

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MODUL PENGISIAN BATERAI DAN PENYIMPANAN ENERGI
POTENSIAL AIR MENGGUNAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**
**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF BATTERY AND WATER POTENTIAL ENERGY STORAGE
CHARGING MODULE USING SOLAR POWER PLANT**

Muhammad Rifqi Azmi¹, Dr. Ir. Sony Sumaryo,^{M.T.2}, Cahyantari Eka Putri,^{ST.,M.T.3}

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹mrifqiazmi@student.telkomuniversity.ac.id, ²sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id,

³cahyantarie@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

SHS (*Solar Home System*) dengan menggunakan baterai sebagai penyimpan energinya membutuhkan sistem penyimpanan energi cadangan yang dapat digunakan untuk menyimpan daya listrik yang dihasilkan oleh PV dengan optimal tanpa harus menggunakan baterai dengan kapasitas yang besar atau dalam jumlah yang banyak.

Pada Tugas Akhir kali ini akan dirancang dan diimplementasikan *solar home system* dengan menggunakan dua metode penyimpanan energi yaitu menggunakan baterai dan penyimpanan energi potensial air dengan cara pemompaan air. Mikrokontroler digunakan untuk mengoptimalkan kinerja dari panel surya (PV) dengan cara mencari titik MPP (*Maximum Power Point*) dengan menerima input analog dari berbagai sensor dan mengubahnya terlebih dahulu menjadi digital (*ADC Conversion*), kemudian diproses kedalam algoritma control MPPT dan mengimplementasi kannya menjadi tegangan output *synchronous buck converter* yang dikontrol dengan PWM (*Pulse Width Modulation*), sehingga dapat menghasilkan daya keluaran ke baterai maupun ke pompa air dengan efisiensi yang lebih baik.

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah penggunaan baterai sebagai penyimpan energi tunggal pada PV dapat menyimpan daya sebesar 14.00 Wh berbeda jauh dengan jika menggunakan baterai dan pompa penyimpanan air yang hanya dapat menyimpan daya sebesar 7.42Wh. Efisiensi sistem pengisian baterai jika menggunakan algoritma MPPT mencapai 83.78 % sedangkan, jika tidak menggunakan algoritma MPPT efisiensinya menjadi 75.87 %.

5

Kata Kunci : *Solar Home System*, MPP (*Maximum Power Point*) , *synchronous buck converter*, PWM (*Pulse Width Modulation*)

Abstract

SHS (*Solar Home System*) by using battery as its energy storage requires a backup energy storage system that can be used to save electricity that generated by PV optimally without using batteries with large capacity.

In this reasearh will be designed and implemented solar home system by using two methods of energy storage that is using batteries and storage of potential energy of water. Microcontroller is used to optimizing the performance of solar panel (PV) by finding the point of MPP (*Maximum Power Point*) and implement it into output voltage of the *synchronous buck converter* controlled by PWM (*Pulse Width Modulation*), so as to produce output power to the battery as well as to water pump with better efficiency.

The results obtained from this research is the use of two batteries as a single energy storage on the PV can save power of 14.00 wh. If using a battery and water pumped storage that can save power of 7.42 Wh. And the efficiency of the battery charging system when using the MPPT algorithm reaches 83.78 % while, if not using the MPPT algorithm the efficiency becomes 75.87 %.

Keywords: *Solar Home System*, MPP (*Maximum Power Point*) , *synchronous buck converter*, PWM (*Pulse Width Modulation*)

1. Pendahuluan

Tingginya angka permintaan energi listrik khususnya pada perumahan saat ini sering kali tidak dapat dipenuhi oleh sistem pembangkit listrik yang ada. Oleh karena itu sering terjadinya pemadaman listrik secara berkala pada perumahan tidak dapat dihindari^[1]. Oleh karena itu, konsep pemanfaatan energi terbarukan seperti matahari, angin, dan air mulai dikembangkan menjadi sistem pembangkit listrik untuk perumahan. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir ketergantungan akan sumber listrik PLN pada perumahan.

