

Rancang Bangun Sistem Pompa Air Tenaga Surya Skala Rumah Tangga menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan Metode Algoritma *Perturb and Observe* untuk Memaksimalkan Daya

Ilham Cahyo Wibowo Aji

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : ilham.17050874062@mhs.unesa.ac.id

Subuh Isnur Haryudo, Unit Three Kartini, Mahendra Widyartono

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : subuhisnur@unesa.ac.id , unitthree@unesa.ac.id , mahendrawidyartono@unesa.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang memiliki potensi sumber energi matahari yang melimpah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan menggunakan panel surya. Setiap manusia memanfaatkan air untuk keberlangsungan hidupnya sehingga hampir semua rumah menggunakan pompa air untuk menghisap air dari dalam tanah atau tandon bawah menuju ke bak penampungan air. Ketika sumber listrik dari PLN mengalami *blackout* maka pompa air tidak dapat digunakan, sehingga dibutuhkan energi alternatif yaitu energi matahari sebagai pembangkit tenaga surya. Energi matahari yang tidak menentu menyebabkan efektivitas panel surya berkurang. MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum akibat dari perubahan cuaca cerah dan cuaca mendung sehingga titik daya maksimum panel surya berubah sesuai dengan kondisi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang bangun sistem pompa air tenaga surya agar pompa air dapat digunakan setiap saat serta menggunakan MPPT untuk menekan panel surya bekerja pada titik daya maksimumnya. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan data pengujian alat. Tegangan dan arus keluaran panel surya dipengaruhi oleh perubahan cuaca dengan tegangan tertinggi 18.93 V dan arus tertinggi 1.47 pada pukul 12.00 WIB, serta tegangan terendah 11.50 V dan arus terendah 0.1 A pada pukul 17.00 WIB. Algoritma *perturb and observe* pada *buck-boost converter* berhasil menjejak dan mempertahankan daya tertinggi dengan daya output terbesar 25.34 W pada pukul 12.00 WIB dan daya output terkecil sebesar 1.68 W pada pukul 06.00 WIB dengan efisiensi rata-rata sebesar 79.11 %. Proses *charging* aki membutuhkan waktu 10 jam (06.00-17.00) dengan tegangan keluaran *charging* rata-rata sebesar 13.88 V dan arus rata-rata sebesar 1.31 A. Baterai dapat mensupply energi dengan beban berupa pompa air. Pompa air dan inverter dapat bekerja dengan baik dengan efisiensi inverter rata-rata sebesar 75.55 %.

Kata Kunci: Buck Boost Converter, MPPT, Panel Surya, Perturb and Observe, Pompa Air

Abstract

Indonesia is a tropical country that has abundant potential sources of solar energy so that it can be used as New Renewable Energy (EBT) by using solar panels. Every human being uses water for their survival, so almost all houses use water pumps to suck water from the ground or lower reservoirs to the water reservoir. When the electricity source from PLN experiences a blackout, the water pump cannot be used, so alternative energy is needed, namely solar energy as a solar power generator. The erratic solar energy causes the effectiveness of solar panels to decrease. MPPT is used to find the maximum power point due to changes in sunny weather and cloudy weather so that the maximum power point of the solar panel changes according to conditions. Therefore, this research was conducted to design a solar water pump system so that the water pump can be used at any time and use MPPT to suppress the solar panels to work at their maximum power point. The method used in this study uses quantitative methods with tool testing data. The output voltage and current of the solar panels are influenced by changes in weather with the highest voltage of 18.93 V and the highest current of 1.47 at 12.00 WIB, the lowest voltage at 11.50 V and the lowest current 0.1 A at 17.00 WIB. The perturb and observe algorithm on the buck-boost converter managed to track and maintain the highest power with the largest output power of 25.34 W at 12.00 WIB and the smallest output power of 1.68 W at 06.00 WIB with an average efficiency of 79.11%. The battery charging process takes 10 hours (06.00-17.00) with an average charging output voltage of 13.88 V and an average current of 1.31 A. The battery can supply energy with a load in the form of a water pump. Water pumps and inverters can work well with an average inverter efficiency of 75.55%.

Keywords: Buck Boost Converter, MPPT, Solar Panel, Perturb and Observe, Water Pump

PENDAHULUAN

Energi matahari adalah salah satu energi yang luar biasa karena tidak berbahaya bagi lingkungan, gratis dan berlimpah meskipun tidak dapat diandalkan secara terus menerus, misalnya pada saat musim hujan. Panel surya dengan kemajuan teknologi menjadi sangat umum. Panel surya adalah panel yang mampu untuk merubah dari sumber energi matahari menjadi energi listrik. Indonesia sebagai negara tropis dengan tingkat radiasi matahari yang sangat tinggi, sehingga memiliki potensi besar untuk menggunakan sel surya sebagai energi terbarukan, negara Indonesia memiliki potensi sumber energi panas matahari yang sangat besar dengan nilai 207.898 MW atau setara dengan 4,80 kWh/m²/hari) (Humas EBTKE, 2019). Pemerintah terus memaksimalkan pemanfaatan energi berbasis matahari secara besar-besaran. Hingga semester 1 pada tahun 2020, besarnya kapasitas pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya atap yang terpasang kurang lebih sekitar 11,5 MW dari jumlah total 2.346 pelanggan PLN. Pemerintah berfokus pada porsi bauran energi baru terbarukan agar mencapai 23 % pada tahun 2025 (Humas EBTKE, 2020).

