

PENERAPAN SISTEM PHOTOVOLTAIK SEBAGAI SUPLAI DAYA LISTRIK BEBAN PERTAMANAN

Unggul Wibawa, Andy Darmawan

Abstract— Indonesian geographical position that located at equator line and sunrays along the year, then it is appropriate to implement and use sun energies that are abundant in amount and inexhaustible. Based on that matter, then to fulfill electric needs in Indonesia and as alternative of PLN power supply, then it is appropriate for development of Photovoltaic, a process can convert sunrays into electric energy directly with aid of solar cell. The use of photovoltaic by using sun energies located in VEDC Malang as garden power supply is one example of applicative project of electric power potential development by using sun energies widely in Indonesia. From experiment and analysis, obtained break down voltage percentage with same load in photovoltaic system, the highest occurs in cloudy weather 4.76% and the lowest occurs in bright weather 4.17%. From technical standpoint, it seen that used sun module and battery are not efficient compared with existing load in VEDC Malang and from economic standpoint, cost per kWh of the system Rp 42.400,- an while from PLN electricity that is Rp 27.969,5,-. Finally, it can be concluded that the use of Photovoltaic system in VEDC Malang is not efficient yet and expensive

Keywords : Photovoltaic, effeciency, breakdown voltage

Abstrak – Letak geografis Indonesia yang berada di garis khatulistiwa dan matahari bersinar sepanjang tahun, maka tepat sekali menerapkan dan memanfaatkan energi matahari yang melimpah jumlahnya dan tidak akan ada habis-habisnya. Berdasarkan hal itu maka untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dan sebagai alternatif pengganti supply daya dari PLN, sangat tepat bila di kembangkannya Photovoltaik, yaitu suatu proses yang dapat merubah sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung dengan bantuan sel surya. Pemakaian sistem Photovoltaik dengan memanfaatkan energi surya di VEDC Malang sebagai penyuplai daya taman adalah salah satu contoh proyek aplikatif pengembangan potensi daya elektrik menggunakan energi surya secara luas di

Unggul Wibawa adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, dengan alamat korespondensi Jl. MT. Haryono 167 Malang, telp 0341554166.

Indonesia. Dari hasil percobaan dan analisis didapatkan prosentase jatuh tegangan dengan beban yang sama pada sistem Photovoltaik terbesar terjadi pada saat keadaan cuaca mendung sebesar 4,76 % dan jatuh tegangan terkecil terjadi pada keadaan cuaca cerah sebesar 4,17 %. Dari sisi teknis terlihat modul surya dan kapasitas baterai yang digunakan terlihat tidak efisien dibandingkan dengan beban yang ada di VEDC Malang dan pada sisi ekonomi terlihat biaya per kWh sistem Photovoltaik adalah sebesar Rp 42.400,- sedangkan dari sumber listrik PLN per kWh sebesar Rp 27.969,5,-. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem Photovoltaik di VEDC Malang masih belum efisien dan mahal.

Kata Kunci : Photovoltaik, efisiensi, jatuh tegangan

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan daya listrik di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat karena perkembangan ekonomi yang pesat dan pertumbuhan industri yang semakin cepat pula. Namun demikian tenaga listrik yang diperoleh dari pemanfaatan tenaga air, khususnya di pulau Jawa, dapat sudah mencapai titik maksimum. Sedangkan minyak bumi, gas serta batubara tersedia dalam jumlah terbatas (sumber daya alam tidak dapat diperbarui). Selain itu, pemanfaatan sumber daya tersebut akan menimbulkan dampak negatif terhadap kelestarian lingkungan. karena kebijaksanaan pengembangan teknologi pada saat ini berwawasan lingkungan, salah satu sumber yang patut digali adalah tenaga surya. Energi yang dikeluarkan oleh matahari ke bumi adalah ± 20.000 kali dari energi yang diperlukan di seluruh dunia. Indonesia belum berani mengembangkan energi surya sebagai energi listrik secara global padahal banyak daerah di Indonesia yang belum terjangkau oleh listrik dan kita melihat bahwa Indonesia memiliki radiasi harian matahari rata-rata $4,8 \text{ kWh/m}^2$ dengan potensai energi terbesar di NTT. Berdasarkan peta energi matahari di Indonesia, maka seluruh Indonesia memiliki potensai yang baik untuk pengembangan Pembangkit Listrik dari energi Surya

Mengingat letak geografis indonesia yang berada di garis khatulistiwa dan matahari bersinar sepanjang

tahun, maka tepat sekali menerapkan dan memanfaatkan energi matahari (biasa disebut tenaga surya) yang melimpah jumlahnya dan tidak akan ada habis-habisnya. Berdasarkan itu untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dan sebagai alternatif pengganti supply daya dari PLN, sangat tepat bila di kembangkannya photovoltaik, yaitu suatu proses yang dapat merubah sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung dengan bantuan sel surya.

Energi surya merupakan energi ramah lingkungan, sehingga tidak mengherankan bahwa energi terbarukan saat ini dikriteriakan sebagai energi masa depan dan dapat diterima oleh masyarakat modern sehingga sudah mulai dikembangkan oleh beberapa negara maju. pemanfaatan dari energi matahari sebagai sumber energi energi alternatif yang mudah didapatkan dan bebas polusi sehingga dampak negatif terhadap lingkungan kecil sekali.

Beberapa studi memproyeksikan bahwa biaya pembangkit listrik tenaga surya untuk masa depan akan semakin murah. Hal ini memberikan harapan untuk membuat perencanaan penggunaan energi surya dalam skala global. Meskipun secara ekonomis belum terbukti layak untuk saat ini tetapi memberikan wawasan dalam penggunaan energi surya untuk masa depan.

Berdasarkan atas pemikiran dan pertimbangan di atas, dilakukan suatu penelitian untuk menganalisis, secara teknis dan ekonomis, penerapan sistem Photovoltaik sebagai penyedia daya dengan beban pertamanan di VEDC Malang sebagai obyek penelitian.

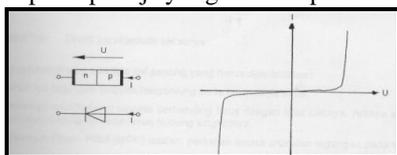
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tingkat efisiensi pemanfaatan sistem Photovoltaik sebagai suplai daya taman di VEDC Malang
2. Mendapatkan angka perbandingan biaya (Rp/kWh) antara pemanfaatan sistem Photovoltaik dengan penggunaan listrik PLN
3. Mengetahui besarnya sudut penempatan modul surya terhadap posisi horisontal agar diperoleh energi yang maksimum.
4. Mendapatkan angka perbedaan jatuh tegangan akibat perubahan cuaca.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Prinsip Kerja Sel Surya

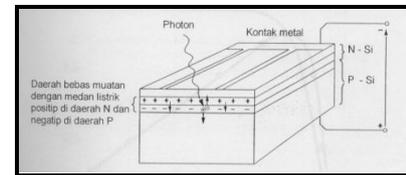
Sel surya dalam keadaan tidak mendapat sinar mempunyai prinsip kerja yang sama seperti dioda



Gambar 2.1 Karakteristik dioda
Sumber :Kessler, 1995 : 11

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. Oleh karena terdapat medan listrik yang cukup besar pada daerah bebas muatan, maka elektron bergerak ke daerah N-Silicium, dan lubang bergerak ke daerah P-Silicium.

