

PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP EFISIENSI SOLAR CELL DENGAN KAPASITAS 50 WP

Rusman

Staf Pengajar Jurusan Kemaritiman Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Kapal Selam 1 No. 10 RT. 17 Loktuan Bontang
rusman@polnes.ac.id

Abstrak

Efek krisis energi di Indonesia masih sangat dirasakan oleh masyarakat Indonesia. Energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat, sejalan dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan di segala bidang. Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut sekaligus penanggulangan kondisi krisis penyediaan tenaga listrik di beberapa daerah, maka dapat memanfaatkan Potensi alam untuk dijadikan energi listrik. Salah satu Potensi alam sebagai sumber energi listrik adalah energi tenaga matahari. Matahari merupakan sumber energi utama bagi sebagian besar proses-proses yang terjadi dipermukaan bumi. Tujuan penelitian ini akan menghasilkan efisiensi solar cell dengan metode penelitian yang menggunakan beberapa beban yaitu 3 watt, 6 watt dan 9 watt dalam mempengaruhi efisiensi solar cell. Efisiensi dengan menggunakan waktu pengambilan data dari jam 08.00 sampai dengan 17.00. Hasil yang didapatkan yaitu untuk beban 3 watt yaitu menghasilkan efisiensi 84 % dan untuk beban 6 watt yaitu menghasilkan efisiensi 90 % serta beban 9 watt menghasilkan menghasilkan efisiensi 86 % sehingga disimpulkan bahwa efisiensi solar cell dengan kapasitas 50 WP maksimum pada jam 12.00 siang.

Kata Kunci: *solar cell, efisiensi, kinerja, tenaga surya.*

Pendahuluan

Efek krisis energi di Indonesia masih sangat dirasakan oleh masyarakat Indonesia. Energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat, sejalan dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan di segala bidang. Untuk dapat memenuhi kebutuhan akan listrik yang semakin pesat tersebut, maka pemerintah terus meningkatkan program pembangunan prasarana dan sarana tenaga listrik untuk menjangkau wilayah-wilayah yang ada di Indonesia. Akan tetapi, kondisi negara Indonesia adalah negara yang sangat luas dan terdiri dari beribu-ribu pulau dan dengan penyebaran penduduk yang tidak merata serta masih banyak daerah-daerah yang terpencil yang menjadikan kendala utama untuk melakukan pendistribusian pembangkit listrik ke setiap pelosok-pelosok negeri kita ini. Maka wajar kalau kita masih banyak menjumpai masyarakat di pedesaan, pesisir pantai dan daerah pegunungan yang belum merasakan

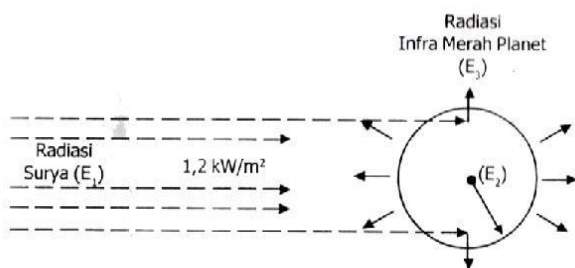
penerangan listrik dan tidak terjangkau oleh pembangkit listrik negara (PLN). Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut sekaligus penanggulangan kondisi krisis penyediaan tenaga listrik di beberapa daerah, maka dapat memanfaatkan Potensi alam untuk dijadikan energi listrik. Salah satu Potensi alam sebagai sumber energi listrik adalah energi tenaga matahari. Matahari merupakan sumber energi utama bagi sebagian besar proses-proses yang terjadi dipermukaan bumi. Radiasi matahari yang diterima permukaan bumi merupakan masukan fundamental untuk banyak aspek terutama merupakan parameter penting dalam aplikasi solar sel sebagai pembangkit listrik. sel matahari merupakan piranti yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi matahari dapat menghasilkan daya hingga 156.486 MW, jumlah yang lebih besar jika dibandingkan dengan sumber energi terbarukan yang lainnya. Indonesia merupakan negara yang terletak dalam jalur khatulistiwa yang sepanjang tahun mendapatkan cahaya

matahari yang berlimpah dengan intensitas radiasi mata-hari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sangat diminati dan mulai dikembangkan diseluruh pelosok negeri dengan melakukan banyak sekali penelitian serta pengujian.