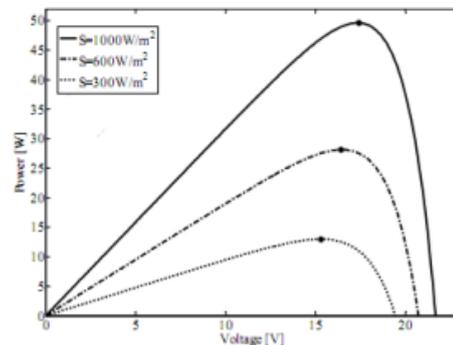
Air merupakan senyawa yang penting bagi keberlangsungan kehidupan makhluk hidup terutama manusia. Setiap saat manusia selalu membutuhkan air. Air menjadi kebutuhan dasar dari manusia, baik untuk keperluan hidup seperti mandi, mencuci tangan, mencuci pakaian, dan lain-lain. Maka dari itu setiap rumah memanfaatkan mesin pompa air untuk menghisap air dari dalam tanah atau tandon bawah yang dialirkan menuju ke tandon atas atau langsung menuju ke bak penampungan air di kamar mandi menggunakan pipa (Arifin et al., 2020). Namun terkadang ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan manusia sering terhambat, karena adanya beberapa kendala yang biasanya sering terjadi dilapangan misal ketika listrik padam maka pompa air tidak berfungsi karena tidak adanya supply tegangan yang mengalir untuk menggerakkan pompa air. Sehingga menyebabkan terhambatnya aktivitas manusia yang membutuhkan air untuk keberlangsungan hidupnya.

Masalah yang sering terjadi pada penggunaan panel surya adalah daya yang dihasilkan tidak maksimal dari daya yang seharusnya dihasilkan oleh panel surya yang biasanya terjadi pada saat kondisi iradiasi matahari yang sangat rendah. Iradiasi matahari yang akan ditangkap oleh panel surya bergantung pada faktor posisi jatuhnya sinar dan cuaca matahari terhadap panel surya, sehingga agar dapat menggunakan energi panel surya pada malam hari dibutuhkan suatu media untuk penyimpanan energi matahari. Media penyimpanan yang digunakan agar pada malam hari masih dapat menggunakan panel surya adalah *accu* (Salam & Haryudo, 2017) .

Penelitian ini akan membahas tentang proses rancang bangun sistem pompa air tenaga surya menggunakan *maximum power point tracking* (MPPT) dengan metode algoritma *Perturb and Observe* untuk memaksimalkan daya serta efisiensi sel surya sehingga dapat memaksimalkan kinerjanya. Pada penelitian ini menggunakan MPPT dengan *buck-boost converter* agar panel surya dapat bekerja pada titik daya maksimumnya sehingga dapat menghasilkan daya secara optimal.

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan suatu sistem untuk mengontrol serta menjaga agar keluaran daya dari panel surya tetap maksimal akibat dari beberapa faktor yang mempengaruhi panel surya dalam beroperasi misalnya iradiasi pada matahari yang sangat berpengaruh pada titik kerja arus yang dihasilkan, serta suhu pada panel surya yang akan berpengaruh pada nilai tegangan, dan lain sebagainya (Hasan, 2017).



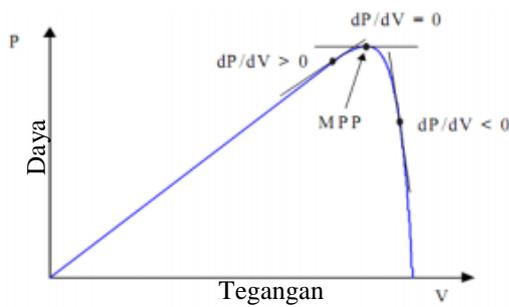
Gambar 1. Kurva P-V untuk iradiasi yang berbeda.

(Widodo et al., 2009).

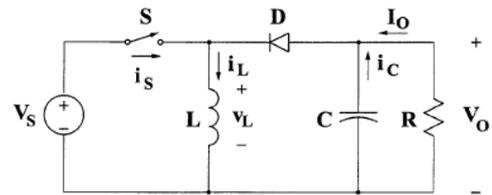
Algoritma Perturb and Observe (P&O)

Pada penelitian ini menggunakan algoritma P&O karena dapat menghasilkan daya yang lebih tinggi dari pada menggunakan metode IC (Fadriantama, 2018). Serta komputasi yang mudah dan cepat merupakan kelebihan dari algoritma P&O (Widodo et al., 2009).

Cara kerja dari algoritma ini dapat dijelaskan pada Gambar 2. Ada tiga jenis titik yang terletak pada tiga kondisi yaitu puncak sisi kiri $\Delta P/\Delta V > 0$, puncak kurva $\Delta P/\Delta V = 0$, dan puncak sisi kanan $\Delta P/\Delta V < 0$. Puncak sisi kiri MPP perubahan daya terhadap perubahan tegangan $\Delta P/\Delta V > 0$, dan puncak sisi kanan $\Delta P/\Delta V < 0$. Ketika tegangan keluaran panel surya diganggu atau *perturb* dan berada pada $\Delta P/\Delta V > 0$, hal tersebut diketahui bahwa proses pengganggu atau *perturbation* dilakukan agar tegangan panel surya berpindah menjadi maju menuju MPP, maka algoritma pada P&O membalik arah pengganggu (Dalimunthe & Kurniawan, 2019).



Gambar 2. dP/dV pada kurva daya panel surya dengan posisi yang berbeda (Widodo et al., 2009).



Gambar 3. Rangkaian *Buck-Boost Converter* (Rashid, 2001)

Buck-Boost Converter

Buck-boost Converter merupakan suatu rangkaian *converter* DC to DC yang dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari pada tegangan sumbernya (Rashid, 2001). Pada penelitian ini menggunakan *buck-boost converter* karena tegangan yang dihasilkan oleh panel surya berubah sesuai dengan perubahan iradiasi matahari, sehingga tegangan yang dihasilkan panel surya dapat dinaikan ketika iradiasi matahari rendah dan dapat diturunkan ketika iradiasi matahari besar.