SHS (*Solar Home System*) merupakan pengaplikasian dari pembangkit listrik tenaga surya menggunakan PV (*photovoltaic*) sebagai energi terbarukan yang biasa dipasang di perumahan. Pada umumnya, sistem ini membutuhkan baterai sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh PV^[2]. Namun, sistem ini membutuhkan baterai dengan kapasitas yang besar atau dalam jumlah yang banyak jika ingin menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh PV secara optimal. Hal tersebut sangat merugikan mengingat harga baterai yang mahal dan perawatannya yang sulit.

Pada Tugas Akhir kali ini akan dirancang dan diimplementasikan *solar home system* dengan menggunakan dua metode penyimpanan energi yaitu menggunakan baterai dan penyimpanan energi potensial air sebagai penyimpan energi tambahan dengan cara pemompaan air yang nantinya dapat diaplikasikan menjadi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) skala kecil untuk perumahan. Sehingga, sistem ini dapat menyimpan daya listrik yang dihasilkan oleh PV dengan optimal tanpa harus menggunakan baterai dengan kapasitas yang besar atau dalam jumlah yang banyak.

Sistem ini membutuhkan modul pengontrol untuk mengatur besarnya tegangan keluaran dari PV agar dapat digunakan untuk mengisi daya pada baterai ataupun untuk menghidupkan pompa air. Modul pengontrol tersebut berupa DC *converter* yang berfungsi untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang besarnya bervariasi sesuai dengan permintaan beban, sehingga dapat mengatur besarnya tegangan keluaran pada PV. Agar dapat memaksa PV memperoleh daya maksimum pada berbagai tingkat intensitas cahaya, DC *converter* ini ditanam dengan algoritma MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) sebagai suatu metode untuk mencari titik maksimum dari kurva karakteristik tegangan dan arus input (V-I) pada aplikasi panel surya. Dengan menganalisa masukan sumber hasil konversi PV dengan memanfaatkan kemampuan kapasitas puncak dari karakteristik panel, diharapkan efisiensi daya keluaran ke baterai dan pompa dapat dilakukan dengan maksimum^[3].

Diharapkan, dengan menggunakan dua metode penyimpanan energi pada *solar home system* ini, ketergantungan akan sumber listrik dari PLN pada perumahan dapat diminimalisir. Serta, penyimpanan dan manajemen daya yang dihasilkan oleh PV dapat digunakan dengan sebaik-baiknya sehingga tidak ada daya yang terbuang sia-sia tanpa harus menggunakan baterai dengan kapasitas yang besar atau dalam jumlah yang banyak.

2. Dasar Teori

2.1 Sel Surya

Sel surya merupakan perangkat semikonduktor yang memiliki karakteristik arus (I) dan tegangan (V) output yang tidak linier. PV didefinisikan sebagai teknologi yang dapat menghasilkan listrik DC dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan cahaya. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya, maka sel surya akan menghasilkan energi listrik, dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya, sel surya tidak menghasilkan energi listrik^[4].

2.2 Pembangkit Listrik Pumped Storage^[5]

Pembangkit Listrik "*Pumped Storage*" adalah salah satu jenis pembangkit listrik tenaga air yang digunakan sebagai pembangkit penyeimbang beban. Energi disimpan dalam bentuk air dalam jumlah besar yang ditempatkan pada bak raksasa atau danau yang dipompa dari level bawah ke level yang lebih tinggi. Pada saat pembebanan rendah, pembangkit berfungsi sebagai pompa. Saat beban puncak pembangkit menghasilkan energi listrik.