Bagaimana kinerja solar cell dengan variasi beban yang diberikan dengan kapasitas 50 WP.?

Tinjauan Pustaka

Sang surya atau matahari merupakan bintang yang istimewa dan mempunyai radius sejauh 6,96 x 10⁵ km dan terletak sejauh 1,496 x 10⁸ km dari bumi. Besar jumlah energi yang dikeluarkan oleh matahari sukar dibayangkan. Menurut salah satu perkiraan, inti sang surya merupakan suatu tungku termonuklir bersuhu 100 juta derajat celsius setiap detik mengonversi 5 tonne materi menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luas sebanyak 6,41 x 10²⁷ W/m².



Gambar 1. Radiasi Matahari

Radiasi Energi Matahari

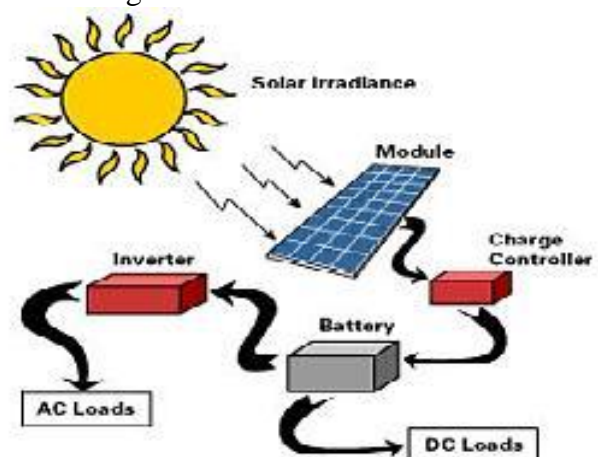
Energi Matahari merupakan sumber energi utama untuk proses-proses yang terjadi di Bumi. Energi matahari sangat membantu berbagai proses fisis dan biologis di Bumi. Radiasi adalah suatu proses perambatan energi (panas) dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang tanpa memerlukan zat perantara.

Energi Matahari bisa sampai ke permukaan Bumi adalah dengan cara radiasi (pancaran), karena diantara Bumi dan Matahari terdapat ruang hampa (tidak ada zat perantara), sedangkan gelombang elektromagnetik adalah suatu bentuk gelombang yang dirambatkan dalam bentuk komponen medan listrik dan medan magnet, sehingga dapat merambat

dengan kecepatan yang sangat tinggi dan tanpa memerlukan zat atau medium perantara. Dari sekian banyak energi yang dikeluarkan matahari yang sampai ke Bumi melalui melalui proses perambatan tadi kemudian diserap oleh Bumi. Energi yang diserap ini akan menyebabkan suhu dari Bumi akan naik. Pada gilirannya, suhu Bumi yang hangat atau panas ini akan memancarkan juga sebagian energinya, sehingga energi yang diterima Bumi = energi yang diserap Bumi + energi yang dipancarkan Bumi.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada dasarnya adalah pecatu daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun dengan *hybrid* (dikombinasikan dengan sumber energi lain) baik dengan metode Desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode Sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel).

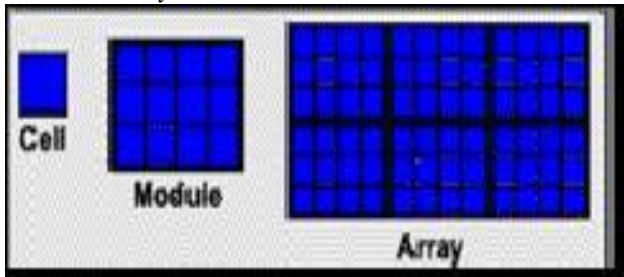
Pada siang hari modul surya/panel *solar cell* menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic*. Energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dapat langsung disalurkan ke beban atau disimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban. Dan arus searah DC (*direct current*) yang dihasilkan dari modul surya yang telah tersimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban terlebih dahulu.



Gambar 2. Konsep kerja sell surya [1].

Modul ini berfungsi merubah cahaya matahari menjadi listrik arus searah (DC). Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh komponen yang disebut *solar cell*, kom-ponen ini mengkonversi energi matahari menjadi

energi listrik. *Solar cell* merupakan komponen vital yang terbuat dari bahan semi konduktor. Tenaga listrik dihasilkan oleh satu *solar cell* sangat kecil, maka beberapa *solar cell* harus digabung sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut *module*. Pada aplikasinya karena tenaga listrik yang dihasilkan oleh *module* ini masih kecil, maka dalam pemanfaatannya beberapa modul digabung-kan sehingga terbentuklah apa yang disebut *array*. Perhatikan Gambar berikut ini.



