

OPTIMALISASI DAYA SISTEM HIBRID PHOTOVOLTAIC DENGAN SUATU SISTEM PHOTOVOLTAIC THERMAL SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK DAN SISTEM PEMANAS AIR

Musfirah Putri Lukman¹, Junaedy²

^{1,2,3} Teknik Informatika, STMIK Kharisma Makassar
tafnusyifa_azzahra@yahoo.com¹, junaedy@kharisma.ac.id²

Abstrak

Salah satu metode untuk mengoptimalkan daya output modul photovoltaic adalah membangun suatu system Hybrid photovoltaic dalam hal ini pembuatan sistem pemanas air dengan pemanfaatan energi matahari melalui sistem photovoltaic. Sistem ini menggunakan modul photovoltaic dan kotak ekstraksi berisi 17 pipa tembaga berbentuk spiral. Sistem ini dikontrol dengan mikrokontroler ATmega 8535 untuk mengaktifkan Windshield Whiser Pumper pada suhu 45°C untuk memompa fluida ke dalam pipa. Pengujian sistem dilakukan untuk 3 jenis material berbeda yaitu air, thermal oil dan udara. Pengujian dilakukan pada 3 kondisi cuaca berbeda untuk material air yakni kondisi cuaca cerah, berawan dan mendung dan pengambilan data dilakukan selama 5 jam pada jam tertentu. Hasil pengujian menunjukkan nilai efisiensi total daya terbaik diperoleh material air pada kondisi cuaca cerah sebesar 67.99% kemudian diikuti oleh media thermal oil sebesar 21,06% dan terakhir material udara. Air panas yang dihasilkan dari pipa dapat dimanfaatkan untuk mandi dan sterilisasi alat-alat medis.

Kata Kunci : Optimalisasi Daya, Hybrid Photovoltaic, Mikrokontroler, dan Efisiensi.

Pendahuluan

Photovoltaic system merupakan salah satu contoh devais yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik sehingga tidak lagi memanfaatkan bahan bakar minyak yang lambat laun akan habis. Dengan kemajuan ilmu dan teknologi, terutama dibidang pengembangan sumber energi alternatif yang dikombinasikan dengan rangkaian elektronika pendukung lainnya, diharapkan dapat menciptakan suatu informasi baru dalam bidang energi alternatif, khususnya terkait dengan photovoltaic system.

Salah satu tantangan suatu system photovoltaic saat ini adalah optimalisasi daya output modul. Masalah ini muncul karena intensitas matahari yang diterima dapat berbeda-beda. Hal ini bergantung pada kondisi cuaca dan posisi geografis suatu daerah. Dalam prinsip kerja modul photovoltaic diketahui bahwa terdapat pengaruh suhu modul photovoltaic terhadap nilai arus dan tegangan output modul. Adapun nilai arus dan tegangan output sangat mempengaruhi nilai efisiensi karena nilai efisiensi adalah perbandingan antar daya yang keluar serta daya yang masuk ke modul photovoltaic. Untuk mengoptimalkan daya output modul photovoltaic dapat dilakukan dengan membangun suatu sistem hibrid photovoltaic dalam hal ini pembuatan sistem pemanas air dengan pemanfaatan energi matahari melalui sistem photovoltaic. Penyediaan air panas sangat diperlukan oleh masyarakat, baik untuk mandi maupun sterilisasi alat-alat medik. Ketersediaan air panas ini memerlukan biaya besar karena harus tersedia sewaktu-waktu dan biasanya menggunakan energy fosil atau listrik. Namun dengan menggunakan pemanas air tenaga surya hal ini bukan merupakan masalah karena pemanas air dilakukan dengan menyerap panas matahari dari modul photovoltaic sehingga tidak memerlukan biaya.

Sistem ini merupakan miniatur sederhana dari system hibrid photovoltaic skala besar yang sangat cocok dibangun di daerah Indonesia secara geografis yang memiliki intensitas cahaya matahari cukup tinggi karena berada di sekitar khatulistiwa. Sistem ini sangat cocok dibangun pada daerah pelosok di Indonesia yang tidak terjangkau oleh listrik. Nilai efisiensi daya yang dihasilkan dari system ini dapat menjadi langkah awal untuk mengetahui daya listrik maupun air panas yang dapat dihasilkan oleh modul photovoltaic ukuran tertentu, sehingga

daya listrik dan air panas tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dalam kehidupan sehari-hari.

Dasar teori

Secara sederhana solar cell terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron yang disebut sebagai aliran arus listrik. Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah absorber (penyerap), sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari solar cell. Sinar matahari yang terdiri dari photon-photon, jika menimpa permukaan bahan solar sel (absorber), akan diserap, dipantulkan atau dilewatkan begitu saja dan hanya foton dengan level energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalir arus listrik. Level energi tersebut disebut energi band-gap. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi band-gap, maka extra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada solar sel [3].

Pengaruh Suhu terhadap Sel Surya

Suhu merupakan salah satu parameter eksternal yang memiliki pengaruh penting untuk memprediksi karakteristik kurva V-I. Komponen semikonduktor sangat sensitif terhadap perubahan suhu, begitu pula dengan sel surya. Hal ini disebabkan peningkatan suhu menurunkan band gap semikonduktor [3]. Penurunan nilai tegangan seiring dengan pertambahan suhu permukaan modul. Untuk suhu 25°C tegangan Open Circuit atau Voc=600mV sedangkan untuk suhu 75°C tegangan Voc=480mV[3]. Untuk arus open circuit akan bertambah sesuai dengan bertambahnya temperatur yang besarnya kurang lebih 0.1%/K. Suatu sel surya dengan arus hubung singkat sebesar 2 A pada temperatur 25°C, mencapai 2.1 A pada temperatur 75°C [8].

