

PERANCANGAN SISTEM PENGISI DAN PENYALUR DAYA BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID DESIGN OF CHARGE AND DISCHARGE BATTERY SYSTEM FOR HYBRID POWER PLANT

Maulana Ariandy¹, Sony Sumaryo², Estananto³

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

¹maulanaariandy@students.telkomuniversity.ac.id, ²sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id,

³estananto@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya, listrik yang dihasilkan berasal dari energy matahari. Namun, pembangkit listrik tenaga surya memiliki kelemahan yaitu pada saat malam hari ataupun musim hujan, Pembangkit Listrik Tenaga Surya akan sulit untuk menghasilkan listrik. Oleh karena itu diperlukan pembangkit listrik lain yang dapat menjadi sumber daya *back up*. Listrik PLN merupakan sumber energi yang mudah didapat dan umum digunakan oleh masyarakat Indonesia. Sehingga dapat dikombinasikan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk dapat bekerja sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid.

Pada tugas akhir ini, dirancang suatu pembangkit listrik tenaga hybrid yang dapat selalu menyuplai listrik arus DC untuk beban DC sehingga dapat digunakan kapan saja sesuai kebutuhan. Analisis yang dilakukan akan terfokus pada analisis daya masuk dan keluar pada baterai. Daya masuk berasal dari solar panel dan PLN sedangkan daya keluar akan disalurkan ke beban DC. Akan digunakan sensor arus dan sensor tegangan untuk memantau daya masuk dan daya keluar pada baterai. Pada penelitian kali ini, diharapkan daya baterai dapat bertahan meskipun beban mengalami fluktuasi.

Sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan, dengan menggunakan sensor tegangan yang memiliki akurasi rata-rata 98,4% dan sensor arus dengan error rata-rata 1,78 % diperoleh nilai daya pengisian oleh panel surya yaitu sekitar 4,45 Watt dengan arus masukan sekitar 0,37 Ampere. Total daya beban yang diuji yaitu 13,68 Watt. Dan berdasarkan pengujian, sistem hybrid yang telah dirancang dapat dikatakan berhasil.

Kata kunci: Hybrid, Baterai, AC, DC, Fluktuasi, Sensor

Abstract

In Solar Power Plant, the electricity generated comes from sunlight energy. However, Solar Power Plant has disadvantage that is when the night time or even rainy season, Solar Power Plant will hardly generate electricity. Because of that another power plant which can be back up power source is needed. PLN electricity is power source that is easy to get and generally used by Indonesian people. Therefore it could be combined with Solar Power Plant to work as a Hybrid Power Plant.

In this final project, a hybrid power plant that can always supply DC electricity to DC loads whenever it is needed is designed. Analysis will be focused on incoming and outgoing power in battery. Incoming power comes from solar panel and PLN while outgoing power will be distributed to DC load. Current sensor and voltage sensor will be used to monitor incoming power and outgoing power in battery. In this final project, battery power that could last long when load is fluctuating is expected.

Based on the testing process that has been done, with voltage sensor that has 98.4% average accuracy and current sensor that has 1.78% average error, about 4.45 Watt charging power value from solar panel is obtained with input current value about 0.37 Ampere. Load power total tested is 13.68 Watt. And based on the test, the hybrid system that has been designed can be said work properly.

Keyword : Hybrid, Battery, AC, DC, Fluctuation, Sensor

1. Pendahuluan

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid, pembangkit listrik utama dikombinasikan dengan pembangkit listrik lain untuk menjadi *back-up* saat pembangkit listrik utama tidak dapat menghasilkan listrik yang mencukupi. Listrik

PLN merupakan sumber energi yang mudah didapat dan umum digunakan oleh masyarakat Indonesia. Oleh karena itu, Listrik PLN dapat dikombinasikan dengan *solar panel* untuk dapat bekerja sebagai Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya, listrik arus *DC* yang dihasilkan dapat disimpan pada baterai/akumulator. Sebelum dapat mengisi daya baterai, tegangan keluaran *solar panel* harus distabilkan di *level* tegangan tertentu menggunakan rangkaian *Regulator*. *Regulator* dapat menurunkan *level* tegangan dan menstabilkan keluaran listrik arus *DC*. Agar daya baterai tetap dapat bertahan, baterai juga akan disuplai oleh listrik PLN. Listrik PLN adalah listrik arus *AC* (*Alternating Current*), maka listrik PLN harus dikonversi menjadi listrik arus *DC* untuk dapat mengisi daya baterai. Selain untuk menampung daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya dan PLN, baterai juga akan bekerja menyuplai beban secara paralel dengan listrik PLN sehingga distribusi beban dapat tetap terpenuhi.

