

RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGINAN MENGGUNAKAN AIR UNTUK MENINGKATKAN DAYA KELUARAN PADA MODUL *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DAN KENDALI FUZZY

Wiwit Sri Rahayu

S1-Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: wiwitrahayu@mhs.unesa.ac.id

Tri Rijanto

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: tririjanto@unesa.ac.id

Abstrak

Modul *photovoltaic* merupakan energi terbarukan yang dapat mengkonversi radiasi matahari ke dalam bentuk energi listrik. Radiasi matahari mendorong terjadinya peningkatan temperatur *photovoltaic*, yang menyebabkan penurunan daya keluaran dan efisiensi elektrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sistem pendinginan menggunakan air pada permukaan modul *photovoltaic* dengan bantuan mikrokontroler arduino mega 2560 dan kendali fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendingin mampu menghasilkan daya keluaran tertinggi yaitu 3.54 Watt dibandingkan dengan sistem tanpa pendingin yaitu 3.34 Watt. Rata-rata peningkatan daya keluaran modul *photovoltaic* dengan maupun tanpa sistem pendingin yaitu sebesar 8.30 %. Efisiensi elektrik dipengaruhi intensitas cahaya matahari yang diterima *photovoltaic*, peningkatan sistem pendingin menghasilkan nilai rata-rata yaitu 7.30 %.

Kata Kunci : Modul *Photovoltaic*, Efisiensi Elektrik, Radiasi Matahari, Mikrokontroler Arduino.

Abstract

The photovoltaic module is a renewable energy that can convert solar radiation into electrical energy. Solar radiation encourages an increase in photovoltaic temperature, which causes a decrease in output power and electrical efficiency. This study aims to determine the cooling system using water on the surface of the photovoltaic module with the help of the Arduino Mega 2560 microcontroller and fuzzy control. The results showed that the cooling system was able to produce the highest output power of 3.54 Watt compared to a non-cooling system which was 3.34 Watt. The average increase in photovoltaic module output power with or without a cooling system is 8.30%. Electrical efficiency is influenced by the intensity of sunlight received by photovoltaic, an increase in the cooling system produces an average value of 7.30%.

Keywords : Photovoltaic Modules, Electric Efficiency, Solar Radiation, Arduino Microcontrollers.

PENDAHULUAN

Salah satu energi terbarukan yang terus meningkat pengembangannya adalah energi matahari. Energi tersebut dapat diubah menjadi bentuk energi yang berguna, yaitu energi listrik. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi modul *photovoltaic* (PV) yaitu seperti peningkatan temperatur dan panas lebih pada modul PV, dan akumulasi kotoran pada permukaan panel (Moharram, 2013). Kematian bagi penderita karena keterlambatan mereka mengetahui kondisi jantung yang diderita.

Kendala utama dalam pengoperasian modul PV adalah terlalu panas karena radiasi matahari yang berlebihan dan suhu lingkungan yang tinggi. Efisiensi elektrik pada modul PV akan terus menurun seiring peningkatan temperatur permukaan PV. Dapat dikatakan bahwa temperatur permukaan PV memiliki peranan vital dalam proses konversi, efisiensi elektrik dan daya keluarannya. Ada beberapa mekanisme yang membatasi efisiensi sel surya salah satunya yaitu rugi-rugi foton. Sel surya

mempunyai nilai efisiensi tinggi apabila foton yang berasal dari sinar matahari bisa diserap sebanyak-banyaknya.

Telah banyak penelitian dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan daya keluaran panel PV dengan cara mengekstrak panas dari panel PV dan menurunkan suhu operasi. Penelitian juga dilakukan oleh Isyanto, dkk, 2017 untuk meningkatkan daya keluaran panel surya dengan metode pendinginan. Dengan penambahan pendinginan pada panel surya, daya keluaran dari panel surya meningkat ketika suhu turun. Warsito, dkk, 2013 melakukan pengujian pendingin panel surya dengan menggunakan *heatsink fan*. Hasilnya menunjukkan bahwa pada suhu rata-rata panel surya dengan penggunaan *heatsink* adalah 36°C dan keluaran rata-rata panel tersebut adalah 19,11 volt. Peningkatan efisiensi panel surya dapat berubah dari 12,1 % menjadi 13,74 %.

KAJIAN PUSTAKA

Panel Surya Polycrystalline

Sel surya merupakan suatu P-N *junction* dari silicon kristal acak. Dengan menggunakan *photo-electric effect* dari bahan semikonduktor dapat mengumpulkan radiasi surya dan mengkonversinya menjadi energi listrik. Untuk tipe *polycrystalline*, mempunyai ciri khas berwarna biru dan memiliki corak guratan biru. Bentuk *polycrystalline silicon* dapat dilihat pada Gambar 1. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat cuaca mendung.