Daya dan Efisiensi

Penentuan daya dari suatu modul photovoltaic ditentukan dengan persamaan :

$$P_{out1} = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

Efisiensi yang terjadi pada sel surya merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari sinar matahari. Dengan menentukan efisiensi rata-rata dari suatu panel surya adalah 10 % maka dapat ditentukan nilai daya input suatu panel surya dengan persamaan.

$$P_{in} = \frac{P_{out1}}{\eta_{panel}} \dots\dots\dots (2)$$

Pada sistem hibrid photovoltaic, penentuan nilai energi kalor dari fluida dan udara ditentukan dengan persamaan kalor:

$$\Delta Q = mc \Delta T \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- massa air = 15 kg
- massa thermal oil = 1.8 kg
- massa udara = 3.06 kg
- c (air) = 4200 J/kg°C
- c (thermal oil) = 2027 J/kg°C
- c (udara) = 1000 J/kg°C
- Δt = T2n – T2a

Nilai dari T2n adalah suhu air didalam wadah penampungan yang berubah tiap waktu sedangkan T2a adalah suhu awal fluida di dalam wadah penampungan. Setelah diketahui energi kalor dari tiap waktu sesuai persamaan di atas, maka energi tersebut dikonversi ke dalam bentuk daya agar dapat dijumlahkan dengan daya output dari modul photovoltaic.

$$1 \text{ joule} = 2.7778 \times 10^{-4} \text{ Wh} \dots\dots (4)$$

Setelah diketahui persamaan konversinya, maka kita dapat menentukan daya total pada air panas dan thermal oil yang dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$P_{out2} = \frac{Q \times 2.777 \times 10^{-4} \text{ Wh}}{t} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana *t* adalah waktu pengambilan data. Karena pengambilan data dimulai dari pukul 09.00 – 14.00 maka *t* = 5. Selanjutnya kita dapat menentukan efisiensi total dari sistem hibrid photovoltaic dengan persamaan berikut.

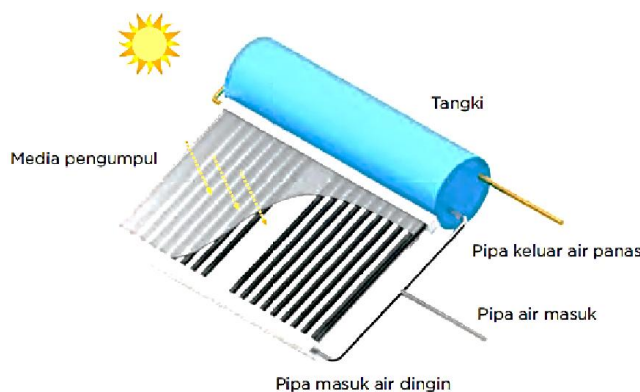
$$\eta_{Total} = \frac{P_{out1} + P_{out2}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Sistem Hybrid Photovoltaik/Thermal

Sistem hibrid photovoltaik adalah salah satu cara meningkatkan efisiensi dari suatu modul photovoltaik. Energi surya dalam modul photovoltaik hanya mampu mencapai efisiensi rata-rata 10%. Oleh karena itu, dianggap perlu memanfaatkan energi panas pada modul photovoltaik untuk peningkatan efisiensi panel surya. Ide dibalik konsep hibrida adalah bahwa sel surya mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik pada kondisi puncak dengan efisiensi dalam kisaran 6-15%. Sebagian besar energi matahari yang diterima diubah menjadi energi panas, menyebabkan kenaikan suhu kerja sel surya. Dengan pendinginan modul fotovoltaik dengan aliran fluida seperti udara atau air, energi listrik yang dihasilkan dapat ditingkatkan. Desain hibrida memang memberi keuntungan tambahan, seperti pengurangan tegangan termal (dan karenanya usia pakai modul fotovoltaik akan lebih panjang) dan stabilitas karakteristik tegangan-arus (V-I) sel surya [4].

Tipe-tipe Photovoltaik Thermal

Photovoltaik thermal terbagi atas dua jenis yaitu *passive solar thermal* dan *active solar thermal*. Kedua jenis ini dibedakan berdasarkan konstruksi yang digunakan dalam pemanfaatan energi surya. Teknologi “surya pasif” adalah cara pemanfaatan energi matahari tanpa menggunakan sistem mekanik aktif dalam pemanasan air. *Passive solar thermal* bergantung pada gravitasi atau konveksi alami untuk mengedarkan air rumah tangga tanpa menggunakan sistem pompa. Sistem pasif ini tidak efisien namun lebih murah [7]. Prinsip kerja dari sistem ini yaitu air dingin dalam wadah yang dipaparkan ke matahari akan mengalami peningkatan suhu. Pipa hitam yang diisi air diletakkan di bawah sinar matahari dan beberapa jam kemudian, air di dalam pipa akan menghangat dan bisa menjadi sangat panas. Inilah prinsip dasar alat pemanas air menggunakan matahari. Jika tangki penyimpanan ada di atas panel dan panel dipasang dengan posisi miring, maka air panas akan mengalir dari atas panel surya sedangkan air dingin akan memasuki bagian bawah. Proses ini dinamakan 'thermosyphon' [1].