Rumus sederhana yang dapat digunakan untuk menghitung produksi energi listrik pada sebuah pembangkit listrik tenaga air :

Daya = Berat jenis air (~1000 kg/m³) x tinggi jatuh air (meter) x debit air (m³/s) x percepatan gravitasi (9.8 m/s²) x koefisien pembangkit (range 0 sampai 1). (1)

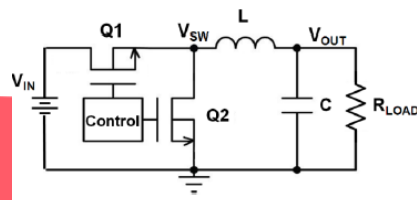
2.3 Maximum Power Point Tracker

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah metode yang digunakan untuk mencari titik kerja maksimum sel surya dan mempertahankan sel surya bekerja di titik tersebut. Rangkaian MPPT dapat mengatur daya keluaran modul *photovoltaic* agar selalu berada pada titik daya maksimum dengan cara mengatur tegangan dan arus sel surya untuk mendapatkan daya maksimum yang dapat dihasilkan. Penggunaan MPPT meningkatkan efisiensi daya listrik yang dihasilkan sistem PV, karena sistem dikontrol untuk terus menghasilkan daya maksimal.

Penggunaan sensor, algoritma kontrol yang tepat, serta kecepatan MPPT dalam menghasilkan daya maksimal merupakan faktor yang mempengaruhi kehandalan MPPT dalam menghasilkan daya maksimal [3]. Pada umumnya digunakan DC-DC converter dalam sebuah sistem MPPT untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya.

2.4 Synchronous Buck Converter [6]

Pada desain rangkaian *synchronous buck converter* hanya menggantikan dioda dengan MOSFET kedua, hal ini menghilangkan kerugian yang ditanggung oleh tegangan *drop* maju yang melintasi dioda, sehingga membuat sirkuit yang lebih efisien. Hal ini sedikit lebih kompleks untuk diimplementasikan, yang mana mosfet kedua sebagai *switching* harus berhati – hati dalam penyesuaian waktu *switching*nya dengan *switching* mosfet pertama. Hal ini penting untuk memastikan bahwa keduanya tidak pernah berada pada saat yang sama, atau saat akan memiliki jalur langsung ke *ground*. Bila hal tersebut terjadi, maka akan menyebabkan *short circuit*. Mode *switching* pada MOSFET efektifnya terjadi pada fasa 180°, dengan *short delay period* antara masing-masing transisi disebut sebagai *DeadBand*.



Gambar 1. Rangkaian Synchronous Buck Converter

Persamaan antara masukan dan keluaran pada *synchronous buck converter* dapat dituliskan seperti [7]:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \text{Duty Cycle} \tag{2}$$

Penentuan nilai induktor dan kapasitor bergantung pada frekuensi *switching* (F_{sw}) dan *Iripple* (ΔI) yang telah ditentukan.

Induktor:

$$L = V \times \frac{\Delta T}{\Delta I}$$

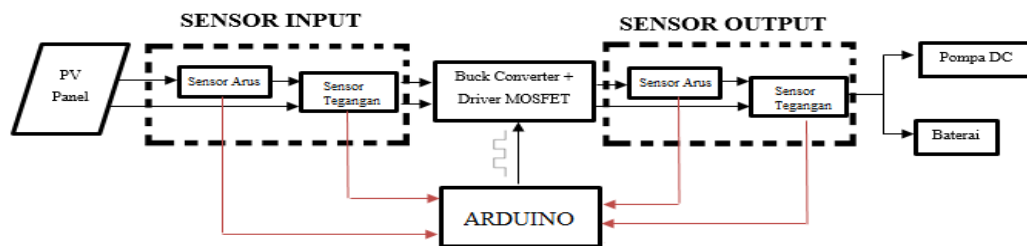
$$L = (V_{in} - V_{out}) \times \frac{\text{Duty Cycle}}{\text{Switching Frequency} \times I_{Ripple}} \tag{3}$$

Kapasitor output:

$$C_{out} = \frac{I_{Ripple}}{8 \times \text{Switching Frequency} \times V_{Ripple}} \tag{4}$$