Gambar 1. Panel Surya Polycrystalline
(Sumber : *Fundamental of Photovoltaic Modules and Their Application, 2011*)

Seperti terlihat pada Gambar 1, panel surya tipe *polycrystalline* 50 WP memiliki luas penampang 0.784 m x 0.506 m. Spesifikasi panel surya *polycrystalline* 50 WP dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya Polycrystalline
(Sumber : Tiwari, 2011)

Max Power Pmax	50W
Open-Circuit Voltage Voc	19.7V
Short-Circuit Current Isc	3.58A
Cell Efficiency	17%
Module Efficiency	14.67%
Max. system voltage	1000 V
Nominal Operating Cell Temp (NOTC)	47°C
Weight	5 kg
Dimension	784 x 506 x 35 mm

Daya dan Efisiensi

Performa pada suatu modul PV dapat dilihat berdasarkan daya keluaran yang dihasilkan. Daya output panel surya merupakan hasil dari perkalian antara tegangan dan arus. Dimana daya keluaran modul PV

(Akarlsan, 2012 : 115) dapat dihitung dengan persamaan 1 seperti di bawah ini :

$$P_{out} = V \times I \tag{1}$$

Keterangan :

P_{out} = daya keluaran PV (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

Untuk dapat membandingkan performa modul PV dibutuhkan parameter lain yaitu efisiensi elektrik. Hal ini dikarenakan daya keluaran akan berbeda, yang diakibatkan oleh perbedaan intensitas radiasi yang diterima pada suatu luas permukaan PV. Efisiensi elektrik merupakan rasio antara daya *output* per daya *input*. Daya *output* yaitu daya terukur yang dihasilkan oleh modul PV pada saat kondisi berbeban. Sedangkan daya *input* adalah energi yang diberikan oleh radiasi matahari pada suatu luasan permukaan modul PV. Efisiensi elektrik modul PV (Akarlsan, 2012 : 118) ditunjukkan pada persamaan 2 berikut ini.

$$\eta = \frac{P_{out}}{E \times A_c} \times 100\% \tag{2}$$

Keterangan :

E = intensitas matahari (Watt/m²)

A_c = luas penampang panel surya (m²)

Arduino Mega 2560

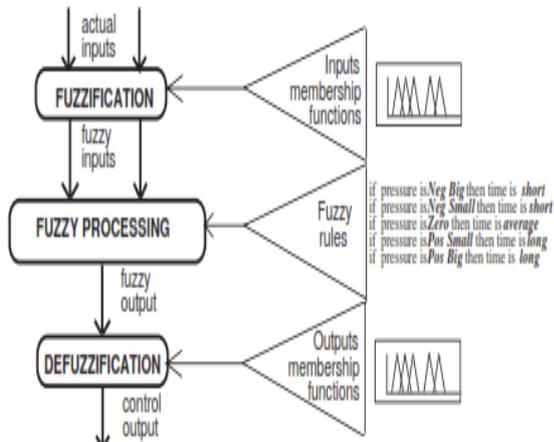
Arduino mega 2560 adalah piranti mikrokontroler menggunakan ATmega 2560. Modul ini memiliki 54 input atau output. Di mana 14 pin digunakan untuk PWM output dan 16 pin digunakan sebagai analog input, 4 pin untuk UART, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *power jack ICSP header*, dan tombol reset. Modul ini memiliki segala yang dibutuhkan untuk memprogram mikrokontroler seperti kabel USB dan catu daya melalui adaptor atau baterai. Modul arduino atmega 2560 dapat beroperasi dengan pasokan daya eksternal 6 volt sampai 20 volt. Arduino mega 2560 ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Arduino Mega 2560
(Sumber : *Datasheet Arduino Mega 2560, 2017*)

Kendali Fuzzy

Kendali fuzzy merupakan suatu teori himpunan logika yang dikembangkan untuk mengatasi konsep nilai yang terdapat di antara kebenaran dan kesalahan. Metode yang digunakan untuk memasukkan sebuah *input* ke *output* menggunakan persamaan *IF-THEN*. Persamaan *if-then* merupakan *rule base* dan terdapat fungsi keanggotaan atau *membership function*. Operasi kendali fuzzy dibagi menjadi 3 langkah atau bagian yang ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini :