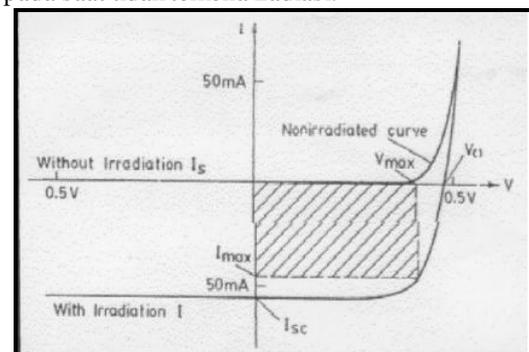


Gambar 2.2 Penampang sebuah sel surya
Sumber :Kessler, 1995 : 11

Apabila kutub positif dan negatif kita hubungkan dengan voltmeter maka akan terlihat adanya beda potensial dan bila dihubungkan dengan beban akan mengalir arus listrik.

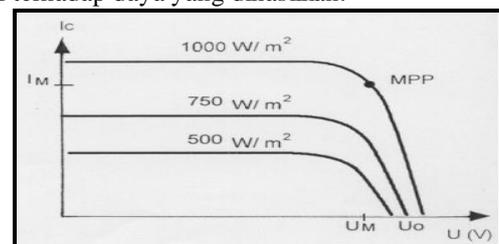
B. Karakteristik Sel Surya

Pada dasarnya sel surya adalah suatu dioda dengan daerah luas permukaan yang lebih lebar. Dari gambar 2.3 menunjukkan bahwa kurva dari arus (I) dan tegangan (V) sebagai suatu dioda dalam 2 kondisi, yaitu pada saat kondisi (i) dimana sel surya terkena iradiasi dan kondisi (ii) pada saat tidak terkena iradiasi.



Gambar 2.3 Hubungan I-V pada suatu karakteristik sel surya
Sumber :Bansai N.K, 1990 : 261

Daya yang dihasilkan oleh sel surya sangat dipengaruhi oleh besarnya kuat sinar yang diterima oleh sel surya. Gambar 2.4 memperlihatkan pengaruh kuat sinar terhadap daya yang dihasilkan.



Gambar 2.4 Pengaruh Kuat Penyinaran Terhadap Daya Sel Surya
Sumber :Kessler, 1995 : 13

C. Perencanaan Sistem Fotovoltaik

Tahapan-tahapan untuk menentukan modul yang akan digunakan dalam perencanaan suatu sistem

fotovoltaik adalah pemilihan jenis modul, arus keluaran tiap modul, keluaran harian tiap modul dan jumlah minimum modul yang diperlukan sesuai dengan besarnya beban.

1) *Keluaran Harian Modul*

Untuk menentukan keluaran harian modul diperlukan data lamanya modul mendapatkan sinar global dan data radiasi yang paling rendah, dengan tujuan pada kondisi radiasi terendah modul masih dapat mensuplai arus sesuai kebutuhan beban. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan lamanya modul mendapatkan sinar global adalah sebagai berikut (Kessler, 1995:16)

Jumlah sinar global (Wh/m ²)	:	Maksimum sinar global = 1000	=	Lamanya modul Mendapatkan 1 sinar global
--	---	------------------------------	---	--

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

Daya nominal modul (Watt)	X	Lamanya modul mendapatkan sinar global	=	energi yang dihasilkan modul surya (Wh/hari)	2.2
---------------------------	---	--	---	--	-----

D. *Jumlah Minimum Modul*

Untuk sistem yang direncanakan menggunakan baterai, maka dalam menentukan jumlah modul yang diperlukan, rugi-rugi yang terjadi pada saat modul mengisi baterai harus diperhitungkan yaitu dengan menentukan efisiensi pengisian baterai. Persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah modul adalah sebagai berikut (Robert, 1991 : 182)

Energi elektrik harian yang dibutuhkan beban (Wh/hari)	X 100 %	Keluaran harian modul (Wh/hari pada 12)	:	Efisiensi pengisian baterai (%)	=	Jumlah minimum modul	2.3
--	---------	---	---	---------------------------------	---	----------------------	-----

E. *Effisiensi Modul*

Effisiensi dari sel surya adalah perbandingan daya keluaran (Pout) dan daya masukannya (Pin), daya keluaran (Pout) adalah perkalian antara tegangan waktu open circuit (Voc) dengan arus short circuit (Isc) dan factor pengisian (FF) dari sebuah modul surya. Sedangkan daya masukan (Pin) dapat dicari dengan dari perkalian luas permukaan modul surya (S) dengan intensitas radiasi penyinaran yang diterima (F) Persamaan yang digunakan untuk menentukan effisiensi modul adalah sebagai berikut: (Frank kreith, 1982: 179)

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

dengan

Voc = Tegangan open sirkuit (Volt)

Isc = Arus short circuit (Ampere)

FF = Faktor pengisian

S = Luas permukaan modul (m²)

F = Intensitas radiasi matahari yang diterima (watt/ m²)

Factor pengisian (fill factor, FF) adalah ratio dari daya keluaran maksimum yang diperoleh dari hasil kali parameter-parameter yang terdapat pada modul surya yaitu tegangan open circuit (Voc), arus short circuit (Isc), tegangan nominal modul (Vm) dan arus nominal modul (Im). Persamaan yang digunakan untuk menentukan factor pengisian (FF) adalah sebagai berikut: (Bansai, 1990: 178)

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

dengan

Voc = Tegangan open circuit (Volt)

Isc = Arus short circuit (Ampere)

Vm = Tegangan nominal (Volt)

Im = Arus nominal (Ampere)

F. *Pemilihan Total Kapasitas Baterai*

Untuk menentukan total kapasitas baterai yang dapat digunakan pada tegangan operasi sebesar 12 volt berdasarkan periode penyimpanan yang diinginkan sebagai berikut (Robert, 1991 : 184) :

Total energi harian beban (Wh/hari)	}	Periode penyimpanan (hari)	}	12 V	=	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) :

Total kapasitas baterai yang dapat digunakan (A h pada 12 V)	X	100 %	:	Kapasitas nominal untuk 12 V (Ah)
--	---	-------	---	-----------------------------------

:	DOD %	=	Jumlah baterai 12 volt	2.7
---	-------	---	------------------------	-----