Rangkaian *buck-boost converter* dapat beroperasi pada tiga mode. Pada saat input tegangan lebih kecil dari tegangan output yang diharapkan, maka rangkaian akan beroperasi menjadi *boost*. Ketika input tegangan lebih besar dari tegangan output yang diharapkan, maka rangkaian akan beroperasi menjadi *buck*. Ketika input tegangan telah stabil mendekati tegangan output yang diharapkan, maka rangkaian akan beroperasi sebagai *buck-boost* (Kusumaningrum, 2016).

$$V_{out} = -V_{in} \frac{D}{(1-D)} \quad (1)$$

Keterangan :

- V_{out} = Tegangan Keluaran (Volt)
- V_{in} = Tegangan Masukkan (Volt)
- D = Duty Cycle

Dari persamaan diatas berlaku bahwa (Mochamad, 2010):

- a) Jika $D < 0.5$ maka beroperasi sebagai *mode buck converter*.
- b) Jika $D = 0.5$ maka $V_{in} = V_{out}$.
- c) Jika $D > 0.5$ maka beroperasi sebagai *mode boost converter*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yaitu penelitian yang pelaksanaannya mengedepankan angka sebagai tujuan utama dalam pengumpulan data maupun hasil akhir dari penelitian tersebut dan disajikan hasil dalam bentuk gambar, tabel, dan grafik (Hardani et al., 2020) .

Pada Gambar dibawah merupakan diagram alir (*flowchart*) desain sistem pompa air tenaga surya dan desain MPPT.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Perhitungan Energi Beban

Perhitungan energi beban (Wh) dilakukan dengan cara perkalian antara daya pada beban dalam satuan *Watt* dengan lama penggunaan beban dalam sehari dalam satuan *Hours*. Dilakukan pengambilan data lama penggunaan beban pompa air selama 1 hari dalam seminggu, di dapatkan hasil tertinggi penggunaan pompa air selama 2.8 jam perhari. Berikut persamaan mencari energi beban :

$$E_B = P \times t \tag{2}$$

Keterangan :

- E_B = Energi Beban (wh)
- P = Daya Beban (watt)
- t = Waktu Lama Penggunaan Beban (jam)

Perencanaan Panel Surya

Panel surya berfungsi untuk merubah dari energi matahari menjadi energi listrik. Besarnya nilai iradiasi pada matahari berbanding lurus dengan besarnya energi yang dihasilkan, sehingga akan berpengaruh terhadap besarnya energi yang dapat dikonversi (Arifin et al., 2020). Untuk mensupply mesin pompa air AC melalui aki, maka diperlukan perhitungan pada kapasitas panel surya sehingga cukup dalam penggunaannya.

$$E_T = E_B \times ev \tag{3}$$

Keterangan :

- E_T = Energi Total (wh)
- ev = Rugi dan Safety factor

Untuk sistem tenaga surya dengan daya kurang dari 1000 Watt, faktor sebesar 20% selalu ditambahkan ke perhitungan beban sebagai pengganti dari rugi-rugi sistem serta untuk faktor keamanan. Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi PLTS yang digunakan adalah 1.1 (Harmini & Nurhayati, 2018). Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah:

$$C_{panel\ surya} = \frac{E_T}{I_M} \times FP \tag{4}$$

Keterangan :

- $C_{panel\ surya}$ = Kapasitas Panel Surya (Wp)
- I_M = Insolasi Matahari (kWh/m²)
- FP = Faktor Penyesuaian

Menurut (Hermanu et al., 2017) rata-rata radiasi matahari di Indonesia sebesar 4.5 kWh/m². Sehingga pada penelitian ini menggunakan kapasitas 100 Wp dengan jenis *monocrystal*. Berikut merupakan spesifikasi panel surya yang digunakan.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Merk	Solana
Model	Monocrystalline
Tipe	SOL-M12100W
Daya Maksimum (Pmax)	100 Wp
Tegangan Optimum	18.1 V
Arus Optimum	5.62 A
Toleransi Daya (Pmax)	0-+3 %
Dimensi	1000 x 670 x 30 mm
Berat	8 Kg
Nilai Fuse Seri Maksimal	10 A
Tegangan Sistem Maksimal	600 VDC
NOTC	47°C



Gambar 5. Panel Surya Monocrystalline 100 Wp

Perancangan Buck-Boost Converter

Rangkaian *buck-boost* converter berfungsi untuk menstabilkan tegangan output dari panel surya ketika cuaca cerah atau mendung. Untuk pengisian baterai umumnya menggunakan tegangan sebesar 13.8 V sampai dengan 14 V (Susanti et al., 2019). Sehingga pada perancangan *buck-boost converter* pada penelitian ini tegangan output yang diharapkan mencapai 14 V.