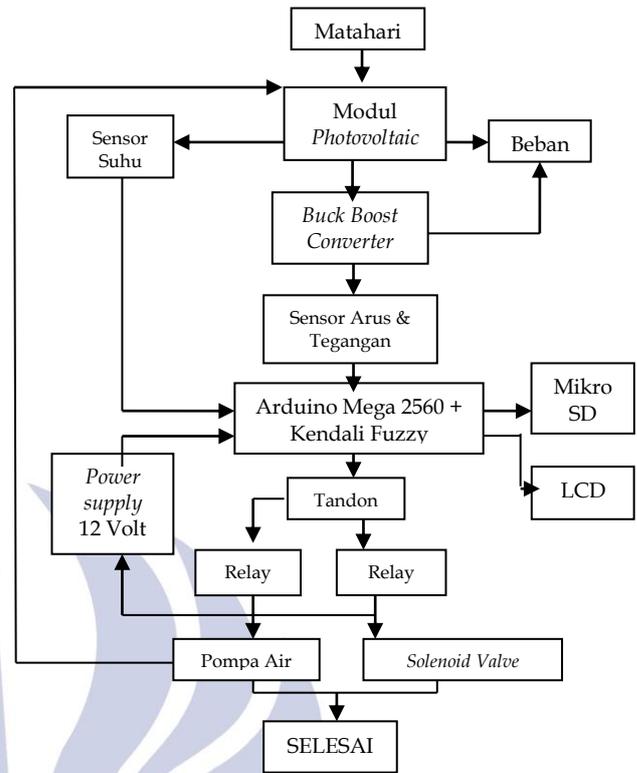
Gambar 3. Operasi Kendali Fuzzy
(Sumber : Reznik, 2012 : 58)

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *software* Arduino IDE untuk simulasi menjalankan sistem yang akan digunakan berserta rancang bangun yang akan menghasilkan sistem pendingin air pada modul *photovoltaic* berbasis arduino dan kendali fuzzy. Tahapan rancangan pada penelitian ini meliputi: (1) studi literatur; (2) desain sistem; (3) rancang bangun *hardware*; (4) rancang bangun *software*; (5) pengujian; dan (6) analisis dan pembahasan.

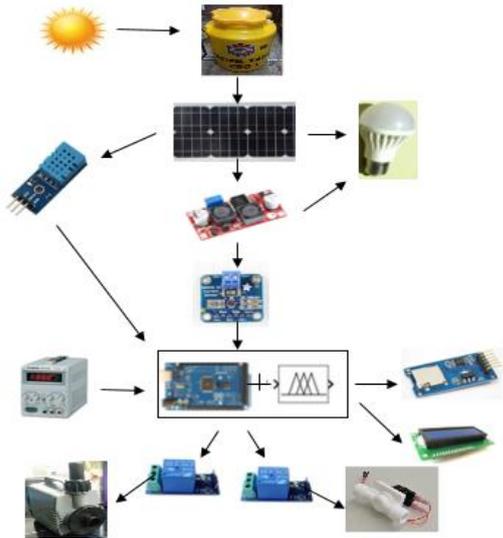
Desain Sistem

Secara garis besar sistem ini akan digambar dalam diagram blok yang tersusun alur kerja dari setiap komponen yang dirancang agar menjadi sistem secara keseluruhan. Dengan pendingin yang disertai sistem kontrol, air dikontrol menggunakan pompa air yang dikendalikan oleh arduino atmega 2560. Blok diagram Sistem pendingin menggunakan air dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini :



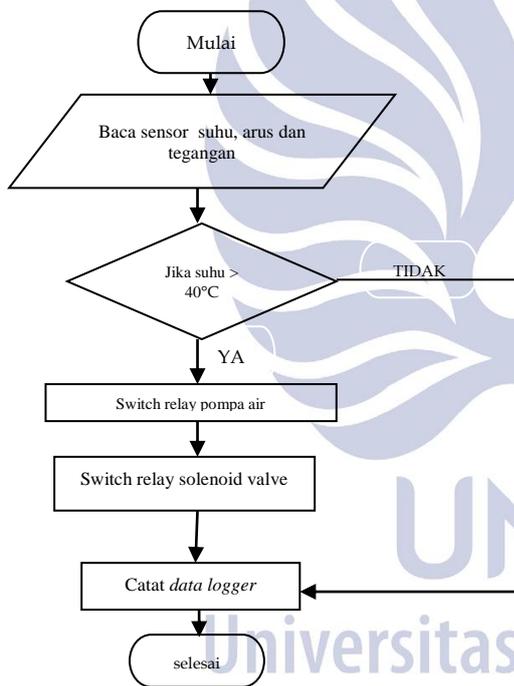
Gambar 4. Blok Diagram Sistem
(Sumber : Data Primer, 2018)