G. *Kemiringan Modul*

Suatu modul surya umumnya dipasang dengan sudut kemiringan tertentu terhadap bidang datar, yang bertujuan untuk mempermudah pembersihan permukaan modul dari debu atau kotoran lain secara alamiah (dengan air hujan). Data radiasi matahari yang terukur adalah besarnya radiasi matahari yang sampai pada permukaan datar bumi. Dengan posisi modul yang miring, maka besarnya radiasi matahari yang sampai pada permukaan modul akan berbeda dengan yang sampai pada permukaan datar bumi. Untuk itu diperlukan adanya koreksi untuk kemiringan tertentu hingga

diperoleh radiasi optimal untuk perencanaan sistem fotovoltaik. Prosedur sederhana untuk menentukan besarnya radiasi matahari pada kemiringan tertentu adalah dengan mengalikan nilai rata-rata radiasi matahari tiap bulannya dengan faktor kemiringan (tilt factor) dan dengan percobaan pengukuran derajat kemiringan

H. Kabel Distribusi

Untuk mendistribusikan energi elektrik yang dihasilkan sistem fotovoltaik ke beban, dibutuhkan media perantara yang berupa kabel. Kabel ini mempunyai hambatan atau resistansi. Oleh karena itu akan terjadi rugi tegangan pada kabel distribusi ini. Agar sistem dapat bekerja secara optimal, maka rugi tegangan ini harus dijaga agar tidak terlalu besar dengan menggunakan kabel dengan bahan dan ukuran tertentu, sehingga dengan ukuran tersebut arus elektrik masih dapat mengalir dengan aman.

Ukuran kabel dinyatakan sebagai total luas penampang kawat pada tiap konduktor. Satuan umum yang digunakan adalah milimeter persegi (mm^2). Tingkat arus dari suatu kabel adalah besarnya arus maksimum yang dapat dialirkan melalui kabel tersebut tanpa menyebabkan kabel menjadi panas.. Data teknis untuk beberapa jenis kabel lengkap dengan luas penampang nominal dan kemampuan hantar arusnya dapat dilihat pada lampiran.

Ukuran minimum kabel dapat ditentukan berdasarkan nilai arus yang diperlukan oleh beban. Dengan menggunakan tegangan kerja sistem, nilai arus ke beban dapat ditentukan dengan persamaan (2.8) (Kessler, 1995 :15)

Total daya Beban (watt)	:	Tegangan Sistem (volt)	=	Arus beban (ampere)
-------------------------------	---	------------------------------	---	---------------------------

Sesuai dengan Puil 1987 kerugian daya pada setiap pemasangan instalasi maksimal 5 % dari kebutuhan seluruhnya. Untuk memenuhi standart ini, maka perlu dilakukan perhitungan luas penampang kabel yang ditentukan dengan persamaan (2.10) (Kessler, 1995 :15):

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

$$\Delta P = (I_L)^2 \cdot \frac{(\rho L)}{A} \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan :

ΔP = kerugian daya sepanjang kabel (Watt)

I_L = arus beban (Ampere)

ρ = tahanan jenis penghantar ($\Omega \text{mm}^2/\text{m}$)

L = panjang penampang kabel (m)

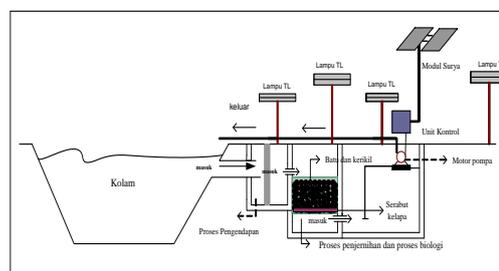
A = Luas penampang kabel (mm^2)

I. 2.4. Taman

Pada umumnya fasilitas yang digunakan untuk setiap taman adalah sama, tetapi pada taman yang

digunakan sebagai proyek percontohan penggunaan fotovoltaik ini terdapat proses penjernihan air dan pada taman juga memerlukan daya elektrik untuk menyuplai sistem penerangan dan pompa air. Disini kita memerlukan penyalaan dan pemadaman lampu penerangan dan pompa air dengan otomatis melalui Timer dan sensor cahaya.. Pada proyek ini juga terdapat motor-motor DC bertegangan rendah yang menggerakkan pompa sentrifugal, sehingga pada waktu pagi hari keluaran baterai itu rendah dan memerlukan sebuah motor yang memiliki karakteristik momen putar start yang baik dan fungsi pompa disini hanya sebagai pembantu proses sirkulasi untuk penjernihan air kolam.

Penyalaan pompa dan lampu dilakukan secara otomatis yaitu dilakukan melalui timer yaitu pompa bekerja mulai pukul 08.00 WIB sampai pukul 17.00 dan lampu TL menyala mulai pukul 18.00 WIB, setelah batas waktu yang ditentukan jam 21.00 WIB, lampu padam.



Gambar 2.5. Kolam VEDC Malang

Sumber : VEDC Malang

Pada proyek percontohan ini terdapat saringan vertikal sebagai penjernih air keruh dengan tingkat kekeruhan yang tinggi (50-150 mg/lt SiO_2) dan kualitas air yang bervariasi seperti pada gambar.

Pada jenis saringan vertikal terdapat tiga tahapan penjernihan air, yaitu :

1. Proses pengendapan, dengan memberikan satu ruangan kosong tanpa media sehingga memungkinkan partikel-partikel dari kolam mengendap terlebih dahulu sebelum memasuki proses selanjutnya.
2. Proses penyaringan, dengan menggunakan media pecahan batu kerikil dan batu dengan ukuran 0,9 s/d 0,25 mm.
3. Proses Biologi, dengan menggunakan media serabut kelapa yang telah dibersihkan.

J. Analisis Ekonomis

1) Analisis Sistem Photovoltaik

Sistem photovoltaik mempunyai biaya operasi dan perawatan yang rendah, ini dikarenakan tidak memerlukan bahan bakar dalam pengoperasiannya. Namun sistem pembangkitan elektriknya memerlukan biaya investasi yang sangat besar.

Parameter dasar yang mempengaruhi perkiraan ekonomi 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):

$$Biaya\ per\ kWh = \frac{Biaya\ investasi + Biaya\ operasi + Biaya\ perawatan}{Energi\ yang\ dibangkitkan} \quad 2.11$$

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

$$P = F \left[\frac{1}{i + i^{-N}} \right] \quad 2.12$$

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

P = Nilai sekarang (Present worth) atau nilai ekuivalen dari satu atau lebih aliran kas pada suatu titik yang didefinisikan sebagai waktu saat ini.

F = Nilai mendatang (Future Worth), nilai ekuivalen dari satu atau lebih aliran kas pada suatu titik yang didefinisikan sebagai waktu mendatang.

N = Jumlah periode pemajemukan

i = tingkat bunga efektif per periode

Total biaya operasional dengan menggunakan metode nilai sekarang (INyoman Pujawan,1995:42)

$$P = A \left[\frac{i + i^{-N} - 1}{i (i + i^{-N})} \right] \quad 2.13$$

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

Dengan

P = Nilai sekarang (Present worth) atau nilai ekuivalen dari satu atau lebih aliran kas pada suatu titik yang didefinisikan sebagai waktu saat ini.

A = Aliran kas pada akhir periode yang besarnya sama untuk beberapa periode yang berurutan (Annual Worth).