Diharapkan dengan adanya perancangan sistem baterai pada pembangkit listrik tenaga *hybrid* ini dapat dianalisa efisiensi baterai dalam menghadapi fluktuasi sumber dan beban, dapat mengurangi penggunaan sumber energi tidak terbarukan, serta dapat menghilangkan kelemahan pembangkit listrik tenaga surya.

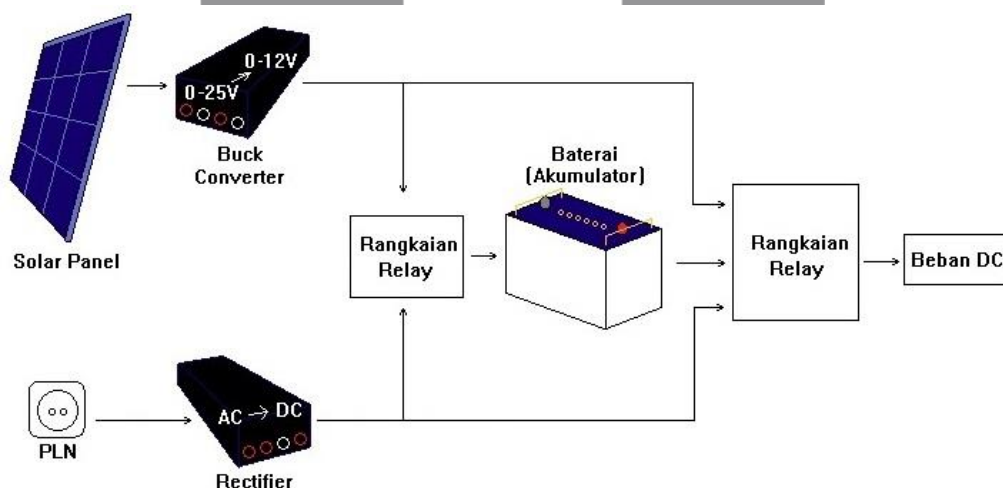
2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem Pengertian *Hybrid* pada umumnya adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hibrid pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (*sistem pembangkit*) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi pada beban tertentu [2]. PLTH dapat memanfaatkan *renewable energy* sebagai sumber utama (*primer*) yang dikombinasikan dengan *non-renewable energy* sebagai sumber energi cadangan (*sekunder*).

Cara kerja PLTH sangat tergantung dari bentuk beban atau fluktuasi pemakaian energi (*load profile*) yang mana selama 24 jam distribusi beban tidak merata untuk setiap waktunya [2]. Proses kontrol ini bukan sekedar mengaktifkan dan menonaktifkan sumber energi tetapi yang utama adalah untuk pengaturan energi agar pemakaian sumber energi menjadi lebih efisien.