Dalam sistem pendinginan modul PV ini, tandon polimer digunakan sebagai *reservoir*. Pompa air digunakan untuk mengalirkan air pendingin dari *reservoir* untuk mendinginkan permukaan atas modul PV. Lampu 12 volt DC digunakan sebagai beban modul *photovoltaic*. Sedangkan modul *buck boost converter* digunakan untuk menstabilkan tegangan *output* dari modul *photovoltaic* yang selanjutnya akan dibaca oleh arduino mega 2560. Kontroler fuzzy akan memproses *input* yaitu berupa temperatur untuk menentukan *output* nilai derajat yang akan dikirimkan pada arduino mega 2560. *Shield SD card* digunakan sebagai pencatat data (*data logger*) temperatur, arus, dan tegangan. Arduino juga digunakan untuk mengontrol jalannya kontrol proses pendinginan ketika batas temperatur maksimum tercapai. Selain itu arduino digunakan untuk mengendalikan *solenoid valve* dan pompa air secara otomatis. *Solenoid valve* digunakan untuk mengendalikan laju pembuangan genangan pada permukaan atas modul PV yang dikontrol secara otomatis. Arduino mendapatkan *supply* tambahan dari DC *power supply* 12 volt untuk mengaktifkan *solenoid valve*. Diagram blok *hardware* pada modul *photovoltaic* ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini :



Gambar 6. Diagram Blok Hardware (Sumber : Data Primer, 2018)

Rancang Bangun Software



Gambar 6. Flowchart Sistem Pendingin Air (Sumber : Data Primer, 2018)

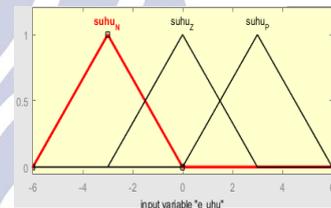
Gambar 6 menunjukkan *Flowchart* sistem pendingin air. Pada perancangan *flowchart* sistem pendingin PV berbasis genangan air pendingin dengan sistem kontrol. Dilengkapi dengan kontrol berbasis arduino, sensor DHT11, sensor INA219, pencatat data (*data logger*). Kontrol juga menggunakan kendali fuzzy pada arduino. Kontrol pada sistem pendingin dirancang agar dapat menjaga temperatur permukaan PV agar tidak lebih dari 40 °C. Jika temperatur melebihi 40 °C maka arduino akan mengontrol pompa agar air dapat menyiram permukaan

panel surya. Serta *solenoid valve* akan mengendalikan laju pembuangan air secara otomatis. Tetapi jika sebaliknya maka data suhu, arus, dan tegangan akan langsung tersimpan di *data logger*. Selanjutnya mengecek temperatur kembali, jika ya maka pompa air akan mengendalikan laju penyiraman modul *photovoltaic*. Setelah itu hasilnya akan tercatat pada *data logger*.

Langkah-langkah dalam Perancangan Kendali Fuzzy

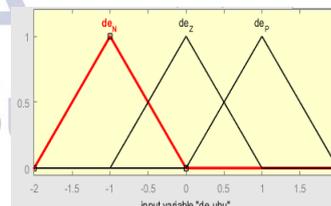
Tahapan dalam menentukan perancangan kendali fuzzy dalam pembuatan sistem pendinginan menggunakan air adalah sebagai berikut.

1. Menentukan variabel *input* dan *output*. Variabel *input* dalam *controller* ini adalah *error* dan *delta error*. Sedangkan *output* dari logika fuzzy adalah aktuator 1 dan aktuator 2.
2. Menentukan *membership function* dengan fungsi keanggotaan dari setiap variabel yang telah ditentukan.



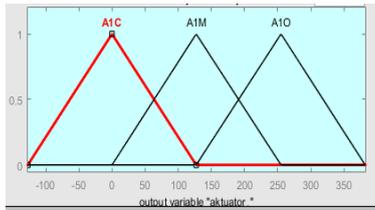
Gambar 7. Membership Function Error Suhu (Sumber : Data Primer, 2018)

Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan *membership function* dari *error* suhu dan *delta error* suhu. Dimana keanggotaan input *error* suhu yaitu suhu rendah (*suhu_N*), suhu normal (*suhu_Z*), dan suhu tinggi (*suhu_P*). Sedangkan keanggotaan input *delta error* suhu yaitu suhu rendah (*de_N*), suhu normal (*de_N*), dan suhu tinggi (*de_P*).

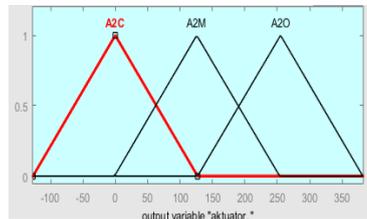


Gambar 8. Membership Function Delta Error Suhu (Sumber : Data Primer, 2018)

Fungsi keanggotaan dari *output* aktuator 1 dan aktuator 2 ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Dimana keanggotaan dari *output* aktuator 1 yaitu aktuator 1 *close* (A1C), aktuator 1 *middle* (A1M), dan aktuator 1 *open* (A1O). Sedangkan keanggotaan dari *output* aktuator 2 yaitu aktuator 2 *close* (A2C), aktuator 2 *middle* (A2M), dan aktuator 2 *open* (A2O).