N = Jumlah periode pemajemukan

i = tingkat bunga efektif per periode

2) Analisis Biaya PLN

Total biaya pemakaian listrik dari PLN dihitung dengan menggunakan metode nilai sekarang, dengan menggunakan persamaan (2.13) yaitu:

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

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengambilan data

- a) Studi lapangan Dilakukan di VEDC Malang bertujuan untuk melakukan pengujian pengaruh kemiringan sel surya terhadap energi yang dibangkitkan, dan melakukan pengujian modul surya saat berbeban untuk mengetahui prosentase jatuh tegangan pada kondisi cerah, berawan dan mendung.
- b) Pengambilan data klimatologi lokasi penelitian yang meliputi data radiasi rata-rata harian, intensitas radiasi bulanan, cuaca hujan dan temperature udara. Data-data tersebut diperoleh dari Badan Meteorologi

dan Geofisika Balai Wilayah III Stasiun Karangates Malang.

B. Analisis teknis dan ekonomis

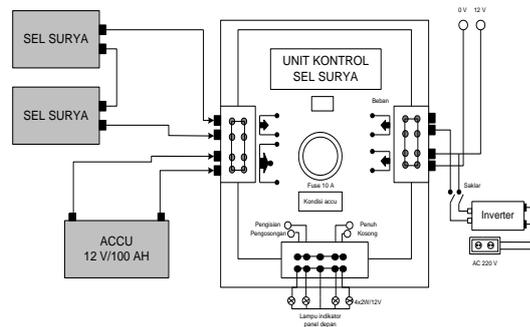
Setelah data terkumpul, data tersebut dianalisis sesuai dengan teori-teori dari literatur.

Analisis sistem bertujuan mempelajari cara kerja masing-masing bagian sistem pembangkit energi matahari yang digunakan sebagai suplai daya di VEDC Malang pada kondisi saat ini dan perusahaan sistem Photovoltaik dengan mengacu pada rumusan masalah, meliputi

- a) Analisis beban berupa motor dan lampu
- b) Analisis modul meliputi keluaran harian modul, jumlah minimum modul letak kemiringan modul serta karakteristik keluaran modul berupa arus dan tegangan
- c) Analisis baterai (accumulator) meliputi.kapasitas baterai, total kapasitas baterai yang dapat digunakan pada tegangan operasi sebesar 12 volt dan jumlah minimum baterai yang digunakan
- d) Analisis secara umum perangkat pengaman tegangan lebih dan tegangan rendah yang berfungsi untuk melindungi baterai dan modul surya.
- e) Analisis ukuran penghantar yang dipergunakan
- f) Perhitungan biaya investasi dan biaya operasional dibandingkan dengan suplai energi listrik PLN.

IV. ANALISA DATA

Di dalam bab ini akan dibahas mengenai tahap-tahap analisis suatu sistem photovoltaik dengan mengacu pada sistem konfigurasi yang akan digunakan terdapat pada bab II, disesuaikan dengan keadaan dilapangan.



Gambar 4.1. Gambar blok Sistem Photovoltaik VEDC Malang

Sumber : widiaharso, 2000:4

Berikut adalah data-data dari sistem photovoltaik yang digunakan dilapangan Spesifikasi:

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 mm²

A. Analisis Beban Pertamanan di VEDC Malang

Analisis beban bertujuan untuk mengetahui jumlah daya elektrik yang diperlukan sesuai dengan jumlah beban yang ada pada taman dan lama pemakaiannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, beban yang terdapat pada taman adalah beban arus searah. Adapun jenis beban elektrik ada 2 macam yaitu lampu penerangan dan pompa air. Lampu penerangan digunakan sebagai penerangan taman pada malam hari. Pompa air hanya digunakan untuk proses sirkulasi air, sehingga air dapat tetap bersirkulasi melalui media penyaringan secara vertikal.

TABEL 4.1. TABEL BEBAN DC

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

Sumber : Studi lapangan

B. Pemilihan Baterai

Ada tiga jenis baterai yang biasa digunakan untuk sistem fotovoltaik yaitu baterai lead acid SLI untuk mobil dan truck, lead acid low antimony dan nickel cadmium. Tetapi karena factor harga dan sulitnya jenis baterai lead acid low antimony dan nickel cadmium dipasaran, maka dipilih jenis baterai Lead acid SLI untuk truck sesuai dengan keadaan dilapangan..

Dengan menggunakan persamaan (2.6) untuk baterai lead acid SLI untuk truck dengan kapasitas nominal 100 Ah, kapasitas yang dapat digunakan diperoleh

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

dan dengan persamaan (2.6) kapasitas yang dapat digunakan sampai umur daur adalah

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

Untuk perbandingan baterai jenis lead acid antimony dan nickel cadmium dapat dilihat pada Tabel 4.2.

TABEL 4.2. PERBANDINGAN KAPASITAS YANG DAPAT DIGUNAKAN DARI KETIGA JENIS BATERAI

1) 2) Tipe Baterai	Kapasitas nominal (Ah)	Tegangan (V)	DOD (%)	Usia (daur)
LEAD ACID				
Low antimony	80	12	80	1200
High antimony				
-SLI untuk mobil	30	12	20	10
	80	12	80	300
-SLI untuk truck	100	12	80	500
NICKEL				
CADMIUM	100	12	100	2000

Sumber : Roberts, 1991 :70

C. Total Kapasitas Baterai Yang dapat Digunakan

Berdasarkan data curah hujan untuk daerah Malang dan sekitarnya pada tahun 2003, bulan-bulan yang paling banyak terjadi hujan adalah Januari, Februari, Maret dan Desember. Paling tinggi pada bulan Desember yaitu 20 hari hujan

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

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

TABEL 4.3. TABEL CURAH HUJAN UNTUK DAERAH MALANG DAN SEKITARNYA

BULAN	TEMPERATUR (C)		TOTAL CURAH HUJAN		
	MAX	MIN	RATA2	HARI	mm
JANUARI	36	24	28	10	35
FEBRUARI	35	23.8	33	18	120
MARET	34.5	23.5	34	19	128
APRIL	34.5	23.7	23	12	55
MEI	34	24.1	23	15	100
JUNI	33	24.1	28	15	100
JULI	34.5	23.4	28	7	80
AGUSTUS	33	23.3	24	5	15
SEPTEMBER	33	23.4	32	17	95
OKTOBER	33	23.3	27	12	55
NOVEMBER	33.5	22.7	33	10	35
DESEMBER	34	23	37	20	204
TOTAL	409	282.2	232	160	1022
RATA-RATA	34	23.5	19	13.3	85.16

Sumber : Badan Meterologi dan Geofisika

1) Jumlah Baterai Yang Diperlukan

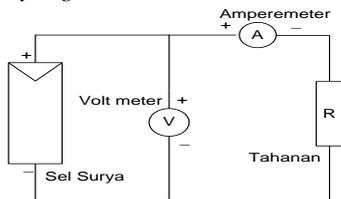
Telah ditentukan dalam sub bab penentuan baterai, baterai yang dipilih untuk perencanaan ini adalah Lead Acid SLI untuk truck 80 Ah 12 volt. Dengan persamaan (2.8) dapat ditentukan jumlah baterai yang diperlukan yaitu :

$$75 \text{ Ah pada } 12 \text{ volt} \times 100\% : 80 \text{ Ah} : 80\% = 1.17 \approx 1$$