Gambar 2.3 Konstruksi dari sistem *passive solar thermal* [1]

Perpindahan Kalor

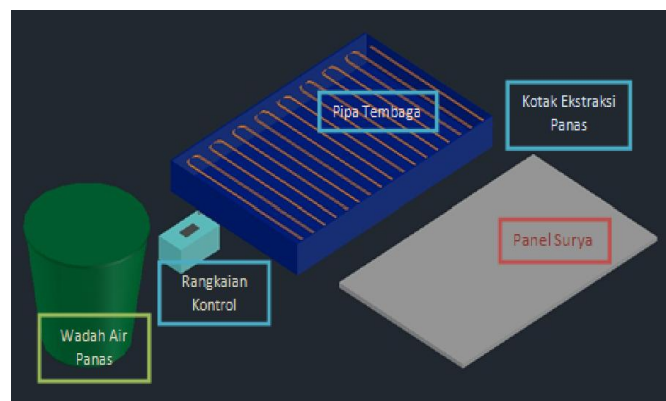
Kalor mengalir dengan sendirinya dari suatu benda yang temperaturnya lebih tinggi ke benda lain dengan temperatur yang lebih rendah. Satuan dari kalor disebut kalori (kal) dan didefinisikan sebagai kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 gram air sebesar 1 derajat *celcius* [10]. Besar kecilnya kalor pada suatu benda dipengaruhi oleh tiga hal yaitu massa zat, jenis zat (kalor jenis) dan perubahan suhu.

Perpindahan kalor dari suatu tempat ketempat lain dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan kalor melalui benda perantara namun benda perantaranya tidak ikut berpindah, konveksi merupakan perpindahan kalor disertai dengan perpindahan massa medianya dan media konveksi adalah fluida. Proses radiasi merupakan perpindahan kalor melalui perambatan gelombang elektromagnetik[11]. Kalor sangat erat kaitannya dengan temperatur. Suatu benda yang memiliki kalor tinggi maka memiliki temperatur yang tinggi. Kalor akan berpindah dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah[12].

Perpindahan kalor pada air memiliki aturan tertentu untuk suhu 0⁰ C jika dipanaskan hingga 4⁰C maka volumenya menurun namun diatas 4⁰C air berprilaku normal yaitu akan memuai sesuai dengan pertambahan suhu sepanjang tidak ada perubahan fase. Prinsip sistem *photovoltaic thermal* sama fenomena yang terjadi ketika kita mengamati temperatur air di danau yang temperaturnya di atas 4⁰C dan mulai mendingin karena kontak langsung dengan udara yang dingin. Air yang berada di atas permukaan danau akan tenggelam karena massa jenisnya yang lebih besar dan digantikan oleh air yang lebih hangat. Keadaan ini berlanjut hingga air mencapai temperatur tetap (konstan) [10].

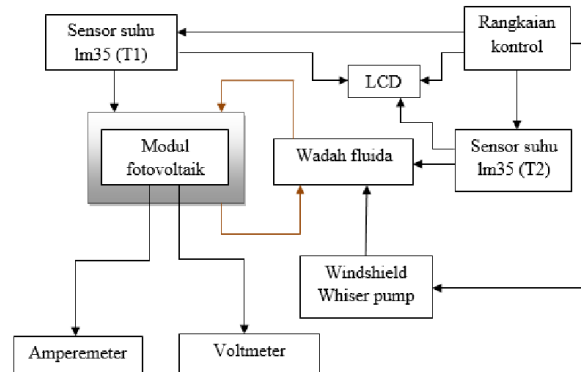
Perancangan dan Pembuatan alat

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan dari sistem ini. Berikut rancangan konfigurasi alat system hybrid fotovoltaik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan konfigurasi alat sistem hybrid fotovoltaik

Adapun skema rancangan alat adalah dapat dilihat pada Gambar 2.



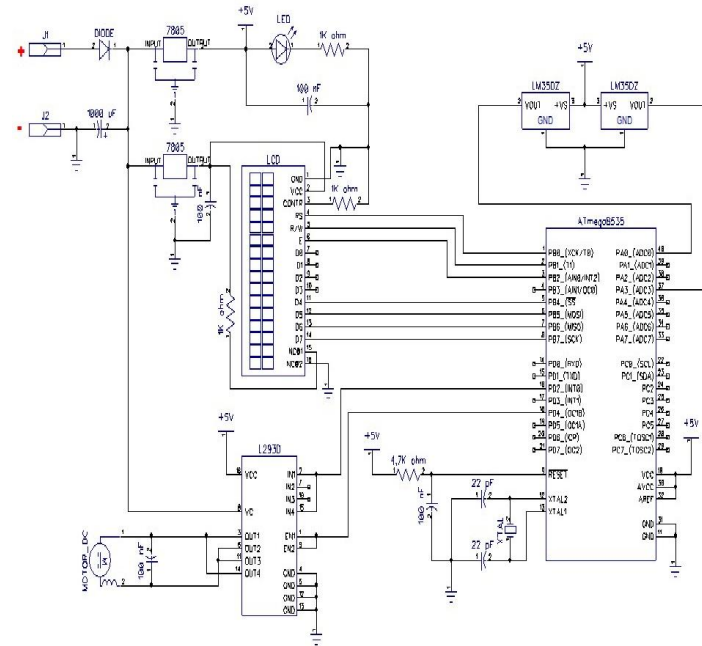
Gambar 2. Skema rancangan alat system hybrid fotovoltaik

Seperti yang terlihat pada gambar 2, komponen utama yang dipakai dalam rangkaian diatas adalah modul photovoltaic dan kotak ekstraksi yang berfungsi sebagai input energi matahari dan kotak ekstraksi berfungsi untuk mengekstraksi panas dari panel surya dengan pipa tembaga sebagai absorber kalor melalui media fluida air. Rangkaian kontrol menggunakan mikrokontroller ATmega8535 yang berfungsi sebagai pengendali motor wiper agar memompa air kedalam pipa ketika suhu dalam kotak ekstraksi mencapai 45°C dan memompa kembali air tersebut kedalam wadah air panas. Selain itu mikrokontroller berfungsi sebagai otak dari sistem yang mengatur kerja dari sensor suhu, motor wiper dan tampilan LCD. Wadah air panas berfungsi sebagai wadah output air panas yang dihasilkan dari pipa tembaga. Pembuatan sistem dibagi kedalam dua tahap yaitu tahap pembuatan hardware dan tahap pembuatan software.:

Pembuatan Hardware

Implementasi *Hardware* sistem hibrid fotovoltaik terdiri atas rangkaian kontrol dan rangkaian mekanik.