Gambar 9. *Membership Function* Aktuator 1 (Sumber : Data Primer, 2018)



Gambar 10. *Membership Function* Aktuator 2 (Sumber : Data Primer, 2018)

- Menentukan *rule base* kendali fuzzy yaitu dengan mengolah data input berupa suhu yang diterima modul *photovoltaic* dan menghasilkan output berupa aktuator 1 dan aktuator 2. Dalam penelitian ini terdapat 9 *rule base* yang akan digunakan untuk kendali suhu dan aktuator seperti Tabel 1. di bawah ini :

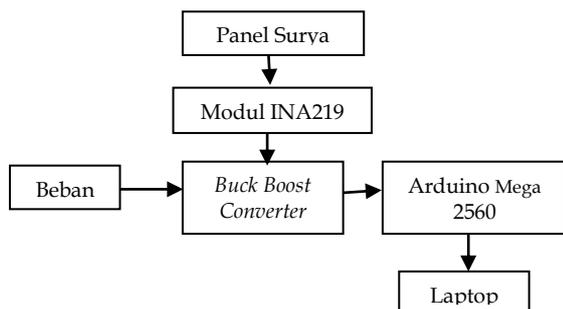
Tabel 1. Hasil Pengujian Modul *Photovoltaic* tanpa Sistem Pendingin (Sumber : Data Primer, 2018)

e / de	Suhu N	Suhu Z	Suhu P
De_N	A1C/A2O	A1C/A2O	A1M/A2M
De_Z	A1C/A2O	A1M/A2M	A1O/A2C
De_P	A1M/A2M	A1O/A2C	A1O/A2C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Modul INA219

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan antara nilai yang dibaca oleh modul INA219 dengan alat ukur multimeter untuk mengetahui nilai tegangan dan arusnya. Diagram blok pengujian dapat dilihat pada Gambar 11:



Gambar 11. Diagram Blok Pengujian Modul INA219 (Sumber : Data Primer, 2018)

SD Card Memory

Pada pengujian modul *SD card* data didapat dari dua sensor yaitu sensor DHT11 dan modul INA219. Data yang didapatkan disimpan ke dalam memori *SD card*. Hasil pengujian pembacaan dan penulisan ke dalam memori *SD card* ditunjukkan pada Gambar 12:

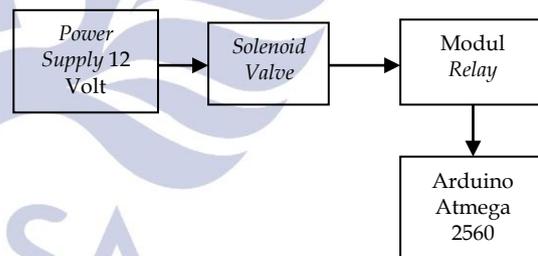
```

LOGCOBA - Notepad
File Edit Format View Help
temperature = 38.00 C
Tegangan = 17.03 V
Arus = 183.52 mA
temperature = 38.00 C
Tegangan = 16.58 V
Arus = 186.80 mA
    
```

Gambar 12. Hasil Pengujian Modul *SD Card* (Sumber : Data Primer, 2018)

Solenoid Valve

Pengujian *solenoid valve* menggunakan pengujian langsung pada alat secara lengkap dengan tambahan komponen *relay* dan *power supply* dikarenakan mikrokontroler yang digunakan *maximum* hanya 5 Volt. Diagram blok dapat dilihat pada Gambar 13. *Solenoid valve* ini bekerja pada keadaan *on* saat temperature mengalami penurunan dan ditandai adanya notifikasi dari modul *relay*. Kondisi *off* saat temperature mengalami kenaikan dan modul *relay* akan memberikan notifikasi pada sistem.



Gambar 13. Diagram Blok Pengujian *Solenoid Valve* (Sumber : Data Primer, 2018)

Hasil Pengujian Sistem pada Modul *Photovoltaic* tanpa Sistem Pendingin

Pengujian sistem pada modul *photovoltaic* tanpa menggunakan pendingin diuji dengan cara mengukur intensitas radiasi matahari, tegangan, arus, dan temperature dengan sudut kemiringan 10° dengan menggunakan beban lampu 3 watt. Pengujian dilakukan pada tanggal 4 September 2018, pukul 09.00 hingga pukul 15.00 WIB dengan kondisi cerah. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sistem pada modul *photovoltaic* tanpa sistem pendingin.