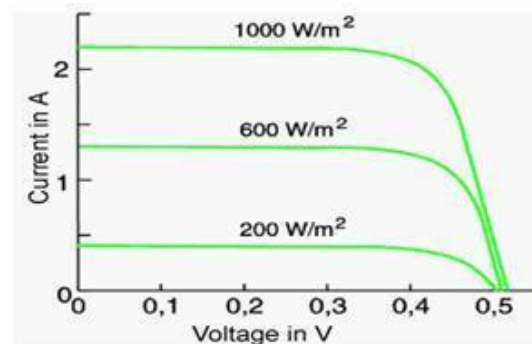
Gambar 3. Panel Sel Surya [2]

Sel surya atau *photovoltaic* adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis p-n *junction* dengan efisiensi 6%. Sekarang ini, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi lab dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15%.

Kepingan sel *photovoltaic* terdiri atas kristal silikon yang memiliki dua lapisan silisium doped, yaitu lapisan sel surya yang menghadap ke cahaya matahari memiliki doped negatif dengan lapisan fosfor, sementara lapisan di bawahnya terdiri dari doped positif dengan lapisan borium. Antara kedua lapisan dibatasi oleh penghubung p-n. Jika pada permukaan sel *photovoltaic* terkena cahaya matahari maka pada sel bagian atas akan terbentuk muatan-muatan negatif yang bersatu pada lapisan fosfor. Sedangkan pada bagian bawah lapisan sel *photovoltaic* akan membentuk muatan positif pada lapisan borium.

Kedua permukaan tersebut akan saling mengerucut muatan masing-masing-nya jika

sel *photovoltaic* terkena sinar matahari. Sehingga pada kedua sisi sel *photovoltaic* akan menghasilkan beda potensial berupa tegangan listrik. Jika kedua sisinya dihubungkan dengan beban berupa lampu menyebabkan lampu akan menyala. Suatu kristal silikon tunggal *photovoltaic* dengan luas permukaan 100 cm² akan menghasilkan sekitar 1,5 W dengan tegangan sekitar 0,5 V tegangan searah (0,5 V-DC) dan arus sekitar 2 A di bawah cahaya matahari dengan panas penuh (intensitas sekitar 1000W/m²)[3]. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 4 Karakteristik Sel *Photovoltaic*[2]

Charge controller berfungsi mengatur lalu lintas listrik dari modul surya ke baterai. Alat ini juga memiliki banyak fungsi yang pada dasarnya ditujukan untuk melindungi baterai. Pengisi baterai atau *charge controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah DC yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan tegangan (*overvoltage*) dari panel surya. Kelebihan tegangan dan pengisian akan mengurangi umur baterai. *Charge controller* menerapkan teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya 12 V umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 V. Jadi tanpa *charge controller*, baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14-14,7 V. Fungsi detail dari *charge controller* antara lain:

- a. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*. Apabila baterai dalam keadaan kondisi sudah terisi penuh maka listrik

yang disuplai dari modul surya tidak akan dimasukkan lagi pada baterai dan sebaliknya juga jika keadaan kondisi baterai sudah kurang dari 30% maka *charge controller* tersebut akan mengisi kembali baterai sampai penuh. Proses pengisian baterai dan modul surya tersebut melalui *charge controller* akan terus berulang secara otomatis (*smart charging*) selama energi surya masih cukup untuk bias diproses oleh modul surya (selama matahari terang benderang). *Charge controller* juga berfungsi melindungi baterai ketika sedang mengalami proses pengisian dari modul surya untuk menghindari arus berlebih dari proses pengisian tersebut, yang akan menyebabkan kerusakan pada baterai. Sehingga dengan cara tersebut baterai dalam pemakaiannya memiliki usia yang lebih lama.

b. Mengatur arus yang dibebaskan atau diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *overloading*.

c. *Monitoring* temperatur baterai

Charge controller biasanya terdiri dari satu input (dua terminal) yang terhubung dengan output panel sel surya, satu output (dua terminal) yang terhubung dengan baterai/aki dan satu output (dua terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel surya karena biasanya ada dioda proteksi yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya. Adapun dua jenis teknologi *charge controller* yang digunakan, yaitu :

PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya menggunakan lebar *pulse* dari *on* dan *off electrical*, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*.