Jadi Lead Acid SLI untuk truck 80 Ah 12V yang diperlukan sebanyak 1 baterai. Dan keadaan ini tidak sesuai dengan kondisi dilapangan yang menggunakan 1 buah baterai jenis Lead Acid SLI untuk truck dengan kapasitas 100 Ah

D. Kemiringan Modul Surya

1) Pengukuran Tegangan dan Arus dengan Sudut Kemiringan yang berbeda

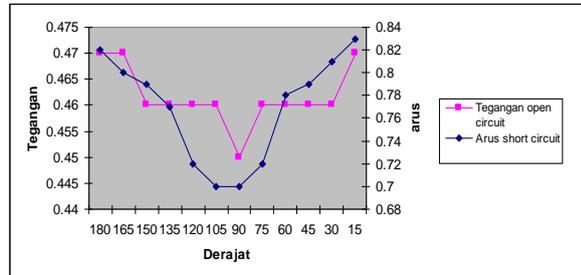


Gambar 4.3. Rangkaian Pengukuran

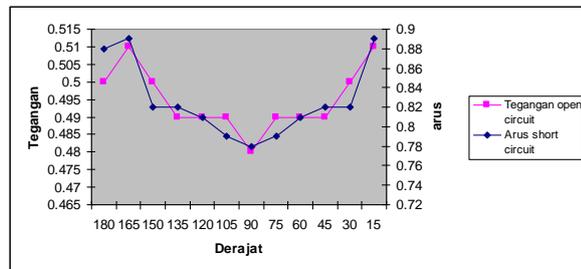
Tujuan pengujian ini untuk mendapatkan besarnya sudut kemiringan sel surya sehingga dapat menyerap radiasi sinar matahari saat keadaan cerah dan mendung pada posisi maksimum perlu diadakan pengujian dilapangan.

Alat dirangkai seperti pada gambar 4.3., pada modul karakteristik surya tersebut terdapat 4 macam hambatan yang memiliki nilai berbeda dan dengan menggunakan busur derajat digunakan untuk mendapatkan sudut kemiringan yang maksimal.

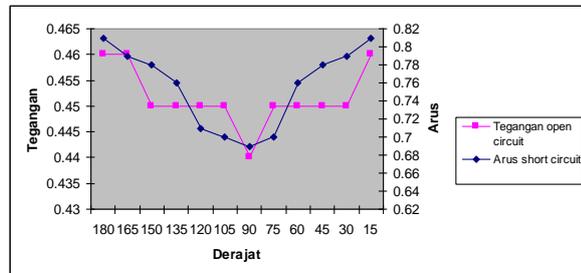
Pengukuran tegangan dan arus dilakukan pada pukul 09.00 WIB, 12.00 WIB, dan pukul 16.00 WIB. Dengan sudut kemiringan sel surya 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°, dan 180°. Sudut 90° sebagai sudut referensi, hasil pengukuran tegangan dan arus diperlihatkan pada Grafik 4.1 pada pukul 09.00 WIB, Grafik 4.2 pada pukul 12.00 WIB dan Grafik 4.3 data pada pukul 16.00 WIB.



Grafik 4.1. Hasil pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan sel surya pada Pukul 09.00 WIB



Grafik 4.2. Hasil pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan sel surya pada Pukul 12.00 WIB



Grafik 4.3. Hasil pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan sel surya pada Pukul 16.00 WIB

Dari hasil pengukuran terlihat tegangan dan arus terbesar terjadi pada saat sel surya diletakkan dengan sudut kemiringan 180° atau 0° dan 15° sedangkan nilai tegangan dan arus terkecil terjadi dengan sudut kemiringan sel surya 90°, sehingga pada pemasangan dilapangan kita menggunakan sudut kemiringan modul paling sedikit adalah 15°. Karena jika lebih kecil, air hujan tidak dapat mengalir dengan mudah. Sehingga akan merusak modul.

2) Koreksi Radiasi Matahari

Tujuan dari koreksi matahari ini adalah untuk memperoleh sudut kemiringan modul surya dengan cara

perhitungan sehingga diperoleh nilai radiasi yang paling optimal. Lokasi penelitian di VEDC Malang terletak pada koordinat 9°LS dan 112°BT, sehingga Tabel Faktor koreksi yang dipergunakan diperlihatkan pada Tabel 4.4.

TABEL 4.4. FAKTOR KOREKSI RADIASI MATAHARI UNTUK BUMI BELAHAN UTARA DAN SELATAN PADA KOORDINAT 0° – 10°.

Belahan bumi bagian Utara 5° - 10° U								
Bulan	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt
Mbt	6:21	6:22	6:11	5:55	5:45	5:46	5:54	5:57
Mtbn	17:51	18:06	18:07	18:05	18:07	18:14	18:18	18:13
Kemiringan								
45°S	1.17	1.04	0.88	0.70	0.56	0.50	0.53	0.64
40°S	1.18	1.07	0.92	0.76	0.63	0.57	0.59	0.70
35°S	1.19	1.08	0.95	0.81	0.69	0.64	0.66	0.75
30°S	1.18	1.09	0.98	0.85	0.75	0.70	0.73	0.81
25°S	1.17	1.09	1.00	0.89	0.81	0.77	0.79	0.85
15°S	1.12	1.08	1.02	0.95	0.90	0.88	0.89	0.93
15°U	0.82	0.86	0.92	0.99	1.04	1.06	1.05	1.01
20°U	0.75	0.81	0.89	0.97	1.04	1.07	1.06	1.00
25°U	0.67	0.75	0.84	0.95	1.03	1.07	1.05	0.99
30°U	0.59	0.68	0.80	0.92	1.03	1.07	1.04	0.97
35°U	0.56	0.66	0.79	0.93	1.04	1.10	1.07	0.98
Kemiringan								
	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	Jan	Feb
	6:18	6:13	5:58	5:41	5:34	5:41	5:57	6:06
	17:54	17:57	17:54	17:51	17:56	18:09	18:21	18:22

Sumber : Roberts, 1991 : 377

Pada bulan Januari nilai radiasi matahari saat modul surya ditempatkan pada bidang datar adalah sebesar 5,049 kWh/m²/hari. Jika faktor koreksi modul surya sebesar 0,84 pada saat kemiringan modul 15° maka didapatkan nilai radiasi matahari sebesar:

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

Dengan :

Radiasi 15° : Radiasi matahari pada saat modul surya ditempatkan pada kemiringan 15°

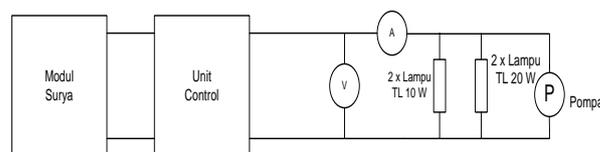
Radiasi 0° : Radiasi matahari pada saat modul surya ditempatkan pada bidang datar

FK : Faktor Koreksi dari modul surya

Nilai radiasi matahari yang digunakan dalam perhitungan koreksi radiasi matahari ini adalah radiasi matahari tahun 2003 seperti terlihat pada Tabel 4.8. Dari tabel 4.4 diperoleh nilai koreksi matahari yang paling optimal yaitu pada sudut kemiringan 15° U. Sehingga data radiasi yang digunakan untuk perencanaan ini adalah hasil koreksi radiasi matahari dengan sudut kemiringan 15° U. Sehingga dalam pelaksanaannya nanti, modul surya dipasang menghadap ke utara dengan kemiringan 15° terhadap permukaan horisontal.