Tabel 2. Spesifikasi *Buck-Boost Converter*

Spesifikasi	Nilai
V_{input} maksimal	18 V
V_{input} minimal	10 V
V_{output}	14 V
I_{output}	2 A
Frekuensi <i>Switching</i>	31372.55 Hz

Duty Cycle yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan keluaran 14 V dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \tag{5}$$

Untuk mencari nilai induktor minimum yang akan digunakan dengan persamaan berikut :

$$L_{min} = \frac{R(1-D)^2}{2 \times F_s} \quad (6)$$

Keterangan :

L_{min} = Nilai Minimum Induktor (H)

R = Nilai Resistor (Ω)

F_s = Frekuensi Switching (Hz)

Nilai induktor dibuat 25 % lebih besar dari pada nilai induktor minimumnya sehingga *buck boost converter* dapat bekerja pada *Continuous Current Mode* (Julianto & Rajagukguk, 2020). Sehingga menggunakan induktor dengan nilai 60 μ H. Untuk mencari nilai kapasitor minimum untuk mengurangi riak tegangan dari proses *switching* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$C_{min} = \frac{D}{F_s \times R} \times \frac{V_{out}}{V_{cpp}} \quad (7)$$

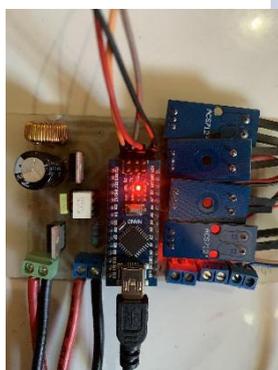
Keterangan :

C_{min} = Nilai Kapasitor Minimum (F)

V_{cpp} = *Ripple* Tegangan (volt)

Tabel 3. Komponen Rangkaian *Buck Boost Converter*

Komponen	Nilai
MOSFET	IRF 9540
Dioda	MUR 1560
Resistor	10 Ω
Induktor	60 μ H
Kapasitor	220 μ F/100 V



Gambar 6. PCB Rangkaian *Buck-Boost Converter*

Perencanaan Aki

Jumlah daya yang dibangkitkan oleh panel surya adalah 100 Wp dengan *deep of discharge* (DOD) pada aki sebesar 80% maka kapasitas aki 80 Wh (Djaufani et al., 2015). Penggunaan efektif baterai pada panel surya untuk menghasilkan daya yaitu pada jam 10.00 hingga 14.00

atau 5 jam/hari (Julianto & Rajagukguk, 2020). Maka daya perhari yang dapat dihasilkan adalah 80 Wh x 5 Jam = 400 Wh/hari. *Ampere Hour* (Ah) baterai yang dibutuhkan yaitu 400 Wh/12 V = 33,3 Ah. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan aki dengan jenis aki VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) 12 V 50 Ah. Tabel 4 merupakan tabel spesifikasi dari baterai yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 4. Spesifikasi Aki

Spesifikasi	Keterangan
Merk	Kijo
Kode	JM 12-50
Tegangan Nominal	12 V
Kapasitas	50 Ah
Design Life	10 Tahun
Terminal	M6



Gambar 7. Aki Kijo 12 V/50 Ah

Perencanaan Inverter

Inverter berfungsi untuk merubah arus searah atau DC menjadi arus bolak balik atau AC agar dapat digunakan pada beban berupa pompa air AC. Tegangan *Direct Current* yang dikonversi pada umumnya 12 V atau 24 V dengan tegangan *output Alternating Current* 220 V yang sama besar dengan tegangan pada PLN.

Ada ketentuan untuk menentukan nilai *inverter* yang akan digunakan untuk mensupply daya ke beban yaitu penambahan sekitar 20% sampai dengan 25% dari kapasitas daya beban (Hartono & Purwanto, 2020). Sehingga dalam penelitian ini menggunakan *inverter* dengan jenis bentuk gelombang sinus murni (*pure sine wave*). Berikut merupakan spesifikasi dari *inverter* dalam penelitian ini.

Tabel 5. Spesifikasi Inverter

Spesifikasi	Keterangan
Merk	Taffware
Tipe	Pure Sine Wave
Nomor Model	NBQ1000W

Lanjutan Tabel 5.

Spesifikasi	Keterangan
Daya Output	500 W
Tegangan Input	12 VDC
Tegangan Output	220 VAC



Gambar 8. Inverter Taffware 500 Watt

Perencanaan Pompa Air

Pada penelitian ini menggunakan pompa air AC sebagai beban. Pompa air AC pada sistem ini mendapatkan suplai tegangan dari inverter. Peneliti menggunakan pompa air Sanyo PH. Berikut ini merupakan spesifikasi dari pompa air yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 6. Spesifikasi Pompa Air AC

Spesifikasi	Keterangan
Model	Sanyo P-H130B
Daya Keluaran (Pout)	125 W
Arus Masukan (Iin)	1,4 A
Tegangan	220 V
Kapasitas Maksimum	30l/menit



Gambar 9. Pompa Air Sanyo 125 Watt

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berhasil merancang bangun sistem pompa air tenaga surya dengan menggunakan *maximum power point tracking* (MPPT) dengan metode algoritma *perturb and observe* untuk meningkatkan daya.



Gambar 10. Rancangan Keseluruhan

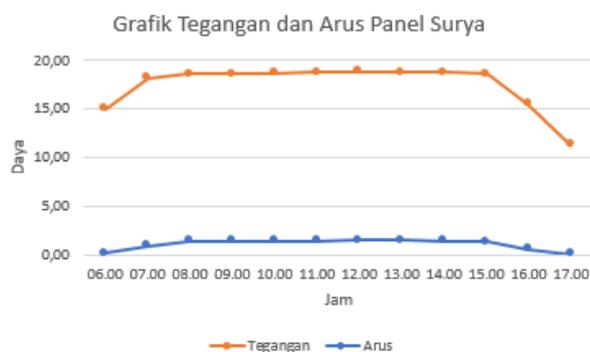
Gambar 10 merupakan rancangan sistem secara keseluruhan. Cara kerjanya dimulai dari panel surya yang menangkap sinar matahari menuju ke input dari MPPT, di dalam MPPT terjadi proses *tracking* untuk mencari dan mempertahankan daya tertinggi dari panel surya menggunakan algoritma *perturb and observe* dengan rangkaian *buck-boost converter*. Daya yang telah *tracking* oleh MPPT akan menuju ke aki untuk proses *charging*, selanjutnya dari aki akan terhubung ke inverter untuk merubah arus DC menjadi arus AC.

