{|V_{(FL)}|} \times 100 \% \quad 2.13.$$

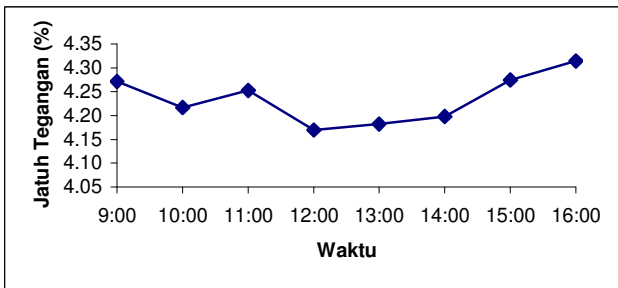
Karenanya, jatuh tegangan ( $V_d$ ) saat modul surya saat dibebani pompa air dan lampu TL sbb:

$$V_d = \frac{|13,67| - |13,11|}{|13,11|} \times 100 \% = 27 \%$$

Untuk perhitungan jatuh tegangan pada keadaan cuaca cerah, berawan dan mendung dapat dilihat pada tabel 2. dan tabel 3.

TABEL 2. HASIL PERHITUNGAN MODUL SURYA PADA SAAT BERBEBAN KEADAAN CERAH

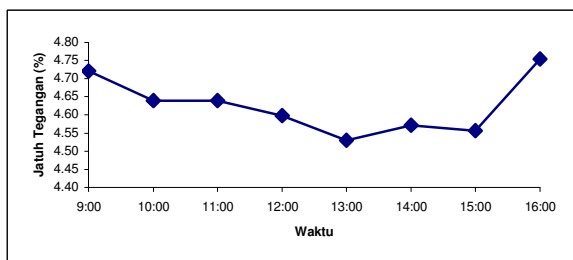
Jam	Vm (Volt)	Vp (Volt)	Ip (Ampere)	Vd (%)	Cuaca
9:00	13.67	13.11	3.04	4.27	cerah
10:00	13.84	13.28	3.05	4.22	cerah
11:00	13.73	13.17	3.04	4.25	cerah
12:00	13.99	13.43	3.07	4.17	cerah
13:00	13.95	13.39	3.06	4.18	cerah
14:00	13.9	13.34	3.06	4.20	cerah
15:00	13.66	13.10	3.03	4.27	cerah
16:00	13.54	12.98	3.02	4.31	cerah



Grafik 4. Jatuh tegangan saat berbeban pada keadaan cerah

TABEL 3. HASIL PERHITUNGAN MODUL SURYA PADA SAAT BERBEBAN KEADAAN MENDUNG

Jam	Vm (Volt)	Vp (Volt)	Ip (Ampere)	Vd (%)	Cuaca
9:00	12.42	11.86	2.92	4.72	mendung
10:00	12.63	12.07	2.94	4.64	mendung
11:00	12.63	12.07	2.94	4.64	mendung
12:00	12.74	12.18	2.95	4.60	mendung
13:00	12.92	12.36	2.97	4.53	mendung
14:00	12.81	12.25	2.96	4.57	mendung
15:00	12.85	12.29	2.96	4.56	mendung
16:00	12.34	11.78	2.91	4.76	mendung



Grafik 5. Jatuh tegangan saat berbeban pada keadaan mendung

Dengan penggunaan beban yang sama jatuh tegangan terbesar terjadi pada saat keadaan mendung pada jam 16.00 WIB yaitu sebesar 4,76 % dan jatuh tegangan terkecil terjadi pada saat keadaan cerah pada jam 12.00 WIB yaitu sebesar 4.17%.

Nilai daya nominal modul SP 75 sebesar 75 W, dan nilai radiasi matahari terendah (dengan koreksi radiasi pada 15°) adalah 3,178 KWh/m<sup>2</sup>/hari yang terjadi pada bulan Desember, maka sesuai dengan persamaan (2.1) keluaran harian minimum modul adalah:

$$T_{nom} = \frac{3178Wh/m^2/hari}{1000W/m^2/hari} = 3,178 \text{ h (jam)}$$

Energi yang dihasilkan oleh modul surya SP 75 ( $E_{modul}$ ) adalah:

$$E_{modul} = P_{nom} \times T_{nom} = 75 \times 3,178 = 238,35 \text{ Wh/hari}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.2) maka jumlah minimum modul yang diperlukan adalah :

$$450 \text{ Wh/hari} \times 100\% : 238,35 \text{ Wh/hari} : 80\% = 2,1 \approx 2 \text{ modul}$$

Solar modul terdiri dari 36 keping sel surya dengan diameter 12,45 cm. Karenanya, luas keseluruhan sel surya adalah:

$$Luas = (\frac{1}{4}\pi d) \times 36 = 0,438435642 \text{ m}^2$$

Pada radiasi 1000 W/m<sup>2</sup> (intensitas sinar global saat radiasi maksimum), modul menghasilkan daya maksimum sebesar 75 Watt., maka total daya foton ( $P_{in}$ ) yang diterima modul adalah:

$$\text{Total daya} = 438,435642 \text{ Watt}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.5) Untuk perhitungan factor pengisian (FF) dapat ditentukan sebesar 0,71.