Gambar 5. *Charge Controller* tipe PWM[2]

MPPT (*Maximun Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC to DC (*Direct Current*). MPPT dapat mengambil daya maksimum dari panel surya. MPPT *charge*

controller dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh beban ke dalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh panel surya, maka daya dapat diambil dari baterai.



Gambar 6. *Charge Controller* tipe MPPT[2]

Contoh dari kelebihan MPPT adalah panel surya ukuran 120 W, memiliki karakteristik *Maximun Power Voltage* 17,1 V dan *Maximun Power Current* 7,02 A. Dengan *charge controller* selain MPPT dan tegangan baterai 12,4 V berarti daya yang dihasilkan adalah $12,4 \text{ V} \times 7,02 \text{ A} = 87,05 \text{ W}$. Dengan MPPT, arus yang bisa diberikan adalah sekitar $120 \text{ W} : 12,4 \text{ V} = 9,68 \text{ A}$.

Baterai (*Battery/Accumulator*)

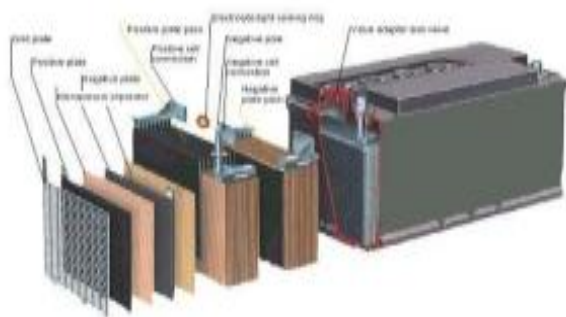
Baterai pada PLTS berfungsi untuk menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk mengoperasikan beban. Beban dapat berupa lampu refrigerator atau peralatan elektronik dan peralatan lainnya yang membutuhkan listrik DC.

Accumulator atau yang akrab disebut *accu/aki* adalah salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor. Selain berfungsi untuk menggerakkan motor starter, aki juga berperan sebagai penyimpan listrik dan sekaligus sebagai penstabil tegangan dan arus listrik kendaraan.

Menurut Syam Hardi akumulator ini berasal dari bahasa asing yaitu: *accu (mulator)* = *baterij* (Belanda), *accumulator = storage battery* (Inggris), *akkumulator = bleibatterie* (Jerman). Pada umumnya semua bahasa-bahasa itu mempunyai satu arti yang dituju, yaitu “*acumulate*” atau *accumuleren*. Ini semua berarti menim-bun, mengumpulkan atau menyimpan. Menurut Daryanto akumulator adalah baterai yang merupakan suatu sumber aliran yang paling populer yang dapat digunakan dimana-mana untuk keperluan yang beranekaragam.

Menurut Rudolf Michael, aku-mulator dapat diartikan sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik (*reversible*) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses perubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam akumulator.

Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik didalam akumulator dan disimpan didalamnya. Sedangkan saat pengosongan, tenaga di dalam akumulator diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk mencatu energi dari suatu peralatan listrik. Dengan adanya proses tersebut akumulator sering dikenal dengan elemen primer dan sekunder.



Gambar 7. Baterai dan Elemen-elemennya[3]

Inverter

Untuk kebutuhan listrik AC, energi listrik yang disimpan di baterai dirubah menjadi listrik AC menggunakan *In-verter*. *Inverter* adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). *Inverter* mengkonversi arus DC 12-24 V dari perangkat seperti baterai, panel surya/*solar cell* menjadi arus AC 220 V.



Gambar 8. *Inverter*[3]

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan *inverter*:

1. Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih *inverter* yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
2. Input DC 12 V atau 24 V.
3. *Sinewave* ataupun *square wave output AC*.

True sine wave inverter diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka *true sine wave inverter* adalah yang paling mahal diantara yang lainnya karena dialah yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN. Sedangkan pada *square wave inverter* beban-beban listrik yang menggunakan kumparan/motor tidak dapat bekerja sama sekali.

Rugi-rugi (*loss*) yang terjadi pada *inverter* biasanya berupa dissipasi daya dalam bentuk panas. Pada umumnya efisiensi *inverter* adalah berkisar 50-90% tergantung dari beban outputnya. Bila beban outputnya semakin mendekati beban kerja *inverter* yang tertera maka efisiensi semakin besar.