Pengujian Panel Surya

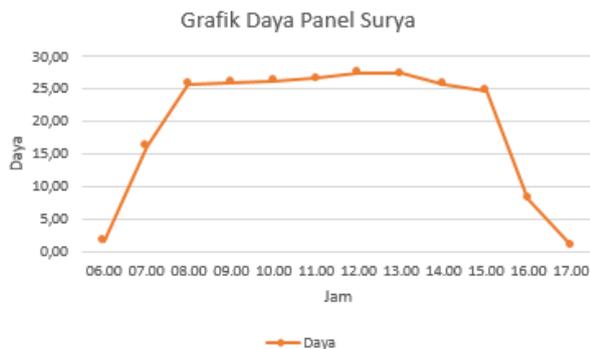
Pengujian panel surya dilakukan untuk mengetahui tegangan output panel surya tertinggi dan terendah. Untuk mengetahui tegangan tertinggi dan terendah panel surya dilakukan pengujian secara sederhana dengan memberikan beban berupa resistor sebesar 10 Ω 20 watt yang dilakukan 1 jam sekali dalam 7 hari dari pukul 06.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB. Untuk mengetahui hasil dari pengujian selama 7 hari maka penulis membuat nilai rata-rata yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Rata-Rata Pengujian Panel Surya

Jam	Cuaca	Tegangan	Arus	Daya
06.00	Cerah	15.01	0.11	1.63
07.00	Cerah	18.19	0.89	16.14
08.00	Cerah	18.65	1.38	25.78
09.00	Cerah	18.65	1.40	26.03
10.00	Cerah	18.68	1.40	26.23
11.00	Cerah	18.80	1.41	26.59
12.00	Cerah	18.87	1.46	27.53
13.00	Cerah	18.77	1.46	27.38
14.00	Cerah	18.77	1.37	25.74
15.00	Cerah	18.61	1.33	24.82
16.00	Cerah	15.50	0.52	8.13
17.00	Cerah	11.28	0.09	0.97



Gambar 11. Grafik Tegangan dan Arus Panel Surya



Gambar 12. Grafik Daya Panel Surya

Dari Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa pada saat cahaya matahari yang jatuh menuju ke panel surya maksimal tegangan rata-rata tertinggi mencapai 18,87 V dan arus rata-rata tertinggi mencapai 1,46 A pada pukul 12,00 WIB. Tegangan rata-rata terendah 11,28 V dan arus rata-rata terendah 0,09 A yang terjadi pada pukul 17,00 WIB. Pada Gambar 11 menjelaskan tegangan panel surya meningkat dari pukul 06,00 WIB sebesar 15,01 V menjadi 18,19 V pada pukul 07,00 WIB, lalu tegangan stabil di angka 18 V hingga pukul 15,00 WIB. Pada Gambar 12 dapat disimpulkan bahwa daya tertinggi rata-rata mencapai 27,53 W yang terjadi pada pukul 12,00 WIB dan daya terendah 0,97 W yang terjadi pada pukul 17,00 WIB. Tegangan dan arus keluaran panel surya berubah-ubah akibat dari perubahan kondisi nilai iradiansi matahari yang ditangkap oleh panel surya.

Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan menggunakan modul sensor tegangan DC yang dilakukan dengan cara pin Vin pada modul sensor tegangan DC terhubung ke pin 5 V pada Arduino dan pin Gnd pada modul sensor tegangan DC terhubung ke pin Gnd pada Arduino. Pengujian ini dilakukan dengan cara menyambungkan *input* modul sensor tegangan dengan power supply variabel sebagai sumber.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No.	Tegangan Multimeter	Tegangan Sensor	Error %
1	1.12	1.15	0.89
2	2.50	2.52	0.80
3	3.02	3.05	0.99
4	4.20	4.21	0.24
5	5.02	5.03	0.20
6	6.05	6.05	0
7	7.02	7.03	0.14
8	8.10	8.12	0.25
9	9.05	9.10	0.55
10	10.00	10.01	0.10

Berdasarkan Tabel 8 hasil pengujian sensor tegangan didapatkan nilai tegangan pada multimeter dengan tegangan sensor yang terukur hampir sama. Terdapat nilai rata-rata error sebesar 0,42 %.

Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus pada penelitian ini menggunakan sensor arus ACS 712 20 A yang terhubung ke Arduino sebagai pengendali. Pengujian sensor arus dilakukan dengan cara menghubungkan pin Vin pada modul sensor arus terhubung ke pin 5 V pada Arduino dan pin Gnd pada modul sensor arus terhubung ke pin Gnd pada Arduino. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur arus yang dihasilkan dengan sumber panel surya dengan cara menghubungkan kutub positif panel surya yang dipararelkan.

Tabel 9. Hasil Pengujian Sensor Arus

No.	Arus Multimeter	Arus Sensor	Error %
1	0.20	0.20	0
2	0.32	0.31	3.13
3	0.41	0.40	2.44
4	0.50	0.49	2.00
5	0.62	0.61	1.61
6	0.71	0.70	1.41
7	0.80	0.75	6.25
8	0.90	0.89	1.1
9	1.00	1.00	0
10	1.20	1.10	1.67

Berdasarkan Tabel 9 hasil pengujian sensor arus didapatkan nilai arus pada multimeter dengan sensor arus yang terukur memiliki nilai yang relatif sama. Terdapat nilai rata-rata error sebesar 1,96 %.