Rangkaian kontrol (mikrokontroller) dari sistem dapat terlihat sebagai berikut :



Gambar 3. Rangkaian Kontrol

Sensor suhu Lm35 (T1 dan T2) terhubung dengan ATMega8535 melalui PORTA.0 dan PORTA.3. LCD terhubung dengan ATMEGA8535 melalui PORTB.0 hingga PORTB.7 (kecuali PORTC.3). Sehingga data yang dikirimkan melalui sensor suhu Lm35 ke ATMega dapat ditampilkan melalui LCD. Driver motor L293D (IN.1 dan IN.4) terhubung dengan ATMEGA8535 melalui PORTD.2 sedangkan untuk kaki EN.1 dan EN.2 terhubung ATMEGA8535 melalui PORTD.4. Driver motor inilah yang akan menggerakkan windshield whiser pump sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

Rangkain Mekanik

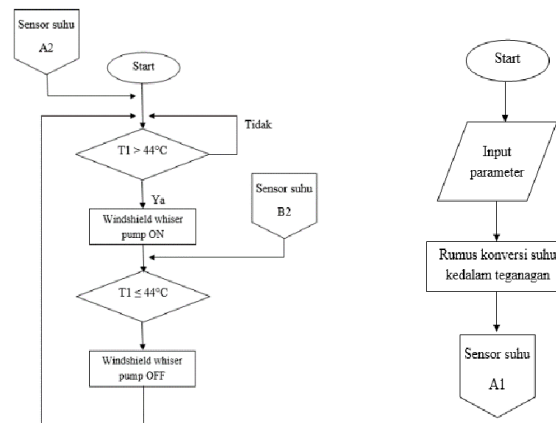
Rangkaian mekanik terdiri atas modul fotovoltaik dan kotak ekstraksi. Modul fotovoltaik tipe WJ50-M dan berdimensi (854x541x30)mm ini diletakkan diatas kotak ekstraksi agar mampu menyerap kalor secara maksimal dan menghasilkan panas yang terkunci dalam kotak. Dalam kotak terdapat sensor suhu LM35 untuk mendeteksi kenaikan suhu tiap waktu dan menampilkannya pada LCD sesuai program yang dibuat user. Kotak ekstraksi terbuat dari tripleks berukuran (85x55x10)cm. Dalam kotak ekstraksi terdapat pipa tembaga sepanjang 50cm berbentuk spiral dan diletakkan melayang tidak menyentuh dasar panel dan kotak agar ekstraksi panas yang terjadi pada air yang mengalir dalam pipa tembaga murni karena tekanan panas pada udara disekitar pipa tembaga.

Berikut ini adalah gambar modul dan kotak ekstraksi.



Gambar 4. Modul Fotovoltaik dan Konstruksi pipa tembaga di dalam kotak ekstraksi

Pembuatan Software



Gambar 5. Flowchart pemrograman CAVR sistem dan sensor suhu

Dari gambar 5 terlihat bahwa instruksi yang pertama dijalankan program adalah inialisasi i/o, lcd, dan Lm35 untuk mengubah *control word* mikrokontroler agar port-portnya berfungsi sebagai keluaran maupun masukan. Setelah inialisasi, program akan membaca suhu pada kotak ekstraksi di Lm35 dan kemudian menampilkannya di LCD. Mikrokontroler akan menampilkan suhu pada kotak ekstraksi dan wadah fluida di lcd serta motor dalam kondisi off. Bila tampilan lcd menunjukkan suhu diatas 44°C maka mikrokontroler akan memberikan sinyal bagi windshield whiser pump untuk bekerja memompa fluida ke dalam kotak ekstraksi (PORTD.2 dan PORTD.4). Namun apabila tampilan lcd belum menunjukkan suhu diatas 44°C maka mikrokontroler akan memberi sinyal bagi windshield whiser pump untuk tetap off. Selanjutnya mikrokontroler akan terus memberi sinyal agar driver motor tetap bekerja selama syaratnya masih terpenuhi.