3) Pengujian Modul Surya saat Berbeban

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui prosentase jatuh tegangan pada kondisi cerah, berawan dan mendung dengan menggunakan beban pompa air dan lampu TL. Percobaan ini dilakukan pada bulan Juli 2004. Peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian adanya pengaruh prosentase jatuh tegangan modul surya saat dibebani adalah



Gambar 4.5. Rangkaian percobaan Modul Surya saat berbeban

Untuk mengetahui prosentase jatuh tegangan Alat dirangkai seperti pada gambar 4.5. Pada percobaan pertama modul surya dibebani pompa air dan lampu TL, percobaan dimulai dari pukul 09.00 WIB sampai pukul 16.00 WIB dengan tiga keadaan cuaca yaitu cerah, berawan dan mendung, dengan sudut kemiringan modul surya 15°.

Prosentase jatuh tegangan (V_R) didefinisikan (Hutahuruk, 1985:61)

$$V_R (\%) = \frac{|V_{\text{NL}}| - |V_{\text{L}}|}{|V_{\text{NL}}|} \times 100 \% \dots\dots(4.1)$$

dimana:

$|V_{\text{NL}}|$:tegangan saat pada beban nol (no load)

$|V_{\text{L}}|$:tegangan saat pada keadaan berbeban

Dari perhitungan jatuh tegangan kita mengambil salah satu data dari tabel 4.14 yaitu pada pukul 09.00 WIB pada keadaan cerah sesuai persamaan (4.1), yaitu:

Jatuh tegangan (V_d) saat modul surya saat dibebani pompa air dan lampu TL

$$\begin{aligned} V_d &= \frac{|V_m| - |V_p|}{|V_p|} \times 100 \% \\ V_d &= \frac{|13,67| - |13,11|}{|13,11|} \times 100\% \\ V_d &= 4,27 \% \end{aligned}$$

dan untuk perhitungan jatuh tegangan pada keadaan cerah, berawan dan mendung secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.5 sampai 4.6

TABEL 4.5. HASIL PERCOBAAN MODUL SURYA PADA SAAT BERBEBAN PADA KEADAAN CERAH

Jam	Vm (Volt)	Vp (Volt)	Ip (Ampe re)	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

Sumber : hasil percobaan dan perhitungan

Keterangan tabel

Vm : Tegangan modul surya saat tanpa beban

Vp : Tegangan modul saat dibebani

Ip : Arus saat dibebani

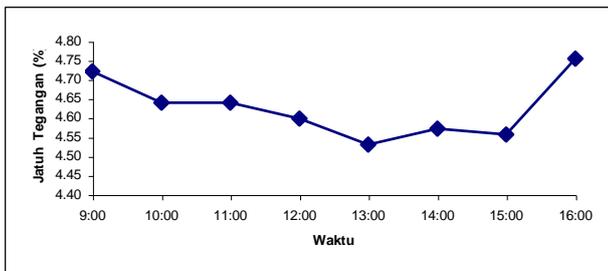
Vd : Prosentase jatuh tegangan saat dibebani pompa air

sGrafik 4.4. Jatuh tegangan saat berbeban pada keadaan cerah

TABEL 4.7. HASIL PERCOBAAN MODUL SURYA PADA SAAT BERBEBAN PADA 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

Sumber : hasil percobaan perhitungan



Grafik 4.5. Jatuh tegangan saat berbeban pada keadaan mendung

Dari Grafik 4.4 sampai dengan 4.5 terlihat adanya perbedaan jatuh tegangan yang terjadi pada modul surya saat dibebani, ini dikarenakan masukan dari modul surya tergantung pada intensitas cahaya matahari (ϕ) yang jatuh di permukaan sel-sel surya

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%.

E. Keluaran Harian Modul

Untuk menentukan besarnya daya output modul sel surya dari suatu sistem photovoltaik, pertama-tama harus diketahui terlebih dahulu besarnya jumlah cahaya matahari yang dapat mencapai permukaan bumi pada lokasi dimana sistem berada. Biasanya memerlukan suatu pengukuran dari jawatan pemerintah mencakup bidang ramalan cuaca, seperti pada tabel dibawah ini yaitu radiasi kota Malang dan sekitarnya pada tahun 2003 diukur dari balai meteorologi dan geofisika wilayah III stasiun Geofisika Karangates-Malang

TABEL 4.8. JUMLAH INTENSITAS RADIASI MATAHARI TAHUN 2003

BULAN	RADIASI MATAHARI	
	Cal/Cm2	kWH/m2
JANUARI	435.3	5.049
FEBRUARI	391.8	4.544
MARET	372.7	4.323
APRIL	441.3	5.119
MEI	485.7	5.634
JUNI	485.7	5.634
JULI	508.1	5.893
AGUSTUS	510.6	5.922
SEPTEMBER	392.8	4.556

OKTOBER	390.7	4.532
NOVEMBER	435.1	5.047
DESEMBER	330.1	3,178
TOTAL	5150.6	60.082

Sumber : Badan Meterologi dan Geofisika dan

Nilai daya nominal modul SP 75 sebesar 75 W, dan nilai radiasi matahari terendah (dengan koreksi radiasi pada 15°) adalah 3,178 KWh/m²/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:

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

F. Jumlah Minimum Modul

Dengan menggunakan persamaan (2.2) jumlah minimum modul dapat ditentukan. Dengan keluaran harian minimum 238,35 Wh/hari pada 12 volt dan efisiensi pengisian baterai Lead acid pada umumnya sebesar 80%, Jumlah minimum modul yang diperlukan adalah :

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

G. Efisiensi Maksimum Modul surya

Untuk menentukan besarnya efisiensi modul surya kita harus mengetahui total daya foton (P_{in}) modul surya dan faktor pengisian (FF), untuk perhitungan total daya foton (P_{in}) sebagai berikut:

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

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

Pada radiasi 1000 W/m² (intensitas sinar global saat radiasi maksimum), modul menghasilkan daya maksimum sebesar 75 Watt., maka total daya foton (P_{in}) yang diterima modul = 0,438435642 m² x 1000 W/ m² = 438,435642 Watt.

Dengan menggunakan persamaan (2.5) Untuk perhitungan factor pengisian (FF) dapat ditentukan.