Pengujian Nilai Duty Cycle

Pengujian ini dilakukan agar mengetahui nilai perbandingan dari *duty cycle* pada pengukuran dengan hasil perhitungan yang dilakukan dengan cara menghubungkan sumber tegangan power supply menjadi tegangan sumber pada rangkaian *buck-boost converter*, kemudian dilakukan pemrograman pada arduino dengan perintah `analogRead()` untuk nilai *duty cycle* bervariasi dari 5–70. Hasil yang diharapkan pada tegangan keluaran sesuai dengan hasil pada perhitungan.

Tabel 10. Hasil Pengujian Nilai *Duty Cycle*

No.	Vin	Duty %	Vout Pengukuran	Vout Perhitungan	Mode
1		5	0.90	0.95	Buck
2		10	1.88	2.00	Buck
3		15	3.07	3.18	Buck
4		20	4.36	4.50	Buck
5		25	5.98	6.00	Buck
6		30	7.54	7.71	Buck
7		35	9.20	9.69	Buck
8	18	40	11.92	12.00	Buck
9		45	14.66	14.73	Buck
10		50	18.00	18.00	Buck-Boost
11		55	21.95	22.00	Boost
12		60	26.87	27.00	Boost
13		65	32.16	33.43	Boost
14		70	34.20	42.00	Boost

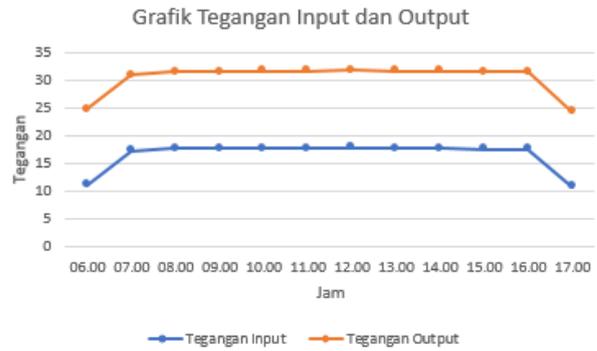
Berdasarkan Tabel 10 pengujian nilai *duty cycle* mampu menurunkan tegangan pada saat nilai $D < 0.5$ dan mampu menaikkan tegangan pada saat nilai $D > 0.5$. Hal ini membuktikan bahwa nilai *duty cycle* yang dihasilkan sudah sesuai dengan teori (Hart, 2011). Pada Gambar 13 menjelaskan bahwa nilai dari tegangan pengukuran berbanding lurus dengan nilai tegangan perhitungan.

Pengujian Rangkaian Buck-Boost Converter

Pengujian rangkaian *buck-boost converter* dilakukan untuk mengetahui kelayakan rangkaian *buck-boost converter* apakah dapat berfungsi dengan baik atau tidak, yang dilakukan dengan cara menggunakan sumber tegangan *input* dari panel surya. Pada perancangan rangkaian *buck-boost converter*, tegangan keluaran yang diharapkan sebesar 14 V yang sudah dilakukan set *point* dengan cara melakukan perhitungan-perhitungan untuk mendapatkan nilai komponen yang sesuai.

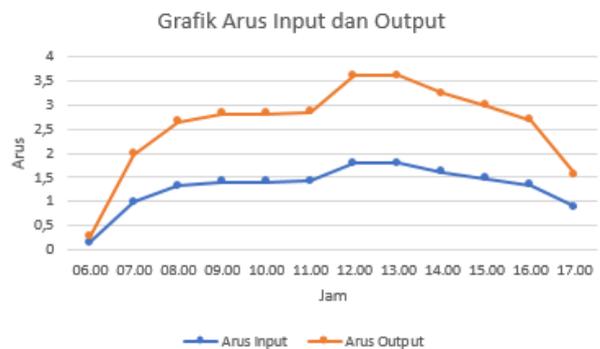
Tabel 11. Hasil Pengujian Rangkaian *Buck-Boost Converter*

Jam	Duty	Vin	Iin	Vout	Iout	Pin	Pout
06.00	54.88	11.21	0.15	13.67	0.12	1.68	1.64
07.00	44.31	17.30	0.98	13.80	0.99	16.95	13.66
08.00	43.71	17.7	1.32	13.83	1.33	23.46	18.39
09.00	43.80	17.80	1.40	13.83	1.41	24.92	19.57
10.00	43.78	17.81	1.40	13.91	1.41	24.93	19.63
11.00	43.75	17.88	1.42	13.94	1.43	25.39	19.93
12.00	43.87	17.90	1.80	13.97	1.81	32.22	25.34
13.00	43.95	17.80	1.79	14.00	1.81	31.86	25.30
14.00	43.90	17.80	1.61	13.98	1.62	28.66	22.63
15.00	44.15	17.61	1.48	13.95	1.50	26.06	20.93
16.00	43.98	14.21	1.34	13.92	1.35	19.04	18.79
17.00	55.62	10.86	0.88	13.70	0.68	9.56	9.26



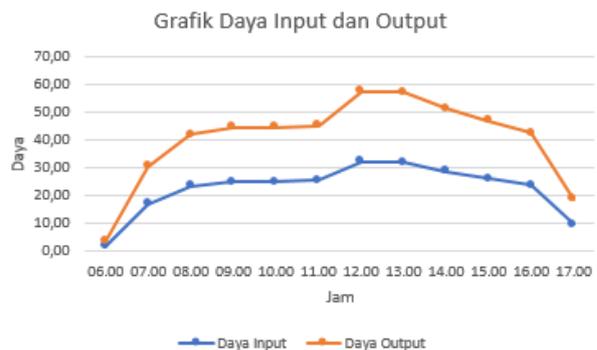
Gambar 13. Grafik Tegangan *In* dan Tegangan *Out*

Pada Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa pada saat pukul 07.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB rangkaian *buck-boost converter* beroperasi sebagai *buck converter* yang digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran dari panel surya. Pada saat pukul 06.00 WIB dan 17.00 WIB rangkaian beroperasi sebagai *boost converter*. Tegangan output yang dihasilkan rata-rata sebesar 13.87 V yang mendekati nilai tegangan output yang telah direncanakan sebelumnya yaitu sebesar 14 V.