2.2. Perancangan Sistem

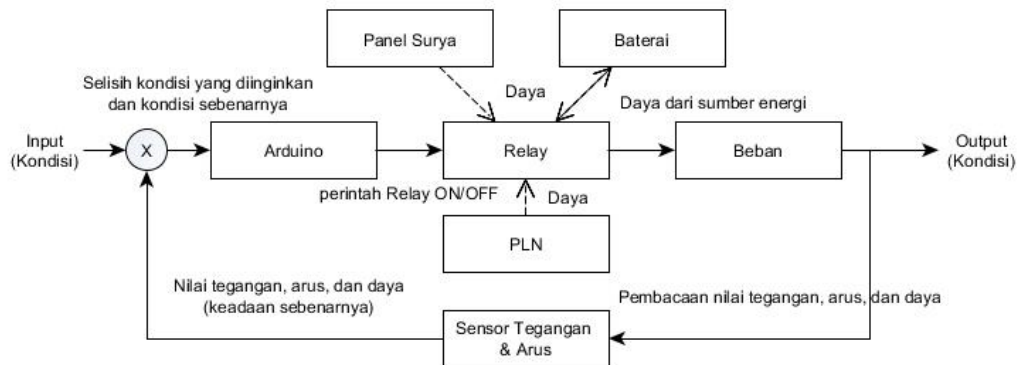


Gambar 1. Gambaran Umum Sistem

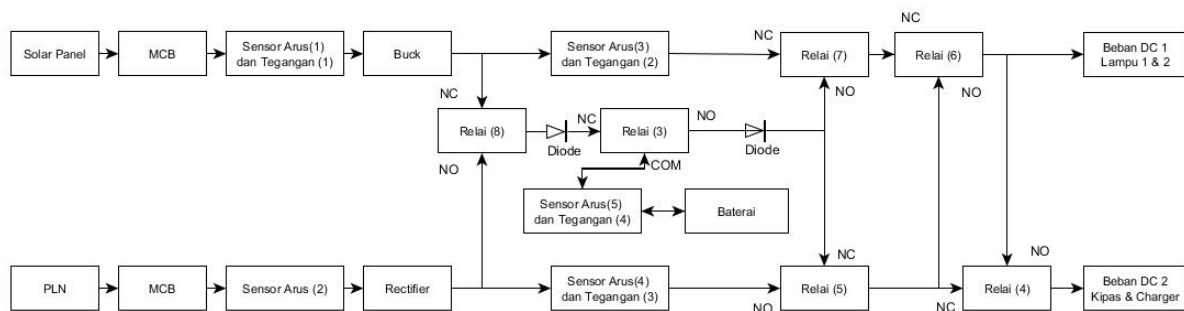
Pada Gambar 1 merupakan gambaran umum sistem. Sumber tegangan yang terdapat pada sistem terdiri dari dua yaitu *solar panel* dan listrik PLN. Tegangan keluaran *solar panel* adalah 0-25 Volt. Untuk dapat mengisi daya baterai, tegangan harus diturunkan dan distabilkan menjadi 12 Volt. Sedangkan tegangan keluaran listrik PLN adalah tegangan AC 220 Volt. Tegangan AC 220 Volt ini lalu akan mengalami proses penyearahan pada *Rectifier* sehingga dapat dikonversi menjadi tegangan DC 12 Volt. Pengisian daya pada baterai akan berlangsung secara bergantian tergantung kondisi tegangan *solar panel*. Apabila *solar panel* tidak menghasilkan tegangan yang cukup untuk mengisi daya baterai, maka *switch* akan beralih ke listrik PLN. Lalu baterai akan menyuplai daya beban. Beban DC akan langsung disuplai oleh baterai.

2.3. Diagram Blok dan Keseluruhan sistem

Gambar 2 merupakan gambar diagram blok sistem dan Gambar 3 merupakan keseluruhan sistem. Pada Gambar 2 dapat dijabarkan sistem menggunakan input berupa kondisi yang akan dijabarkan pada poin 2.4, lalu controller berupa Arduino yang akan mengontrol relay dalam menentukan sumber energi mana yang akan dipakai untuk menyuplai beban. Sensor Tegangan dan Arus akan mendeteksi tegangan dan arus yang mengalir pada setiap bagian sistem. Dan akan menjadi kondisi pemicu untuk switching pada relai. Pada Gambar III-3 terdapat solar panel dan listrik PLN sebagai sumber daya utama pada pembangkit listrik ini. Arus keluaran solar panel akan menuju MCB. MCB disini akan digunakan sebagai pengaman untuk mengatasi kelebihan arus yang dihasilkan solar panel. Terdapat 5 sensor arus dan 4 sensor tegangan yang akan digunakan untuk mengetahui nilai arus dan tegangan input dan output pada setiap bagian sistem. Nilai pembacaan sensor akan diakuisisi oleh arduino dan akan ditampilkan ke LCD.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem



Gambar 3. Gambar keseluruhan sistem

Hasil pengukuran sensor arus dan tegangan pada bagian input-output buck converter dan rectifier akan digunakan untuk mengetahui efisiensi dari buck converter dan juga efisiensi rectifier. Pada baterai juga terdapat sensor arus dan tegangan yang akan digunakan untuk mengetahui daya masuk dan juga daya keluar serta juga dapat mengetahui kapasitas baterai. Sedangkan sensor arus dan tegangan yang terdapat pada input beban DC digunakan untuk mengetahui kondisi daya beban. Relay berfungsi sebagai switching pada sistem seperti mengatur sumber mana yang akan dipakai.

2.4. Perancangan Sistem Hybrid

Secara umum PLTH yang menjadi referensi tugas akhir ini bekerja sesuai urutan sebagai berikut [2].

1. Pada kondisi beban rendah, maka beban disuplai 100% dari baterai dan PV (photovoltaic) module, selama kondisi baterai masih penuh sehingga listrik PLN tidak perlu digunakan.
2. Untuk beban diatas 75% atau kondisi baterai sudah kosong sampai level yang disyaratkan, listrik PLN mulai digunakan untuk menyuplai beban dan sebagian mengisi baterai sampai baterai mencapai 70-80% kapasitasnya. Pada kondisi ini kontroler akan mengaktifkan rectifier yang akan bekerja sebagai charger (mengubah tegangan AC dari listrik PLN menjadi tegangan DC) untuk mengisi baterai.
3. Pada kondisi beban puncak baik listrik PLN maupun baterai akan beroperasi dua-duanya untuk menuju paralel sistem, apabila kapasitas listrik PLN tidak mampu sampai beban puncak. Jika kapasitas listrik PLN cukup untuk mensuplai beban puncak, maka baterai tidak akan beroperasi paralel dengan listrik PLN.