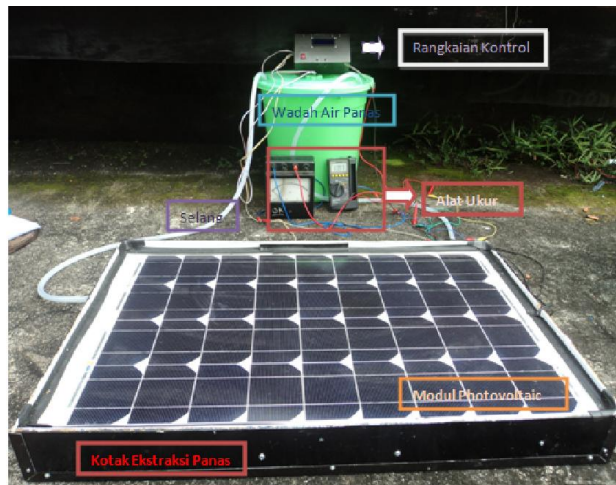
Pengujian dan analisa

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem hibrid photovoltaic. Untuk melihat perbandingan daya output modul photovoltaic dengan system hybrid photovoltaic maka ditentukan scenario *pengujian sistem dilakukan pada tiga kondisi cuaca berbeda yaitu cuaca cerah, berawan dan hujan. Terdapat tiga material fluida yang digunakan untuk menentukan tingkat perbedaan nilai efisiensi pada kondisi cuaca berbeda yaitu air, thermal oil dan udara. Pengambilan data untuk parameter tegangan, arus, dan data temperatur dilakukan selama 5 jam sehingga t=5 dimulai dari pukul 09.00-14.00 WITA pada hari yang berbeda. Pengambilan data dilakukan mulai seni 11 februari -*

Pengoperasian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Air, Thermal Oil dan Udara

Pengujian ini dilakukan pada ruang terbuka dengan alat dan bahan serta rangkaian percobaan yang sama namun dengan material berbeda. Khusus untuk media air dilakukan pada tiga kondisi cuaca berbeda karena sifat dari fluida air yang dapat berubah fase atau sering disebut peristiwa kalor laten sehingga dilakukan pengujian untuk 3 kondisi cuaca berbeda. Keuntungan scenario pengujian pada kondisi cuaca cerah yaitu intensitas matahari yang tinggi sehingga modul photovoltaic bekerja maksimal untuk menghasilkan energy listrik. Pengujian kondisi cuaca berawan dan hujan untuk material air bertujuan untuk melihat kinerja dari sistem hibrid photovoltaic saat cuaca berawan dan hujan. Sedangkan untuk material thermal oil dan udara tidak dilakukan pengambilan data pada kondisi cuaca tertentu sebab tidak terdapat perubahan fase dalam kedua material ini. Khusus untuk material thermal oil digunakan sebanyak 2 liter

atau setara dengan 1.8kg dan memiliki kalor jenis 2027 J/kg°C. Berikut diberikan gambar 6 yang menjelaskan cara melakukan pengujian dan pengambilan data.



Gambar 5. Pengujian dan pengambilan data

Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic

Untuk menentukan nilai efisiensi total pada sistem hibrid photovoltaic maka perlu diketahui energi yang terdapat pada panel surya dan pada air panas ataupun thermal oil terlebih dahulu. Penentuan daya modul nilai daya input panel surya dihitung menggunakan persamaan 1 dan 2. Selanjutnya penentuan kalor dari fluida dan udara menggunakan persamaan 3. Untuk mengkonversi energi kalor ditentukan oleh persamaan 4. Setelah nilai konversi diperoleh kita dapat menentukan daya total pada air panas dan thermal oil menggunakan persamaan 5. Terakhir kita dapat menentukan efisiensi total dari sistem hibrid photovoltaic menggunakan persamaan 6. Hasil pengujian dan perhitungan parameter-parameter yang telah dibahas sebelumnya dapat dilihat pada masing-masing tabel hasil pengujian.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Air Kondisi Cuaca Cerah

No	Waktu	V	I	T1 (°C)	T2 (°C)	Δt (°C)	Q (J)	P _{out1} (W)	P _{out2} (W)	P _{in} (W)	η _{Total} (%)
1	09.00	18.98	0.065	43	31	0	0	1.23	0	12.33	10
2	09.30	18.67	0.065	43	32	1	63000	1.21	3.5	12.13	38.84
3	10.00	18.57	0.065	44	33	2	126000	1.2	7	12.07	67.99
4	10.30	13.88	2.7	45	34	3	18900	37.48	10.5	374.76	12.8
5	11.00	14.08	2.8	46	36	5	315000	39.42	17.5	394.24	14.43
6	11.30	14.02	2.8	48	38	7	441000	39.26	24.5	392.56	16.24
7	12.00	14.2	2.8	49	38	7	441000	39.76	24.5	397.6	16.16
8	12.30	14.06	2.8	50	39	8	504000	39.37	28	393.68	17.11
9	13.00	14.06	2.8	50	40	9	567000	39.37	31.5	393.68	18
10	13.30	13.66	2.7	52	41	10	630000	36.88	35	368.82	19.48
11	14.00	13.97	2.7	52	44	13	819000	37.72	45.5	377.19	22.06

Dari hasil pengujian terlihat bahwa terdapat perubahan nilai arus dan tegangan output pada modul photovoltaic tiap satu jam yang menyebabkan berubahnya nilai dari daya output (P_{out1}). Keadaan ini dipengaruhi oleh pompa wiper yang memompa air saat temperatur dalam kotak berada diatas 44°C. Pompa wiper mulai memompa air pada pukul 10.30 WITA dan nilai efisiensi total (η_{Total}) mengalami peningkatan sebesar 2% dari efisiensi rata-rata yaitu 10%. Dari tabel juga terlihat nilai efisiensi yang semakin meningkat hingga mencapai 22.06% pada akhir

pengujian. Adapun efisiensi total pada pukul 09.30 dan pukul 10.00 mengalami peningkatan yang signifikan sebab perubahan temperatur pada wadah penampungan air sehingga menyebabkan nilai Δt pun naik. Saat ini pompa wiper belum dalam kondisi on sehingga tidak terjadi penambahan arus dan pengurangan nilai tegangan namun terdapat nilai kalor dalam wadah air sehingga efisiensi pun melonjak tinggi. Adapun nilai arus dan tegangan yang berubah saat pompa wiper dalam kondisi on dipengaruhi oleh beban rangkaian yang berubah dari beban linear (saat pompa off) menjadi beban non linear (saat pompa on).