Dengan mengetahui luasan modul dan factor pengisian maka dengan persamaan (2.4) efisiensi modul dapat diketahui, yaitu:

$$\eta = \frac{21,7 \times 4,8 \times 0,71}{438,435642} \times 100 \%$$

$$\eta = 16,86 \%$$

Untuk perhitungan biaya per kWh dilakukan perhitungan energi pada dua buah modul surya yang dibangkitkan (dengan asumsi masa pakai 25 tahun). Energi yang dihasilkan untuk 1 modul surya SP 75 ( $E_{modul}$ ) adalah 318.075 Wh. Sehingga energi untuk 2 modul surya adalah sebesar 0,63615 kWh

Total energi yang dihasilkan pada bulan Januari (dengan radiasi sebesar 4,241 kWh/m<sup>2</sup>/hari selama 25 tahun) adalah 15,9037 kWh. Karenanya, hasil perhitungan energi yang dibangkitkan dari dua buah modul surya selama 25 tahun sebagaimana pada Tabel 4.

TABEL 4. HASIL PERHITUNGAN ENERGI YANG DIBANGKITKAN DUA  
MODUL SURYA

	Radiasi matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Energi yang dibangkitkan 2 Modul Surya (kWh)	Energi yang dibangkitkan 2 Modul Surya selama 25 Tahun (kWh)
JANUARI	4.241	0.63615	15.90375
FEBRUARI	4.044	0.6066	15.165
MARET	4.063	0.60945	15.23625
APRIL	5.170	0.7755	19.3875
MEI	5.974	0.8961	22.4025
JUNI	6.084	0.9126	22.815
JULI	6.305	0.94575	23.64375
AGUSTUS	6.099	0.91485	22.87125
SEPTEMBER	4.464	0.6696	16.74
OKTOBER	4.124	0.6186	15.465
NOVEMBER	4.340	0.651	16.275
DESEMBER	3.178	0.4767	11.9175
<b>TOTAL</b>	<b>58.086</b>	<b>8.7129</b>	<b>217.8225</b>

Biaya per kWh adalah biaya total yang dikeluarkan dibagi dengan energi yang dibangkitkan sesuai dengan persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya per kWh} &= \frac{\text{Rp}8.406.000 - \text{Rp}435.850 + \text{Rp}393.975,4}{217.8225} \\ &= \text{Rp} 42.400 \end{aligned}$$

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peralatan photovoltaik yang digunakan untuk mensuplai beban pertamanan di VEDC masih belum efisien. Dengan radiasi terendah sebesar 3,178 kWh/m<sup>2</sup>/hari pada dua modul surya yang digunakan, masih dapat dihasilkan energi sebesar 476,7 kWh/hari sehingga dapat dimanfaatkan untuk beban lain.
2. Dari aspek ekonomis diketahui bahwa biaya sistem Photovoltaik masih sangat mahal untuk diterapkan. Biaya per kWh sistem photo voltaik sebesar Rp 42.400,- sedangkan bila kita menggunakan listrik PT PLN biaya yang digunakan adalah sebesar Rp 27.969,50 perbulan dengan beban listrik yang sama.
3. Untuk prosentase jatuh tegangan terbesar terjadi pada saat kondisi cuaca mendung sebesar 4,76 % dan jatuh tegangan terkecil terjadi pada kondisi cuaca cerah sebesar 4,17 %

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, Prof.Ir. 1990. *Energy*, Jakarta, UI Press.
- [2] Dewats, 1998. *Desentralised Wasterwater Treatment In Developing Countries*, Bremen, Bonda.
- [3] I Nyoman Pujawan, 1995. *Ekonomi Teknik*, Surabaya, PT Guna Widya.
- [4] Kessler Dipl.Ing.ETH, R Nutzi Dipl.Ing.HTL. 1995. *Photovoltaik*, Malang, VEDC.
- [5] Roberts, Simon. 1996. *Solar Electricity, A Practical Guide to Designing and installing small Photovoltaic System*, New York, Prentice Hill.
- [6] Wiranto Arismunandar, Prof. 1995 *Teknologi Rekayasa Surya*, Jakarta, PT Pradya Paramita.