Tabel 2. Hasil Pengujian Modul *Photovoltaic* tanpa Sistem Pendingin
(Sumber : Data Primer, 2018)

No.	Waktu	E (W/m ²)	T (°C)	I _{out} (A)	V _{out} (V)	P _{out} (W)	η (%)
1.	09.00	500	34	0.165	17.02	2.80	1.41
2.	09.30	500	35	0.165	17.08	2.81	1.41
3.	10.00	550	36	0.176	17.23	3.03	1.53
4.	10.30	550	38	0.176	17.62	3.10	1.56
5.	11.00	600	40	0.177	17.63	3.12	1.57
6.	11.30	750	41	0.184	18.12	3.34	1.20
7.	12.00	900	42	0.177	17.78	3.14	0.99
8.	12.30	800	39	0.190	17.63	3.25	1.17
9.	13.00	750	38	0.177	17.73	3.13	1.12
10.	13.30	550	37	0.180	17.62	2.93	1.50
11.	14.00	500	35	0.178	17.43	3.06	1.54
12.	14.30	500	34	0.165	17.08	2.81	1.39
13.	15.00	480	32	0.162	16.61	2.69	1.41
Rata-Rata						3.01	1.36

Hasil Pengujian Sistem Modul *Photovoltaic* dengan Kontrol Pendingin Air

Pengujian sistem pendingin modul *photovoltaic* dengan sudut kemiringan 10° dengan menggunakan beban lampu 3 watt. Pengujian dilakukan pada tanggal 5 September 2018, pukul 09.00 hingga pukul 15.00 WIB dengan kondisi cuaca cerah. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian sistem.

Tabel 3. Hasil Pengujian Modul *Photovoltaic* dengan Sistem Pendingin
(Sumber : Data Primer, 2018)

No.	Waktu	E (W/m ²)	T (°C)	I _{out} (A)	V _{out} (V)	P _{out} (W)	η (%)
1.	09.00	500	38	0.180	17.08	3.07	1.55
2.	09.30	500	38	0.181	17.20	3.11	1.57
3.	10.00	500	39	0.189	17.27	3.26	1.64
4.	10.30	500	39	0.190	17.69	3.36	1.69
5.	11.00	500	42	0.177	17.80	3.15	1.59
6.	11.30	700	41	0.193	18.36	3.45	1.27
7.	12.00	900	40	0.184	18.80	3.54	1.08
8.	12.30	700	39	0.183	17.65	3.34	1.20
9.	13.00	700	38	0.176	17.80	3.27	1.17
10.	13.30	500	37	0.165	17.78	3.20	1.61
11.	14.00	500	35	0.177	17.78	3.14	1.59
12.	14.30	500	34	0.177	17.63	3.12	1.57
13.	15.00	480	33	0.176	17.23	3.03	1.53
Rata-rata						3.26	1.46

Dengan melihat perbandingan rata-rata daya keluaran dan efisiensi elektrik Tabel 2 dan Tabel 3 dapat dihitung nilai peningkatan modul *photovoltaic* dengan dan tanpa pendingin yaitu

$$a. P = \frac{3.26 \text{ watt} - 3.01 \text{ watt}}{3.01 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$P = \frac{0.25 \text{ watt}}{3.01 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$P = 8.30 \%$$

$$b. \eta = \frac{1.46 - 1.36}{1.36} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0.10}{1.36} \times 100\%$$

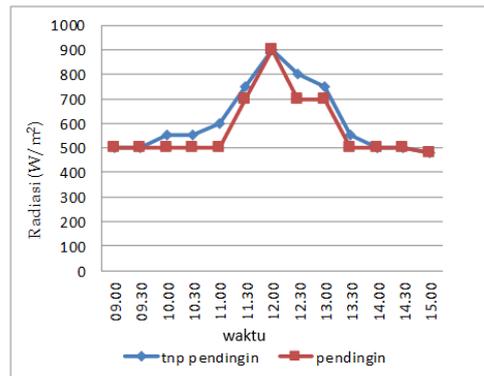
$$\eta = 7.30 \%$$

Analisa Pengujian Modul *Photovoltaic* dengan dan tanpa Sistem Pendingin

Hasil analisis pengujian modul *photovoltaic* dengan dan tanpa sistem pendingin dapat dideskripsikan berikut ini :

Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima Modul *Photovoltaic*

Besarnya intensitas radiasi matahari yang diterima pada modul *photovoltaic* dengan dan tanpa sistem pendingin ditunjukkan pada Gambar 14. Besar nilai rata-rata radiasi matahari yang diterima pada modul *photovoltaic* tanpa pendingin yaitu 650 W/m². Nilai puncaknya berada pada pukul 12.00 WIB yaitu 850 W/m². Sedangkan nilai puncak intensitas radiasi matahari pada modul *photovoltaic* dengan menggunakan pendingin pada pukul 12.00 WIB kurang lebih sama, sekitar 900 W/m². Cuaca pada saat pengujian rata-rata dalam kondisi cerah dan berawan.