Gambar 14. Grafik Arus *In* dan Arus *Out*

Pada Gambar 14 menjelaskan nilai arus output lebih besar dari pada arus input karena proses pencarian daya puncak MPPT oleh algoritma P&O akibat dari penurunan tegangan input sehingga arus akan ditingkatkan agar daya yang dihasilkan mendekati titik puncaknya. Arus output yang dihasilkan rata-rata sebesar 1.29 A.



Gambar 15. Grafik Daya *In* dan Daya *Out*

Dari Tabel 11 dapat disimpulkan bahwa efisiensi pada *buck-boost converter* rata-rata sebesar 79.11 %. Daya *output* terbesar terjadi pada pukul 12.00 WIB sebesar 25.34 W. Daya *output* terkecil terjadi pada pukul 06.00 WIB sebesar 1.68 W.

Pada penelitian ini, program dirancang untuk bekerja mencari titik kerja maksimum sesuai dengan kondisi cuaca yang berubah-ubah. Dalam mencari titik kerja maksimum, algoritma *Perturb and Observe* akan mencari nilai tegangan yang dikalikan dengan nilai arus untuk memberikan daya maksimum.

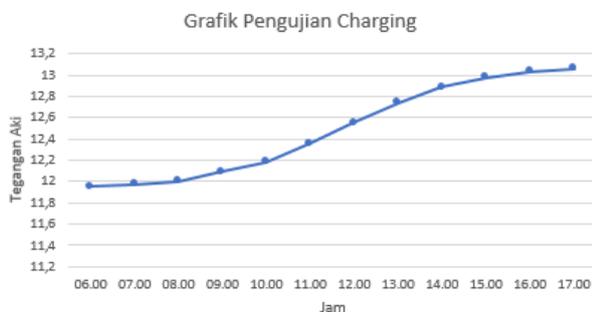
Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui performa sistem yang digunakan sebagai pengisi aki 12 V. Pengujian ini menggunakan sumber utama dari panel surya, tegangan keluaran akan distabilkan oleh rangkaian *buck-boost converter* agar stabil mencapai nilai 14 V untuk mengisi aki.

Tegangan rangkaian terbuka aki sebelum dilakukan *charging* sebesar 11.95 V. Pengujian dilakukan pada pukul 06.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB. Pada keluaran *buck-boost converter* diberikan alat bantu berupa volt ampere meter digital untuk keperluan pengambilan data.

Tabel 12. Pengujian *Charging* Aki

Jam	V _{in}	I _{in}	V Aki
06.00	13.67	0.16	11.95
07.00	13.80	0.99	11.97
08.00	13.83	1.33	12.00
09.00	13.88	1.41	12.09
10.00	13.92	1.41	12.18
11.00	13.94	1.43	12.36
12.00	14	1.81	12.55
13.00	13.98	1.81	12.74
14.00	13.97	1.62	12.89
15.00	13.95	1.50	12.98
16.00	13.92	1.35	13.03
17.00	13.70	0.89	13.06



Gambar 16. Grafik Pegujian *Charging* Aki

Pada Tabel 12 menunjukkan tegangan aki akan naik dari 11.95 V mencapai tegangan 13.03 V selama proses pengisian. Pada Gambar 16 dapat disimpulkan bahwa hubungan tegangan *charging* terhadap jam adalah berbanding lurus. Semakin lama waktu *charging*, maka semakin tinggi tegangan ketika *charging*. Tegangan *charging* yang dihasilkan dari pukul 07.00 WIB sampai

17.00 WIB rata-rata sebesar 13.88 V dan arus *charging* yang dihasilkan rata-rata sebesar 1.31 A. Pada pengujian ini proses *charging* untuk aki 12 V membutuhkan waktu selama 10 jam dari keadaan aki 11.95 V sampai 13.03 V. Cepat atau lambatnya proses *charging* bergantung pada besar kecilnya nilai arus dan kapasitas dari aki yang digunakan.

Tabel 13. Pengujian Aki dan Inverter dengan Beban Pompa Air

Menit ke-	V _{dc}	I _{dc}	V _{ac}	I _{ac}	Cos ϕ
10	13.8	27.83	197.7	1.58	0.93
20	13.39	27.91	194.2	1.54	0.93
30	13.17	27.79	189.8	1.54	0.94
40	12.84	27.83	183	1.54	0.94
50	12.62	27.79	182.9	1.54	0.94
60	12.40	27.41	182.8	1.54	0.94
70	12.18	27.24	182.8	1.54	0.94
80	11.96	27.40	182.8	1.54	0.94
90	11.74	27.28	182.7	1.54	0.94
100	11.53	27.18	182.7	1.54	0.94
110	11.30	27.30	182.7	1.54	0.94
120	11.05	27.11	182.7	1.54	0.94

Tabel 14. Efisiensi Inverter

Menit ke-	Daya ac	Daya dc	Efisiensi
10	290.50	382.05	75.64
20	278.13	373.71	74.42
30	274.75	365.99	75.07
40	264.91	357.34	74.13
50	264.77	350.71	75.49
60	264.62	339.88	77.86
70	264.62	331.78	75.44
80	264.62	327.70	75.40
90	264.48	320.27	75.57
100	264.48	313.39	75.65
110	264.48	308.49	75.90
120	264.48	299.57	75.97