3. Perancangan Sistem

3.1 Diagram Blok Umum



Gambar 2. Diagram Blok Umum

Berdasarkan diagram blok di atas, *synchronous buck converter* menerima tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV. Sensor input yang berupa sensor tegangan dan arus membaca arus dan tegangan yang masuk ke rangkaian *synchronous buck converter* dan masuk ke algoritma MPPT metode P&O. Algoritma MPPT tersebut memberi keputusan apakah tegangan akan dinaikan atau diturunkan tergantung kebutuhan. Setelah itu mikrokontroler dapat mengambil keputusan seberapa besar sinyal PWM yang harus dihasilkan pada frekuensi 7,8kHz untuk men-*switch* driver MOSFET yang ada di rangkaian *synchronous buck converter* sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang tetap. Agar tegangan yang diberikan pada baterai dan pompa DC dapat bernilai tetap yaitu sesuai *setpoint* yang diinginkan, maka keluaran dari *synchronous buck converter* diumpam

balik ke mikrokontroler. Tegangan DC keluaran dari *synchronous buck converter* akan digunakan untuk mengisi daya baterai ataupun untuk menghidupkan pompa DC sehingga pompa dapat mengalirkan air dari penampungan bawah ke penampungan atas. Sistem ini akan dirancang untuk memenuhi tujuan awal dari perancangan Tugas Akhir ini yaitu untuk membandingkan daya yang tersimpan jika hanya menggunakan baterai sebagai penyimpan energi tunggal dan jika menggunakan dua metode penyimpanan energi yaitu baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan pompa DC.

3.2 Perancangan Synchronous Buck Converter

Parameter untuk merancang rangkaian synchronous buck converter adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Perancangan Rangkaian Synchronous Buck Converter

Tegangan Masukan (V_{in})	17.8 Volt
Tegangan Keluaran (V_{out})	13.8 Volt
Arus Keluaran Maksimum (I_{out})	7 Ampere
Frekuensi Switching MOSFET	7.8 KHz
Efisiensi	80 %

Berdasarkan tabel parameter perancangan *synchronous buck converter* di atas, maka dapat ditentukan nilai *duty cycle*, *inductor continuous current mode* dan kapasitor output yang dibutuhkan untuk merancang *synchronous buck converter* sesuai spesifikasi di atas. Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut ^[8]:

$$Duty\ cycle\ (D) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{12}{17.8} = 0.67$$

$$Inductor\ continuous\ current\ (L_{min}) = (V_{in} - V_{out}) \times D \times \frac{1}{F_{SW}} \times \frac{1}{\Delta I}$$

$$\Delta I = Ripple\ Current\ (35\ \% \times 7\ A = 2.45)$$

$$L_{min} = (17.8 - 12) \times 0.67 \times \frac{1}{7.8\ KHz} \times \frac{1}{2.45} = 200\ \mu H$$

Nilai frekuensi = 7.8 kHz

maka nilai T:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{7.8\ kHz}$$

$$T = 1.28 \times 10^{-4}\ s$$

Nilai duty cycle = 67% sehingga nilai ton dan toff:

$$t_{on} = 0.6 \times 1.28 \times 10^{-4}\ s = 8.57 \times 10^{-5}\ s$$

$$t_{off} = 1.28 \times 10^{-4}\ s - 7.68 \times 10^{-5}\ s = 4.23 \times 10^{-5}\ s$$

Kondisi switch on

Yang terjadi pada switch on:

$$V_L = V_{in} - V_o$$

$$= 17.8 - 12 = 5.8\ V$$

Maka arus yang melewati induktor (*inductor charge*):

$$di = \frac{V_L}{L} dt$$

$$\Delta IL^+ = \frac{V_L}{L} t_{on}$$

$$\begin{aligned}\Delta IL^+ &= \frac{5.8}{200 \mu H} \times 8.57 \times 10^{-5} \text{ s} \\ &= 2.48 \text{ A}\end{aligned}$$

Artinya selama kondisi switch on, induktor akan men-charge sampai arus maksimal 2.48 A.