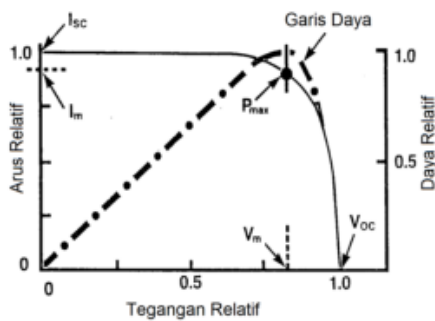
Karakteristik Panel Fotovoltaik

Sifat-sifat listrik dari modul surya biasanya diwakili oleh karakteristik arus tegangannya, yang mana disebut juga kurva I-V (lihat gambar 2). Jika sebuah modul surya dihubung singkat ($V_{modul} = 0$), maka arus hubung singkat (I_{sc}) mengalir. Pada keadaan rangkaian terbuka ($I_{modul} = 0$), maka tegangan modul disebut tegangan terbuka (V_{oc}). Daya yang dihasilkan modul surya, adalah sama dengan hasil kali arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul surya.

$$P = V \times I \dots \dots \dots (1)$$

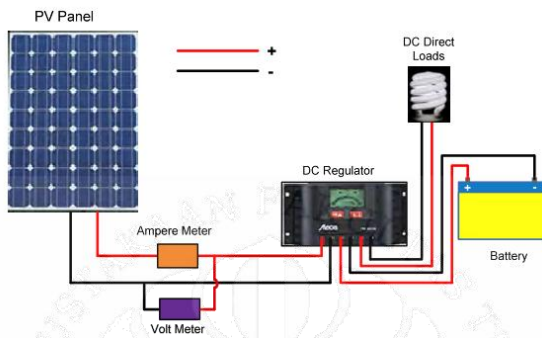
dengan :

- P = Daya keluaran modul (Watt)
- V = Tegangan kerja modul (Volt)
- I = Arus kerja modul (Ampere)



Gambar 9. Kurva Arus-Tegangan dari sebuah modul surya[4]

Tegangan kerja dan arus modul fotovoltaik yang terjadi pada saat daya maksimum (Pmax) tercapai berturut-turut dinyatakan sebagai Vm dan Im. Apabila pengukuran dilakukan pada radiasi 1000 W/m² dan suhu 25°C, maka daya maksimum (P) yang dihasilkan oleh modul disebut pula sebagai daya puncak (peak power) suatu modul fotovoltaik, dan dinyatakan sebagai Ppeak.



Gambar 10. Gambar Rangkaian PLTS

$$P_{max} = I_m \times V_m \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

P_{max} = Daya maksimum keluaran modul (Watt)

V_m = Tegangan kerja modul pada daya maksimum (Volt)

I_m = Arus kerja modul pada daya maksimum(Ampere)

Catatan: Pada kondisi penyinaran 1000W/m² dan temperatur 25°C, maka Pmax = P_{peak}

Efisiensi Panel Fotovoltaik

Efisiensi modul surya berdasarkan uraian diatas jelas berubah terhadap tegangan kerjanya. Karenanya efisiensi modul surya selalu ditetapkan pada daya puncaknya (*peak power*). Sedangkan daya input dari penyinaran

matahari dapat dihitung berdasarkan pengukuran sebagai berikut:

$$P_{input} = F \cdot G_u \cdot A \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

F = faktor kalibrasi pyranometer atau solarimeter (mV.m²/Watt)

G_u = intensitas matahari terukur (mV)

A = luas efektif dari modul fotovoltaik (m²)

Maka efisiensi maksimum dari modul fotovoltaik dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{f \cdot G_u \cdot A} \dots \dots \dots (4)$$

Pembangkit listrik tenaga surya pada dasarnya adalah pecatu daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun dengan *hybrid* (dikombinasikan dengan sumber energi lain) baik dengan metode Desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode Sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel).

Pada siang hari modul surya / panel *solar cell* menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic*. Energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dapat langsung disalurkan ke beban atau disimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban. Dan arus searah DC (*direct current*) yang dihasilkan dari modul surya yang telah tersimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban terlebih dahulu.