Dari Tabel 13 dapat disimpulkan bahwa energi cadangan yang disimpan di dalam aki setelah dilakukan proses *charging* oleh panel surya dapat mensupply pompa air selama 2 jam. Inverter memiliki efisiensi rata-rata sebesar 75.44 %.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan yaitu telah berhasil dirancang sistem pompa air tenaga surya menggunakan MPPT untuk memaksimalkan daya. Pada Tabel 7 Tegangan dan arus keluaran panel surya dipengaruhi oleh perubahan cuaca dengan tegangan tertinggi 18.93 V dan arus tertinggi 1.47 A pada pukul 12.00 WIB, serta tegangan terendah 11.50 V dan arus terendah 0.1 A pada pukul 17.00 WIB. Pada Tabel 11 *Buck boost converter* sebagai MPPT dapat bekerja dengan baik serta memiliki efisiensi rata-rata sebesar 79.11 %. Berdasarkan Tabel 12 lama proses *charging* aki membutuhkan waktu 10 jam (06.00-17.00) dari tegangan

aki awal 12.95 V sampai dengan 13.03 V. Tegangan pengecasan rata-rata sebesar 13.88 V dan arus pengecasan rata-rata sebesar 1.31 A. Sistem pompa air tenaga surya dapat bekerja dengan inverter yang digunakan serta memiliki efisiensi rata-rata sebesar 75.55 %.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) metode *Perturb and Observe* (P&O) dapat dikembangkan menggunakan metode yang lain. Perhitungan dan pemilihan nilai komponen resistor, induktor, kapasitor, dan dioda pada rangkaian *buck-boost converter* perlu diperhatikan agar tegangan keluaran sesuai dengan yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z., Tamamy, A. J., & Islahu, N. (2020). *Perancangan Mesin Pompa Air Tenaga Surya untuk Mengurangi Konsumsi Listrik Skala Rumah*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 9(2), 79.
- Dalimunthe, E. R., & Kurniawan, F. (2019). *Pengaruh Penggunaan Perturb & Observe pada MPPT terhadap Daya Keluaran Sel Surya*. *Jurnal AVITEC*, 1(1), 53–64.
- Djaufani, M. B., Hariyanto, N., & Saodah, S. (2015). *Perancangan dan Realisasi Kebutuhan Kapasitas Baterai untuk Beban Pompa Air 125 Watt Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. *Jurnal Elka Elkonika*, 3(2), 78.
- Fadriantama, M. I. (2013). *Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme Perturb and Observe (P&O) dan Incremental Conductance pada Sistem Kendali Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk Sistem Photovoltaic (PV) Paralel*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Hardani, Andriani, H., Ustiawaty, J., Utami, E. F., Istiqomah, R. R., Fardani, R. A., Sukmana, D. J., & Auliya, N. H. (2020). *Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif* (H. Abadi (ed.); Issue April). Pustaka Ilmu Yogyakarta. <https://perpustakaan.gunungsitollikota.go.id>
- Harmini, H., & Nurhayati, T. (2018). *Desain Sistem Pompa Air Solar Photovoltaic (Spv) 125 Watt Di Desa Rambat, Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan*. *Jurnal Elekrika*, 10(1), 10.
- Hart, D. W. (2011). *Power Electronics*. McGraw-Hill.
- Hartono, B., & Purwanto. (2020). *Perancangan Pompa Air Tenaga Surya*. *Jurnal SINTEK*, 9(1), 28–33.
- Hasan, F. H. (2017). *Rancang Bangun MPPT dengan DC-DC Buck Converter pada Panel Surya dengan Beban Pompa Air DC*. Skripsi. Universitas Jember, Jember.
- Hermanu, C., Apribowo, B., S, T. E., & Anwar, M. (2017). *Prototype Sistem Pompa Air Tenaga Surya Untuk Meningkatkan Produktivitas Hasil Pertanian*. *Jurnal Abdimas*, 21(2), 97–102.
- Humas EBTKE. (2019). *Peluang Besar Kejar Target EBT Melalui Energi Surya*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/09/26/2348/peluang.besar.kejar.target.ebt.melalui.energi.surya.?lang=en>
- Humas EBTKE. (2020). *Kolaborasi Pengembangan Energi Bersih Dukung Gerakan Sejuta Surya Atap dan Green Airport*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/09/26/2637/kolaborasi.pengembangan.energi.bersih.dukung.gerakan.sejuta.surya.atap.dan.green.airport?lang=id>
- Julianto, J., & Rajagukguk, A. (2020). *Rancang Bangun Buck-Boost Converter Berbasis Arduino Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 8x10 Wp*. *Jurnal FTEKNIK*, 7, 1–11.
- Kusumaningrum, A. (2016). *Penggunaan Buck Boost Converter Pada Sistem Battery Charging Terkendali*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rashid, M. H. (2001). *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications Handbook*. Florida. Academic Press.
- Salam, M. F., & Haryudo, S. I. (2017). *Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Panel Surya Menggunakan Perturb and Observe sebagai Kontrol Buck-Boost Converter*. *Jurnal Teknik Elektro*, 06, 57–64.
- Susanti, I., Rumiasih, RS, C., & Firmansyah, A. (2019). *Pengisiannya Pada Mobil Listrik*. *Jurnal Elektra*, 4(2), 29–37.
- Widodo, R. T., Sejati, P., Asmuniv, & Rugianto. (2009). *Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb and Observe*. *Industrial Electronic Seminar*, 1.