Kondisi switch off

Pada saat peralihan *switch* dari kondisi on ke kondisi off, induktor sudah menyimpan arus sebesar 2.48 A sehingga yang terjadi pada kondisi off:

$$VL = -Vo = -12 \text{ V}$$

Maka arus yang melewati induktor (*inductor discharge*):

$$di = \frac{VL}{L} dt$$

$$\Delta IL^- = \frac{VL}{L} \text{ toff}$$

$$\begin{aligned}\Delta IL^- &= \frac{-12}{200 \mu H} \times 4.23 \times 10^{-5} \\ &= -2.49 \text{ A}\end{aligned}$$

Nilai minus pada arus dikondisi *off*, artinya induktor akan men-*discharge* arus sebesar 2.49 A selama kondisi *switch off*.

$$\text{Kapasitor Output (Cout)} = \frac{di}{8 \times FSW \times dv}$$

Dimana:

$$Dv = \text{Ripple Voltage (20 mV)}$$

$$Cout = \frac{2.45}{8 \times 7.8 \text{ KHz} \times 0.02} = 1963 \mu F$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai perancangan awal untuk nilai komponen *synchronous buck converter* yang dapat direalisasikan pada panel surya. Nilai induktor sebesar 200 uH/ 9A dan kapasitor output sebesar 2200 uF/50 Volt. Dan juga dilihat dari analisis perhitungan perancangan *rangkaian synchronous buck converter* di atas, belum sesuai dengan parameter perancangan yang diinginkan dikarenakan nilai arus *ripple* yang mencapai 35 % dari arus keluaran yang diinginkan.

4. Hasil Percobaan dan Analisa

4.1 Pengujian Efisiensi Panel Surya

Tujuan pengujian efisiensi panel surya ini adalah untuk mengetahui efisiensi dari panel surya yang digunakan.

- Hasil dan Analisis [9]:

Panjang panel surya : 1.01 m dan lebar panel surya : 0.67 m

Luas panel surya = 1.01 m x 0.67 m = 0.6767 m²

P aktual = 100 W

P teori = 0.6767 m² x Iridasi Matahari = 0.6767 m² x 1000 W/m² (ada pada spesifikasi panel surya)
= 676.7 watt

$$\eta = \frac{P \text{ aktual}}{P \text{ teori}} \times 100 \% = \frac{100 \text{ W}}{676.7 \text{ W}} \times 100 \% = 14.77 \%$$

Pada umumnya suatu panel surya memiliki efisiensi hanya sekitar 20-30%, yang berarti suatu panel surya hanya dapat mengkonversi sekitar 20% saja dari seluruh energi cahaya yang diterima oleh panel surya. Sedangkan sisanya dipantulkan kembali ke udara. Sehingga dalam kondisi standar, panel surya dengan daya 100 W dan memiliki luas sekitar 1m² belum tentu dapat menghasilkan daya mencapai 100 W dikarenakan efisiensi yang rendah dari panel surya itu sendiri.

Namun, setelah melakukan pengujian sistem pengisian baterai dengan menggunakan rangkaian *synchronous buck converter* dan beban berupa 2 buah baterai *lead acid rechargeable* 12 Volt/12 AH (dapat dilihat pada pengujian 4.5.) daya aktual yang dihasilkan panel surya hanya sebesar 53.69 W yang artinya:

$$\eta = \frac{53.69 \text{ W}}{676.7 \text{ W}} \times 100 \% = 7.93\%$$

Daya aktual yang kecil yang dihasilkan oleh panel surya salah satunya disebabkan oleh penempatan panel surya yang tetap (posisi letak panel surya tidak dapat berubah-ubah mengikuti posisi cahaya matahari) sangat mempengaruhi efisiensi keluaran dari panel surya karena panel surya tidak dapat mendapat cukup cahaya matahari untuk dikonversi menjadi tegangan DC jika diletakkan dengan posisi tetap.

4.2 Pengujian Sistem Pengisian Baterai

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membandingkan daya yang diterima baterai dari panel surya jika menggunakan algoritma MPPT dengan metode *Perturb & Observe* dengan tidak menggunakan metode tersebut.

Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Pengisian Baterai

Jam	MPPT		Non MPPT	
	Pin (W)	Pout (W)	Pin (W)	Pout (W)
06.00	1.25	0.26	1.08	0.45
07.00	2.32	1.49	5.95	2.96
08.00	7.59	11.07	7.38	4.92
09.00	10.53	11.82	5.20	4.48
10.00	14.13	17.33	14.08	10.76
11.00	17.74	16.29	19.25	14.41
12.00	21.44	16.63	31.97	26.46
13.00	53.69	32.21	30.10	26.29
14.00	48.16	32.20	20.49	17.97
15.00	20.11	20.31	41.31	29.41
16.00	16.11	15.18	6.24	1.32
17.00	4.18	7.21	1.80	0.84
18.00	0	0	0	0
Total	16.71	14.00	14.22	10.79

Efisiensi Non MPPT:

$$\eta = \frac{P \text{ out}}{P \text{ in}} \times 100 \% = \frac{10.79}{14.22} \times 100 \% = 75.87 \%$$

Efisiensi MPPT:

$$\eta = \frac{P \text{ out}}{P \text{ in}} \times 100 \% = \frac{14.00}{16.71} \times 100 \% = 83.78 \%$$

Dari hasil kedua percobaan di atas, dapat dilihat bahwa daya keluaran dari panel surya jika menggunakan algoritma MPPT lebih besar dari pada tidak menggunakan algoritma MPPT. Dan juga efisiensi *synchronous buck converter* jika menggunakan algoritma MPPT lebih besar dari pada tidak menggunakan algoritma MPPT, yaitu 83.78 % berbanding 75.87 %.

4.5 Pengujian Sistem Pengisian Baterai dan Penyimpanan Energi Potensial Air

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan daya keluaran panel surya jika hanya menggunakan baterai dengan algoritma MPPT dan jika menggunakan baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan pompa dengan menggunakan algoritma MPPT.

Hasil dan Analisis:

Pengujian dilakukan pada tanggal 10 Agustus 2017. Hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3 . Hasil Pengujian Menggunakan Dua Metode Penyimpanan Energi Yaitu Baterai dan Penyimpanan Energi Potensial Air

Jam	Baterai (W)	Baterai + Penyimpanan Air	
		Baterai (W)	Penyimpanan Air (L)
06.00	0.26	0	Air Tidak Terangkat
07.00	1.49	0	Air Tidak Terangkat
08.00	11.07	0	Air Tidak Terangkat
09.00	11.82	0.18	Air Tidak Terangkat
10.00	17.33	0.65	Air Tidak Terangkat
11.00	16.29	11.32	140
12.00	16.63	14.23	160
13.00	32.21	15.28	190
14.00	32.20	23.17	220
15.00	20.31	14.53	165
16.00	15.18	12.36	155
17.00	7.21	4.12	Air Tidak Terangkat
18.00	0	0	Air Tidak Terangkat
Total	14.00 Wh	6.27 Wh	1030 Liter

1030 Liter/6 jam = 0.171/jam

$$\text{Rata - rata debit air } (r) \text{ [5]} = \frac{\text{kapasitas debit air}}{\text{menghasilkan energi listrik (jam)} \times 3600}$$

Asumsi debit air akan digunakan untuk menghasilkan listrik selama 1 jam, tinggi jatuh efektif air (h) 3 meter dan efisiensi generator (k) 100 %.

$$r = \frac{0.171}{1 \times 3600} = 4.75 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = \rho h r g k$$

$$= 1000 \times 4 \times 4.75 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 9.81 \times 1 = 1.863 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Total energi yang dihasilkan} &= 1 \text{ jam} \times 11.36 \text{ wat} = 1,863 \text{ Wh} + \text{Daya baterai/jam} = 1.8636 \text{ Wh} + 6.27 \text{ Wh} \\ &= 7.42 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan pompa dengan tinggi jatuh air dan pemompaan 4 meter, hanya dapat menyimpan daya sebesar 7.42 Wh, berbeda jauh dengan jika hanya menggunakan baterai yang dapat menyimpan daya sebesar 14.00 wh. Dari data yang sudah dipaparkan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan baterai sebagai penyimpan energi tunggal lebih optimal dalam menyimpan daya jika menggunakan *single* panel surya dibandingkan jika menggunakan dua metode penyimpanan energi yaitu baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan pompa DC. Hal itu disebabkan oleh terbaginya arus yang dikeluarkan oleh panel surya ke baterai dan pompa sehingga baterai dan pompa tidak dapat berkerja dengan optimal.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa desain dan implementasi modul pengisian baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan pembangkit listrik tenaga surya pada sistem rumah cerdas ini didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem SHS (*Solar Home System*) yang dirancang terdiri dari modul panel surya, rangkaian *synchronous buck converter*, baterai, dan pompa air DC.
2. Tinggi jatuh air sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik *pumped storage*.