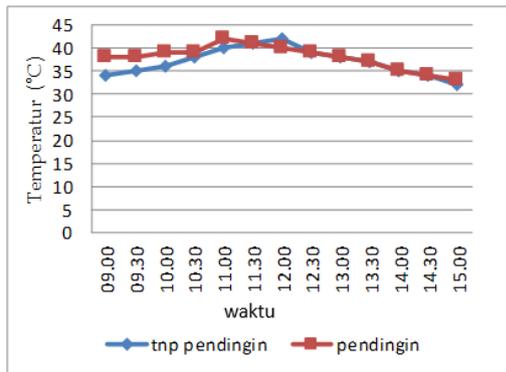


Gambar 14. Grafik Intensitas Radiasi Matahari Modul *Photovoltaic* terhadap Waktu
(Sumber : Data Primer, 2018)

Pengaruh Pendinginan terhadap Temperatur

Nilai temperatur permukaan *photovoltaic* dengan pendingin ditunjukkan pada Gambar 15. Temperatur modul *photovoltaic* rata-rata penggunaan sistem pendingin menggunakan air sedikit mengalami penurunan walaupun temperatur modul *photovoltaic* mengalami peningkatan saat sistem pendingin tidak aktif. Akan tetapi peningkatan tersebut diimbangi dengan penurunan temperatur saat sistem pendingin

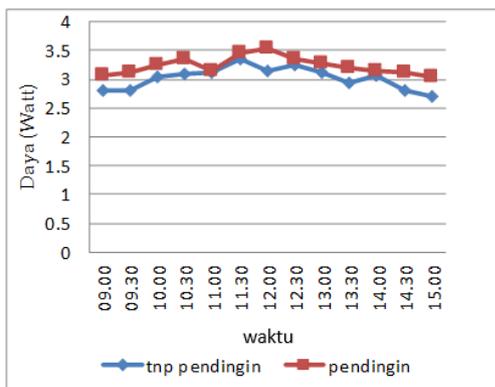
aktif ketika *set point* maksimum temperatur tercapai yaitu 40 °C. Penurunan temperatur permukaan air modul *photovoltaic* tidak terlalu dipengaruhi oleh ketebalan genangan air pendingin, dikarenakan penggantian air yang terus dilakukan jika temperatur sudah mengalami penurunan.



Gambar 17. Grafik Temperatur terhadap Waktu (Sumber : Data Primer, 2018)

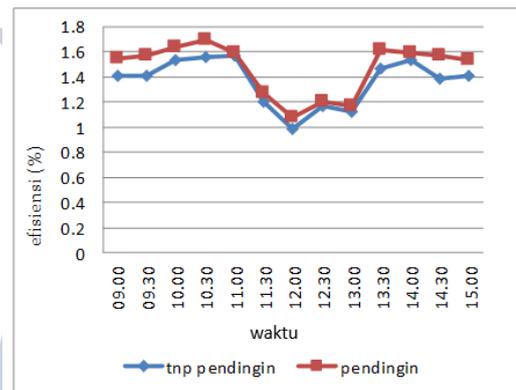
Analisis Pengaruh Daya Keluaran dan Efisiensi terhadap Waktu

Dengan sistem pendinginan menggunakan air, hasil pengujian pada permukaan atas modul *photovoltaic* dapat meningkatkan daya keluaran. Di mana ketika tanpa menggunakan sistem pendingin daya keluaran maksimum hanya mencapai 18.12 watt pada pukul 11.30 WB. Sedangkan dengan menggunakan pendingin, daya maksimum yang dapat dihasilkan PV mencapai 18.80 watt pada pukul 12.00 WIB. Rata-rata daya keluaran modul *photovoltaic* tanpa sistem pendingin yaitu sebesar 3.01 watt. Sedangkan rata-rata daya keluaran modul *photovoltaic* dengan sistem pendingin yaitu 3.26 watt. Dengan demikian rata-rata peningkatan daya keluaran modul *photovoltaic* yaitu sebesar 0.25 watt (8.30 %). Gambar 16 menunjukkan hasil pengujian daya keluaran modul *photovoltaic*.



Gambar 16. Grafik Daya Keluaran Modul *Photovoltaic* terhadap Waktu (Sumber : Data Primer, 2018)

Efisiensi elektrik pada modul *photovoltaic* dengan dan tanpa sistem pendingin dapat dilihat pada Gambar 17. Dapat dilihat bahwa tanpa pendingin air mempunyai efisiensi elektrik tertinggi yaitu sebesar 1.57 %. Sedangkan efisiensi elektrik dengan sistem pendingin mencapai 1,69 %. Peningkatan dari sistem pendingin menggunakan air maupun tanpa pendingin mempunyai rata-rata sebesar 7,30 %. Dengan melihat nilai rata-rata efisiensi elektrik yang didapatkan dari kedua sistem tersebut, dapat diketahui bahwa seluruh sistem pendinginan menggunakan air mengalami peningkatan efisiensi elektrik dibandingkan *photovoltaic* tanpa sistem pendingin.