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Air Kondisi Cuaca Berawan

No	Waktu	V (v)	I (A)	T1 (°C)	T2 (°C)	Δt (°C)	Q (J)	P_{out1} (W)	P_{out2} (W)	P_{in} (W)	η_{Total} (%)
1	09.00	19.1	0.065	32	31	0	0	1.24	0	12.41	10
2	09.30	18.7	0.065	36	31	0	0	1.21	0	12.15	10
3	10.00	18.6	0.065	38	31	0	0	1.2	0	12.09	10
4	10.30	18.3	0.065	43	31	0	0	1.18	0	11.89	10
5	11.00	18.38	0.065	44	32	1	63000	1.19	3.5	11.94	39.29
6	11.30	12.24	2.6	45	33	2	126000	31.82	7	318.24	12.19
7	12.00	12.54	2.7	46	35	4	252000	33.85	14	338.58	14.13
8	12.30	12.27	2.6	46	36	5	315000	31.9	17.5	319.02	15.48
9	13.00	12.38	2.7	46	37	6	378000	33.42	21	334.26	16.28
10	13.30	12.25	2.7	47	38	7	441000	33.07	24.5	330.75	17.4
11	14.00	12.28	2.7	46	38	7	441000	33.15	24.5	331.56	17.38

Tabel 3. Hasil pengamatan nilai kecepatan angin

Dari tabel 3 terlihat perubahan besar daya output (P_{out1}) pada pukul 11.30. Hal ini disebabkan oleh kinerja pompa wiper yang berubah menjadi aktif sehingga mengubah beban rangkaian menjadi non linear. Perubahan ini menyebabkan penurunan nilai tegangan dan penambahan arus sehingga berdampak pada meningkatnya nilai daya output. Walaupun pompa wiper baru dinyatakan aktif saat pukul 11.30 namun ternyata sudah terdapat perubahan suhu dalam wadah air pada pukul 11.00. Hal ini berdampak pada penambahan nilai kalor sehingga menghasilkan efisiensi total yang lebih tinggi yaitu mencapai 39.29%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Air Kondisi Cuaca Berawan II

No	Waktu	V (V)	I (A)	T1 (°C)	T2 (°C)	Δt (°C)	Q (J)	P_{out1} (W)	P_{out2} (W)	P_{in} (W)	η_{Total} (%)
1	09.00	18.92	0.065	36	31	0	0	1.22	0	12.29	10
2	09.30	18.7	0.065	38	31	0	0	1.21	0	12.15	10
3	10.00	18.67	0.065	40	31	0	0	1.21	0	12.13	10
4	10.30	18.45	0.065	41	31	0	0	1.19	0	11.99	10
5	11.00	18.68	0.065	44	31	0	0	1.21	0	12.14	10
6	11.30	12.01	2.5	46	33	2	126000	30.02	7	300.25	12.33
7	12.00	12.54	2.7	47	34	3	189000	33.85	10.5	338.58	13.1
8	12.30	12.47	2.7	48	34	3	189000	33.67	10.5	336.69	13.11
9	13.00	12.38	2.7	48	35	4	252000	33.42	14	334.26	14.18
10	13.30	12.11	2.6	47	36	5	315000	31.5	17.5	314.86	15.55
11	14.00	12.29	2.7	48	37	6	378000	33.18	21	331.83	16.32

Tabel 4 menampilkan peningkatan nilai kalor dalam wadah air pada pukul 11.30. Peningkatan nilai kalor saat ini juga seiring dengan perubahan kondisi pompa wiper yang awalnya off menjadi on. Perubahan kondisi pompa wiper menyebabkan penurunan nilai tegangan dan peningkatan nilai arus pada alat ukur sehingga terjadi penambahan nilai daya output (P_{out1}). Seiring dengan penambahan nilai daya output, maka terlihat juga penambahan nilai efisiensi total hingga mencapai sebesar 12% sampai 16% selama 5 jam masa pengujian

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Air Kondisi Cuaca Mendung

No	Waktu	V (V)	I (A)	T1 (°C)	T2 (°C)	Δt (°C)	Q (J)	P _{out1} (W)	P _{out2} (W)	P _{in} (W)	η _{Total} (%)
1	09.00	19.47	0.065	34	31	0	0	1.26	0	12.65	10
2	09.30	19.1	0.065	35	31	0	0	1.24	0	12.41	10
3	10.00	17.91	0.065	41	31	0	0	1.16	0	11.64	10
4	10.30	12.7	2.4	46	32	1	63000	30.48	3.5	304.8	11.14
5	11.00	18.45	0.065	37	31	0	0	1.19	0	11.99	10
6	11.30	18.56	0.065	38	31	0	0	1.2	0	12.06	10
7	12.00	19.05	0.065	40	31	0	0	1.2	0	12.38	10
8	12.30	12.67	2.6	46	32	1	63000	32.94	3.5	329.42	11.06
9	13.00	13.93	2.8	45	35	4	252000	39	14	390.04	13.58
10	13.30	13.58	2.7	45	36	5	315000	36.67	17.5	366.66	14.77
11	14.00	5.6	1	44	37	6	378000	5.6	21	56	47.5