3. Daya yang dihasilkan oleh panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari, suhu, radiasi matahari, serta beban yang digunakan.
4. Tegangan keluaran dari rangkaian *synchronous buck converter* sangat bergantung kepada *duty cycle* yang dipasang.
5. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, rangkaian *synchronous buck converter* dengan menggunakan algoritma MPPT memiliki efisiensi yang lebih besar dari jika tidak menggunakan algoritma MPPT yaitu 83.78 % berbanding 75.87%.
6. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, penggunaan dua metode penyimpanan energi yaitu baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan *single* panel surya dengan tinggi jatuh air dan pemompaan hanya dapat menyimpan energi sebesar 7.42 Wh. Berbeda jauh dengan jika hanya menggunakan baterai yang dapat menyimpan daya sebesar 14.00 wh. Jadi, penggunaan baterai sebagai penyimpan energi tunggal dapat menyimpan daya yang lebih besar dibandingkan jika menggunakan dua metode penyimpanan energi yaitu baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan *single* panel surya.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, pembuatan sistem disarankan untuk:

1. Penambahan jumlah panel surya yang digunakan atau menggunakan panel surya yang lebih tinggi kapasitas dayanya agar kinerja baterai dan pompa dapat lebih optimal.
2. Menggunakan sistem kontrol untuk membagi tegangan jika menggunakan dua metode penyimpanan energi, jangan hanya dipasang parallel.
3. Penambahan komponen-komponen seperti MOSFET dan diode secara parallel agar permintaan arus pada rangkaian *synchronous buck converter* semakin tinggi sehingga dapat lebih mengoptimalkan kinerja dari panel surya. Serta penambahan induktor secara parallel agar arus yang dihantarkan ke beban semakin tinggi.
4. Pemilihan driver MOSFET dan komponen *switching* untuk rangkaian *synchronous buck converter* yang lebih tahan pada frekuensi *switching* tinggi dengan arus tinggi.
5. Dibutuhkan keakuratan sensor arus dan tegangan yang tepat agar dapat meminimalisasi error pada sistem ini.

Daftar Pustaka

- [1] A. Bahtiar, "Sel Surya Polimer," *Material dan Energi Indonesia*, vol. 01, p. 01, 2011.
- [2] G. Srisadad, *Perancangan Simulasi Sistem Rumah Solar Cerdas Terhubung Jaringan PLN*, Depok, 2012.
- [3] A. F. Babgei, *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy*, Surabaya, 2012.
- [4] S. Hegedus and A. Luque, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, West Sussex: John Wiley & Sons, 2003.
- [5] R. Iskandar, "iskandarlbs.files.wordpress.com," 2010. [Online]. Available: <https://iskandarlbs.files.wordpress.com/2011/10/pumped-storage.ppt>. [Accessed 26 June 2017].
- [6] "LC Selection Guide for the DC-DC Synchronous Buck Converter," *Semiconductor Component Industries*, p. 1, 2013.
- [7] A. Kislovski, R. Redl, and N. Sokal, *Dynamic Analysis of Switching-Mode DC/DC Converters*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [8] M. H. Rashid, *Power Electronics Circuits, Device, and Applications*, West Florida: Pearson Education International.
- [9] G. M. A., *Solar Cells Operating Principles, Technology and System Application*, New Jersey: Prentice-Hall, 1982.