Gambar 17. Grafik Efisiensi terhadap Waktu (Sumber : Data Primer, 2018)

Proses pembuangan air berpengaruh pada efisiensi elektrik sistem pendinginan ini. Semakin lama air yang terkuras dari atas modul maka akan semakin penuh air yang berada diatas permukaan modul *photovoltaic*. Proses pengisian ini sangat berpengaruh pada foton yang diterima *photovoltaic* karena pengaruh riak air yang berpotensi menghalangi atau memantulkan cahaya matahari sehingga intensitas cahaya matahari yang diterima *photovoltaic* berkurang, sehingga cenderung menurunkan arus keluaran *photovoltaic*.

Hubungan Temperatur Permukaan dan Efisiensi Elektrik

Telah diketahui bahwa besar temperatur permukaan *photovoltaic* dipengaruhi oleh perpindahan panas yang terjadi akibat proses pendinginan yang digunakan. Modul *photovoltaic* memiliki karakteristik yaitu performanya bergantung pada temperatur permukaan *photovoltaic*. Nilai peningkatan efisiensi elektrik dipengaruhi oleh nilai temperatur *photovoltaic* dan intensitas cahaya matahari yang dapat dilewatkan ke permukaan *photovoltaic*.

Berdasarkan Gambar 15 dan Gambar 17, dapat dijelaskan hubungan temperatur permukaan dengan efisiensi elektrik *photovoltaic* terhadap waktu. Penggunaan pendingin juga harus mempertimbangkan

jumlah cahaya yang dilewatkan dengan temperatur yang rendah. Sedangkan saat temperatur telah turun, maka daya keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dikarenakan selain tegangan dan arus yang meningkat, tetapi dikarenakan tidak ada penghalang di atas *photovoltaic*. Kenaikan temperatur permukaan *photovoltaic* yang berada di bawah 40 °C tidak mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan. Hal ini sesuai pada Gambar 15 dan Gambar 17, dimana temperatur 40 °C merupakan batas temperatur maksimum *photovoltaic* tanpa mengalami penurunan efisiensi elektrik. Pada kondisi di bawah 40 °C merupakan batas standart dimana modul *photovoltaic* mulai bergantung pada temperatur, kenaikan efisiensi elektrik lebih dipengaruhi oleh besarnya intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan *photovoltaic*. Kenaikan temperatur yang memiliki nilai dibawah 40 °C tidak mempengaruhi efisiensi elektrik secara signifikan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa sistem pendinginan menggunakan air dapat disimpulkan bahwa sistem pendinginan menggunakan air menghasilkan daya keluaran tertinggi yaitu 3.54 Watt pada pukul 12.00 WIB. Rata-rata peningkatan daya keluaran modul *photovoltaic* dengan maupun tanpa sistem pendingin yaitu sebesar 8.30 % (Tabel 1 dan Tabel 2). Peningkatan sistem pendingin menggunakan air menghasilkan nilai efisiensi elektrik rata-rata yaitu 7.30 % (Tabel 1 dan Tabel 2). Kenaikan temperatur diatas 40 °C yang diterima modul PV akan mempengaruhi tingkat efisiensi elektrik modul PV (Gambar 15 dan Gambar 17).

Saran

Peneliti merasa masih adanya kekurangan dalam penelitian sistem pendinginan *photovoltaic* ini. Agar dapat mencapai hasil yang lebih baik, maka perlu diperhatikan jarak pipa inlet terhadap permukaan atas *photovoltaic* untuk menghindari *shading* pada permukaan atas *photovoltaic*. Proses pencatatan data intensitas radiasi matahari harus dicatat dengan frekuensi lebih sering pada posisi yang tetap.

DAFTAR PUSTAKA

- Akarслан, Feyza. 2012. *Modelling and Optimization of Renewable Energy System*. In Tech, 2012, 110-120.
- Isyanto Haris, Budiyanto, Fadlioni. 2017. *Pendingin untuk Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.

- Karithinga .2017. *Datasheet* Arduino Mega 2560. <http://digilib.itelkom.ac.id> (di akses 25 April 2018)
- Moharram, K.A. 2013. *Enhancing The Performance Of Photovoltaic Panels By Water Cooling*. Ain Shams Engineering Journal: 869-877.
- Reznik, 2012. *Pemodelan Dasar Sistem Fuzzy*. Universitas Sinus: 50-65.
- Tiwari, Swapnil Dubey. 2011. *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Application..* Centre for Energy Studies : Indian Institut of Technology (IIT), 89-100.
- Warsito Adhi, Erwin Adriono. 2013. *Dipo PV Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan pada Panel Surya (Photovoltaic) sebagai Peningkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan* . Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.