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{17,4,4}{21,7,4,8} = 0,71$$

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

$$\eta = \frac{Voc.Isc.FF}{PIn}$$

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

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

Jadi Efisiensi maksimum modul surya yang digunakan adalah = 16,86 %

H. 4.7. Perhitungan luas penampang kabel penghantar

Perhitungan luas penampang kabel penghantar sangat diperlukan agar dapat mengetahui kerugian daya yang terjadi pada kabel penghantar. Sesuai dengan PUIL 1987 kerugian daya pada setiap pemasangan instalasi maksimal 5% dari kebutuhan daya seluruhnya.

Data dilapangan yaitu menggunakan jenis penghantar NYMHY dengan luas penampang 2,5 mm² jumlah keseluruhan kabel yang digunakan sepanjang 11,5 meter. Besarnya daya keseluruhan beban adalah:

$$\Sigma \text{ Daya beban} = 30 \text{ W} + 40 \text{ W} + 20 \text{ W}$$

$$= 90 \text{ W}$$

Besarnya arus beban dengan daya sebesar 90 Watt dan tegangan 12 Volt sesuai persamaan (2.9), adalah:

$$I_L = \frac{\Sigma \text{ Daya beban}}{V}$$

$$I_L = \frac{90}{12}$$

$$I_L = 7,5 \text{ Ampere}$$

Maka untuk memenuhi standart PUIL 1987 dengan maksimal 5% dari kebutuhan beban, perlu diadakan perhitungan luas penampang kabel yang digunakan dengan persamaan (2.10)

$$\Delta P = 5\% \cdot \Sigma \text{ Daya beban}$$

$$\Delta P = 4,5 \text{ Watt}$$

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

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

$$4,5 = (7,5)^2 \cdot \frac{(0,0175 \cdot 11,5)}{A}$$

$$A = 2,51 \text{ mm}^2 \approx 2,5 \text{ mm}^2$$

Pada hasil perhitungan luas penampang kabel diatas telah sesuai dengan keadaan di lapangan yaitu dengan menggunakan luas penampang penghantar sebesar 2,5 mm².

I. Analisis Biaya Photovoltaik

Pada tugas akhir ini data ekonomi pembangunan sistem photovoltaic menggunakan data di VEDC Malang berupa biaya investasi, biaya perawatan dan biaya operasional selama dua puluh lima tahun dengan suku bunga bank sebesar 10 % yang tetap per tahun dan tidak memperhitungkan inflasi.

1) Biaya Investasi

TABEL 4.9. BIAYA INVESTASI SITEM PHOTOVOLTAIK DI VEDC MALANG

No	Nama Komponen	Jumlah	Harga per satuan	Total Harga
----	---------------	--------	------------------	-------------

1.	Modul Surya	2	Rp 3.752.000	Rp 7.504.000
2.	ACCU 12 V/ 100 Ah	1	Rp 265.000	Rp 265.000
3.	Control unit	1	Rp 200.000	Rp 200.000
4.	Inverter 150 Watt	1	Rp 250.000	Rp 250.000
5.	Almari control utama	1	Rp 150.000	Rp 150.000
6.	Fuse holder + Fuse	2	Rp 4.500	Rp 9.000
7.	Kabel NYMHY	11,5	Rp 2.000	Rp 23.000
8.	Kabel ACCU + Jepit buaya	1	Rp 5.000	Rp 5.000
Total Biaya Investasi				Rp 8.406.000

Sumber : VEDC Malang

2) Biaya Perawatan

Penggantian komponen berupa accu setiap 5 tahun sekali selama 25 tahun sesuai dengan umur guna modul surya yang digunakan, dengan mengansumsikan harga accu yang digunakan tetap, yaitu sebesar Rp 265.000.

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

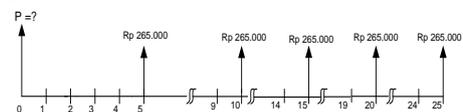
Maka total biaya perawatan nilai sekarang dengan asumsi bunga bank 10 % tetap setiap tahunnya sebesar:

$$P = \text{Rp } 265.000 (P/F, 10\%, 5) + \text{Rp } 265.000 (P/F, 10\%, 10) + \text{Rp } 265.000 (P/F, 10\%, 15) + \text{Rp } 265.000 (P/F, 10\%, 20) + \text{Rp } 265.000 (P/F, 10\%, 25)$$

$$P = \text{Rp } 265.000 (0,6209) + \text{Rp } 265.000 (0,3855) + \text{Rp } 265.000 (0,2394) + \text{Rp } 265.000 (0,1486) + \text{Rp } 265.000 (0,0923)$$

$$P = \text{Rp } 164.538,5 + \text{Rp } 102.157,5 + \text{Rp } 63.441 + \text{Rp } 39.379 + \text{Rp } 24.459,5$$

$$P = \text{Rp } 393.975,5,-$$



Gambar 4.6. Diagram aliran kas untuk mencari nilai P bila diketahui nilai F

3) Biaya Operasional

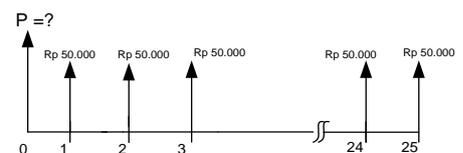
Pada sistem photovoltaik, biaya bahan bakar tidak ada jadi hanya biaya operasi seperti persediaan air accu dan biaya pengawas modul surya Rp 50.000 per tahun.

Maka total biaya perawatan nilai sekarang dengan asumsi bunga bank 10 % tetap setiap tahunnya sebesar:

$$P = \text{Rp } 50.000 (P/A, 10\%, 25)$$

$$P = \text{Rp } 50.000 (9,0770)$$

$$P = \text{Rp } 435.850,-$$



Gambar 4.7. Diagram aliran kas untuk mencari nilai P bila diketahui nilai F selama N tahun

J. Analisis Biaya PLN

Energi yang dipergunakan setiap hari adalah sebesar 450 Wh seperti terlihat pada Tabel 4.1, sehingga untuk pemakaian energi selama satu bulan adalah:

$$450 \text{ Wh} \times 30 = 13500 \text{ Wh} \text{ atau } 13,5 \text{ kWh.}$$

Pemakaian energi yang digunakan adalah biaya pemakaian blok I karena energi yang digunakan masih dibawah 30 kWh dan ditambahkan biaya beban dengan menggunakan tarif dasar listrik tahun 2003,

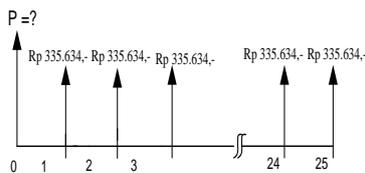
$$\begin{aligned} \text{Biaya beban} &= \text{Rp } 24.500,- \\ \text{Biaya pemakaian Blok I } 13,5 \text{ kWh} \times 257 &= \text{Rp } 3.469,5,- + \end{aligned}$$

$$\text{Total biaya per bulan} = \text{Rp } 27.969,5$$

Untuk biaya selama setahun pemakaian listrik PLN $12 \times \text{Rp } 27.969,5 = \text{Rp } 335.634,-$