Pada tabel 4 terlihat perubahan nilai Δt pada pukul 10.30 yang berdampak pada penambahan nilai kalor pada wadah air. Pada saat ini, pompa wiper sudah dalam kondisi aktif sehingga terlihat daya output (P_{out1}) menjadi lebih besar yaitu 30.48 Watt. Namun karena kondisi cuaca mendung yang membuat intensitas matahari tidak stabil, maka pada jam berikutnya pompa wiper kembali dalam kondisi off sampai pukul 12.00. Selanjutnya pompa wiper berubah kondisi kembali menjadi on yang diikuti peningkatan kembali daya output dan efisiensi yang mencapai 11.06%. Pada pukul 14.00 terlihat nilai efisiensi yang mencapai 47.5% dengan penurunan nilai daya output akibat daya input modul photovoltaic yang menurun drastis karena intensitas matahari yang langsung berubah akibat kondisi cuaca yang kembali mendung.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Air Kondisi Cuaca Hujan

No	Waktu	V (V)	I (A)	T1 (°C)	T2 (°C)	Δt (°C)	Q (J)	P _{out1} (W)	P _{out2} (W)	P _{in} (W)	η _{Total} (%)
1	09.00	18.2	0.065	32	31	0	0	1.18	0	11.83	10
2	09.30	18.37	0.065	32	31	0	0	1.19	0	11.94	10
3	10.00	18.15	0.065	32	31	0	0	1.17	0	11.79	10
4	10.30	17.89	0.065	32	31	0	0	1.16	0	11.62	10
5	11.00	18.57	0.065	33	31	0	0	1.2	0	12.07	10
6	11.30	18.53	0.065	36	31	0	0	1.2	0	12.04	10
7	12.00	18.63	0.065	38	31	0	0	1.21	0	12.1	10
8	12.30	18.72	0.065	41	31	0	0	1.21	0	12.16	10
9	13.00	18.81	0.065	44	31	0	0	1.22	0	12.22	10
10	13.30	11.76	2.5	45	33	2	126000	29.4	7	294	12.38
11	14.00	12.05	2.5	45	34	3	189000	30.12	10.5	301.3	13.48

Tabel 5 memperlihatkan perubahan nilai Δt pada pukul 13.30 dan 14.00. Keadaan ini membuat nilai daya output baru naik dalam dua waktu tersebut menjadi 29.4 Watt dan 30.12 Watt karena pompa wiper baru dapat memompa air ke dalam kotak ekstraksi saat itu. Minimumnya daya output yang berdampak pada rendahnya efisiensi total pada masa pengujian kali ini disebabkan karena rendahnya intensitas cahaya matahari akibat dari kondisi cuaca hujan.

Tabel 5 Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Thermal Oil

No	Waktu	V (V)	I (A)	T1 (°C)	T2 (°C)	Δt (°C)	Q (J)	P _{out1} (W)	P _{out2} (W)	P _{in} (W)	η _{Total} (%)
1	09.00	18.7	0.065	39	31	0	0	1.21	0	12.13	10
2	09.30	18.4	0.065	43	31	0	0	1.19	0	11.97	10
3	10.00	9.73	1.2	45	36	5	18243	11.67	1.68	116.8	11.44
4	10.30	11.9	1.2	46	37	6	21892	14.22	2.02	142.2	11.42
5	11.00	18.9	0.065	43	35	4	14594	1.22	1.35	12.26	21.01
6	11.30	19	0.065	42	32	1	3648.6	1.23	0.33	12.35	12.73
7	12.00	19	0.065	43	32	1	3648.6	1.23	0.33	12.33	12.73

Hasil pengujian pada tabel 5 diketahui bahwa terjadi kenaikan nilai efisiensi total mulai pada pukul 10.00 sampai pukul 11.00. Setelah itu terjadi penurunan nilai efisiensi akibat kondisi

cuaca yang berubah dari berawan menjadi mendung. Adapun penelitian hanya mampu dilakukan sampai pukul 12.00 dengan nilai efisiensi yang tetap yaitu 12.73% karena kondisi cuaca yang berubah menjadi hujan sehingga tidak memungkinkan rangkaian kontrol untuk bekerja dengan baik.

Tabel 6. Hasil Pengujian Sistem Hibrid Photovoltaic dengan Media Udara

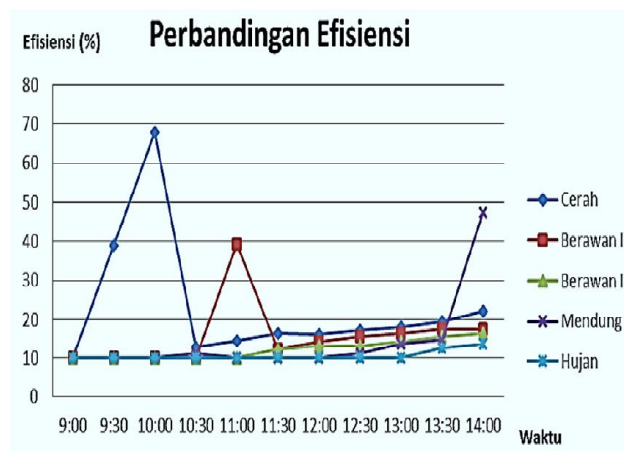
No	Waktu	V (V)	I (A)	T1 (°C)	T2 (°C)	Δt (°C)	Q (J)	P _{out1} (W)	P _{out2} (W)	P _{in} (W)	η _{Total} (%)
1	09.00	17.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	09.30	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	10.00	17.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	10.30	19.4	0.065	36	34	0	0	1.25	0	12.58	10
5	11.00	18.6	0.065	44	37	3	9180	1.2	0.51	12.09	14.21
6	11.30	18.1	0.065	40	36	2	6120	1.17	0.34	11.77	12.88
7	12.00	18.4	0.065	42	36	2	6120	1.19	0.34	11.97	12.83
8	12.30	18.7	0.065	45	38	4	12240	1.21	0.68	12.16	15.5
9	13.00	18.6	0.065	45	37	3	9180	1.2	0.51	12.09	14.21
10	13.30	18.4	0.065	46	38	4	12240	1.19	0.68	11.94	15.69
11	14.00	18.5	0.065	48	40	6	18360	1.2	1.02	12	18.49