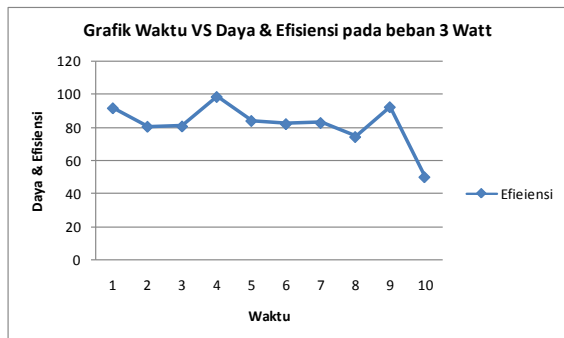
Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 Hasil perhitungan kinerja dengan beban 3 watt

NO	WAKTU	V _{in}	I _{in}	V _{out}	V _{out}
1	08.00	12	0,1	11	0,1
2	09.00	16	2,5	14	2,3
3	10.00	17	3,5	15	3,2
4	11.00	18	3,7	16	4,1
5	12.00	20	4,5	18	4,2
6	13.00	17	4,3	15	4,0
7	14.00	16	3,7	14	3,5
8	15.00	15	3,5	13	3,0
9	16.00	13	2,4	12	2,4
10	17.00	12	0,5	10	0,3

Tabel 2. Hasil Perhitungan Daya

NO	WAKTU	P_{in}	P_{out}	η %
1	08.00	1	1	92
2	09.00	40	32	81
3	10.00	60	48	81
4	11.00	67	66	98
5	12.00	90	76	84
6	13.00	73	60	82
7	14.00	59	49	83
8	15.00	53	39	74
9	16.00	31	29	92
10	17.00	6	3	50



Gambar 11. Grafik Waktu vs Daya dan Efisiensi pada beban 3 Watt

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan hasil perhitungan serta pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa beban sangat berpengaruh terhadap kinerja solar cell dengan kapasitas modul 50 WP. Pada beban 3 watt, 6 watt serta 9 watt, pada beban tersebut semakin besar beban yang diberikan maka semakin kecil kinerja pada solar cell tersebut begitupun sebaliknya. Efisiensi maksimum didapat sebesar efisiensi 98 % ini terlihat pada beban 3 watt.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Ikhsan, 2013, Peningkatan Suhu Modul Dan Daya Keluaran Panel Surya Dengan Menggunakan Reflektor, Jurnal ilmiah Dosen pada Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar.

[2]. Solar Cell Panel termuat di <http://www.panelsurya.com/index.php/id/solar-cell>, diakses 20 September 2015.

[3] Heri, J, 2011, Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Cell Kapasitas 50wp, Jurnal Ilmiah.

[4] Sumbang, H. F dan Letsoin, Y, 2012, Analisa dan Estimasi Radiasi Konstan Energi Matahari Melalui Variasi Sudut Panel Fotovoltaik Shs 50 Wp, Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha Vol.1 No.1 ISSN: 2089-6697 Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Musamus Merauke.

[5] Cengel, Y. A. (2002). *Heat Transfer a Partical Approach with EES CD*, New York : McGraw-Hill Science Engineering.

[6] Gambut, A. (2009). Modul 09 Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

[7] Jarman, 2014, Peran Sektor Ketenagalistrikan Dalam Percepatan Pembangunan Perekonomian Nasional. Seminar Ketenagalistrikan Percepatan Pembangunan Ketenagalistrikan Untuk Mendukung Pertumbuhan Ekonomi. Jakarta.

[8] Nugroho. R. A, Facta. M, dan Yuningtyastuti, 2010, Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari, Jurnal Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang.

[9] Outlook Energi Indonesia (OEI), 2014. pusat teknologi pengembangan sumberdaya Energi, Jakarta

[10] Simatupang. S, Susilo. B, Hermanto M. B, 2013, Rancang Bangun dan Uji Coba *Solar Tracker* pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler ATmega16, Jurnal Ilmiah Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya.

[11] Sunaryo, dan Setiono.J, 2014, Analisis Daya Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya Ukuran 216 Cm X 121 Cm Berdasarkan Intensitas Cahaya, Jurnal Ilmiah ISSN: 2339-028X Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau.

[12] Wikipedia, Radiasi Matahari, termuat di http://id.wikipedia.org/wiki/Radiasi_Matahari diakses 20 September 2015.

[13] Zuhail. 1992. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.