Total biaya pemakaian listrik dari PLN dengan menggunakan metode nilai sekarang, dengan menggunakan persamaan (4.2) yaitu:

$$\begin{aligned} P &= A (P/A, i \%, N) \\ P &= \text{Rp } 335.634 (P/A, 10 \%, 25) \\ P &= \text{Rp } 335.634 (9,0770) \\ P &= \text{Rp } 3.046.549,818,- \end{aligned}$$



Gambar 4.8. Diagram alir kas untuk mencari nilai P bila diketahui nilai A selama N tahun

Dari hasil perhitungan biaya total penggunaan sistem photovoltaik dan biaya dari PLN, terlihat selisih harga sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Selisih biaya} &= \text{Biaya sistem photovoltaik} - \text{Biaya PLN} \\ &= \text{Rp } 9.235.825,5 - \text{Rp } 3.046.549,818,- \\ &= \text{Rp } 6.189.275,682,- \end{aligned}$$

K. Harga Energi Listrik Sistem Photovoltaik

Untuk perhitungan biaya per kWh kita melakukan perhitungan energi pada dua buah modul surya yang dibangkitkan selama 25 tahun dengan asumsi data radiasi matahari pada daerah Malang dan sekitarnya tahun 2003 setelah dilakukan perhitungan dengan faktor koreksi 15° seperti pada Tabel 4.9. Perhitungan menggunakan persamaan 2.1 dengan mengambil radiasi bulan Januari sebesar 4,241 kWh/m²/hari.

Energi yang dihasilkan untuk 1 modul surya SP 75 (E_{modul}) adalah:

$$\begin{aligned} (E_{\text{modul}}) &= P_{\text{nom}} \times T_{\text{nom}} \\ &= 75 \times 4,241 \\ &= 318.075 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Sehingga energi untuk 2 modul surya adalah sebesar:

$$\begin{aligned} &= 2 \times 238,35 \\ &= 636,15 \text{ Wh} \\ &= 0,63615 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dan total energi yang dihasilkan pada bulan Januari dengan radiasi sebesar 4,241 kWh/m²/hari selama 25 tahun adalah:

$$\begin{aligned} &= 25 \times 0,4767 \\ &= 15.9037 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan energi yang dibangkitkan dari dua buah modul surya selama 25 tahun diperlihatkan seperti terlihat pada Tabel 4.10

Biaya per kWh adalah biaya total yang dikeluarkan dibagi dengan energi yang dibangkitkan sesuai dengan persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} \text{Biaya per kWh} &= \frac{\text{Rp } 8.406.000 + \text{Rp } 435.850 + \text{Rp } 393.975,5}{217.8225} \\ &= \text{biaya per kWh Rp } 42.400 \end{aligned}$$

Dari segi ekonomi, biaya penggunaan sistem Photovoltaik dan listrik PLN terlihat masih sangat mahal untuk diterapkan di Indonesia, karena selisih biaya penggunaan sistem Photovoltaik di VEDC Malang dan dari penggunaan sumber listrik PLN adalah sebesar Rp 6.189.275,682,-, serta biaya per kWh sistem photovoltaik sebesar Rp 42.400,-.

TABEL 4.10. HASIL PERHITUNGAN ENERGI YANG DIBANGKITKAN DUA MODUL SURYA

	Radiasi matahari (kWh/m ² /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	0.60666	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
TOTAL	58.086	8.7129	217.8225

Tetapi penggunaan listrik dari PLN masih disubsidi oleh pemerintah sehingga biaya per kWh masih terlihat lebih murah dan biaya bahan bakar yang terus meningkat juga tidak diperhitungkan, oleh karena itu sistem photovoltaik adalah pembangkit energi ramah lingkungan, mudah penerapannya serta dapat mengatasi kelangkaan energi dan harga bahan bakar yang terus meningkat setiap tahunnya.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari beban pertamanan dibandingkan dengan peralatan photovoltaik yang digunakan di VEDC Malang terlihat tidak efisien, dikarenakan dengan radiasi terendah daerah Malang tahun 2003 sebesar 3,178 kWh/m²/hari pada dua modul surya yang digunakan masih dapat dihasilkan energi sebesar 476,7 kWh/hari sehingga dapat dimanfaatkan untuk beban lain. Dari sisi baterai yang digunakan terjadi pemborosan kapasitas, karena dari hasil perhitungan didapatkan kapasitas baterai sebesar 75 Ah berbeda dengan kapasitas baterai yang terpasang pada sistem sebesar 100 Ah .
2. Dari segi ekonomi, biaya penggunaan sistem Photovoltaik dan listrik PLN terlihat bahwa penggunaan sistem Photovoltaik masih sangat mahal untuk diterapkan di Indonesia, karena selisih biaya penggunaan sistem Photovoltaik di VEDC Malang dan dari sumber listrik PLN sebesar Rp 6.189.275,682,-, serta biaya per kWh sistem photovoltaik sebesar Rp 42.400 sedangkan bila kita menggunakan listrik PLN biaya per kWh yang digunakan sebesar Rp 27.969,5
3. Modul surya diletakkan dengan kemiringan kurang lebih 15° terhadap posisi horisontal agar diperoleh energi listrik yang maksimum
4. Prosentase jatuh tegangan dengan beban yang sama pada sistem Photovoltaik terbesar terjadi pada saat keadaan cuaca mendung pada jam 16.00 WIB sebesar 4,76 % dan jatuh tegangan terkecil terjadi pada keadaan cuaca cerah pada jam 16.00 WIB sebesar 4,17 %

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, Prof.Ir. 1990. *Energy*, Jakarta: Universitas Indonesia
- [2] Bansai NK, et.al. 1990. *Renewable Energy Sources And Conversion Technology*, Tata McGraw-Hill Publishing Co. Limited, New Delhi
- [3] Cramer G., et.al. 1993. *Modular Autonomous Electrical Power Supply System*, SMA-Powercorp, Australia
- [4] Dewats, 1998. *Desentralised Wastewater Treatment In Developing Countries*, Bremen:Bonda.
- [5] I Nyoman Pujawan, 1995. *Ekonomi Teknik*, Surabaya: PT Guna Widya.
- [6] Kleinkauf W. 1993. *Systemtechnik Und Photovoltaische Energie-Versorgung*, ISET-Kassel University, Kassel-Jerman
- [7] Koellmann C. et.al. 1993. *Kleine Energieprojekte In Entwicklungslaendern*, Bremen University-LIT, Jerman
- [8] Roberts, Simon. 1996. *Solar Electricity, A Practical Guide to Designing and installing small Photovoltaic System*, New York: Prentice Hill.
- [9] S.Kessler Dipl.Ing.ETH, R Nutzi Dipl.Ing.HTL. 1995. *Photovoltaik*, Malang: VEDC.
- [10] Wiranto Arismunandar, Prof. 1995 *Teknologi Rekayasa Surya*, Jakarta : PT Pradya Paramita.
- [11] Windiarso, 2000. *PLTS 150 W*, Jakarta: Proyek Pendidikan Kejuruan dan Teknologi Jakarta.