Hasil pengujian pada tabel 6 terlihat nilai efisiensi total pada tiga waktu awal pengukuran tidak terdefinisi. Hal ini disebabkan karena kondisi cuaca yang mendung sehingga tegangan output modul photovoltaic tidak mampu menyuplai beban ataupun rangkaian kontrol. Nilai efisiensi mulai ada saat pukul 10.30 sampai akhir waktu pengujian. Walaupun terdapat penurunan nilai efisiensi pada pukul 11.30 akibat pengaruh cuaca namun setelah itu nilai efisiensi total secara konsisten naik hingga mencapai 18.49 % diakhir waktu pengujian.

Perbandingan Efisiensi

Penelitian ini fokus terhadap sistem hibrid photovoltaic pada pembuatan air panas. Media udara dan thermal oil berfungsi sebagai pembanding dari jenis fluida utama yaitu air yang digunakan. Oleh karena penelitian ini membandingkan beberapa nilai efisiensi dengan menggunakan fluida air pada beberapa kondisi cuaca yang berbeda.

Efisiensi dari sistem hibrid photovoltaic telah diamati dari berbagai kondisi cuaca yang berbeda. Sesuai dengan tabel hasil pengujian maka terlihat bahwa efisiensi sangat bergantung pada kondisi cuaca yang mempengaruhi nilai intensitas cahaya matahari. Berikut penggambaran efisiensi dari tiap kondisi cuaca yang berbeda.



Gambar 6. Perbandingan efisiensi sistem hibrid photovoltaic dalam berbagai kondisi cuaca

Dari grafik di atas terlihat nilai efisiensi yang paling baik adalah saat kondisi cuaca cerah karena pada kondisi ini, intensitas matahari menjadi lebih maksimal sehingga daya input ke dalam panel surya juga menjadi lebih besar. Selanjutnya kondisi cuaca yang paling baik setelah kondisi cerah adalah berawan, kemudian kondisi mendung dan kondisi hujan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Rancangan Sistem Hibrid Photovoltaic berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535 berjalan secara optimal.
2. Dengan menggunakan sistem hibrid photovoltaic, efisiensi modul photovoltaic lebih tinggi dibandingkan modul yang tanpa menggunakan sistem. Efisiensi modul photovoltaic dengan sistem hibrid photovoltaic menggunakan media air dapat mencapai 22.06 % pada kondisi cuaca cerah dan 13.48 % pada kondisi cuaca hujan. Efisiensi modul photovoltaic dengan sistem hibrid photovoltaic menggunakan media thermal oil dapat mencapai 21.01 % sedangkan yang menggunakan udara mencapai 18.49 %. Adapun modul photovoltaic tanpa sistem hanya mampu menghasilkan efisiensi rata-rata 10 %.

Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem ini diberikan beberapa saran berikut :

1. Konstruksi pembuatan sistem hibrid photovoltaic dapat menggunakan material baja pada kotak ekstraksi dan material kaca pada pipa di dalam kotak ekstraksi agar panas dari air yang dihasilkan lebih maksimal.
2. Pembuatan sistem hibrid photovoltaic untuk beberapa panel surya agar energi output dari panel surya serta kuantitas air panas yang dihasilkan lebih besar.
3. Pengaplikasian perangkat komunikasi seluler atau internet dalam sistem kontrol.

Daftar Pustaka

- [1] Contained Energy Indonesia, Tim. 2010. *Panduan Energi yang Terbarukan*. Kementerian Dalam Negeri. Indonesia.
- [2] Bosanac, Miroslav. Sørensen, Bent. Katic, Ivan. Sørensen, Henrik. Nielsen, Bruno. Badran, Jamal. 2003. *Photovoltaic/Thermal Solar Collectors and Their Potential in Denmark*. Copenhagen, Denmark.
- [3] Permadi, Witna. 2008. Rancang Bangun Model Solar Tracker Berbasis Mikrokontroler Untuk Mendapatkan Energi Matahari Yang Maksimal. repository.upi.edu/.../rancang_bangun_model_solar+tracker.pdf [Oktober 2011]
- [4] Subarkah, Rahmat. Belyamin. 2010. Pemanas Air Energi Surya Dengan Sel Surya Sebagai Abdoser. Politeknik Negeri Jakarta : Jakarta
- [5] Bahri, Syamsul. Sandy, Sul. 2011. Sistem Hibrid PLTB dengan PLTS. Universitas Hasanuddin : Makassar
- [6] Diputra, Wibeng. 2008. Simulator Algoritma Modul Sel Surya. Universitas Indonesia : Depok, Jakarta.
- [7] Raza Samo, Saleem. Ali Siyal, Asif. Ali Siyal, Zafar. Rahman Jatoi, Abdul. 2012. Analysis of An Active and Passive Solar Water Heating System. Turkey.
- [8] Sigalingging, Karmon. 1994. Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Tarsito. Bandung
- [9] Astuti, Puji. 2010. Desain Sistem Pemanas Air Menggunakan Radiasi Sinar Matahari. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang : Malang
- [10] Giancoli. 2001. Fisika Jilid 1. Erlangga. Jakarta
- [11] Sardjito. 2000. Fisika Terapan untuk Politeknik Fluida dan Termofisika. Direktorat Pembinaan Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional
- [12] Harahap, Filino dan Pantur Silaban. 1996. Termodinamika Teknik. Erlangga. Jakarta