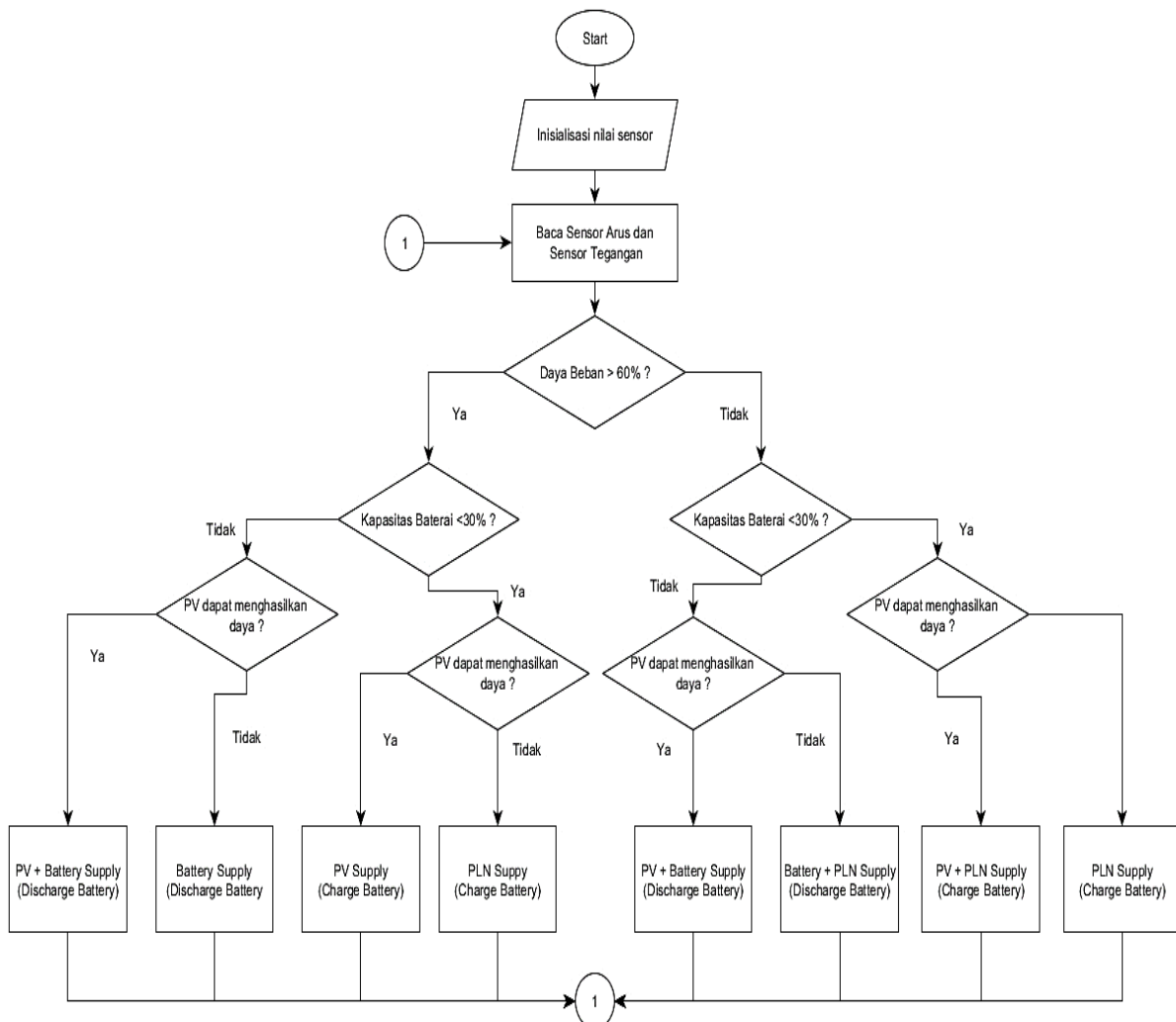
Pada PLTH yang dirancang terdapat tiga sumber energi yang dapat menyuplai beban secara langsung yaitu Panel Surya, Baterai, dan PLN. Dari ketiga sumber ini akan ditentukan sumber mana yang akan menyuplai beban

dengan mempertimbangkan tiga kondisi. Terdapat tiga kondisi yang selalu dipantau oleh sensor arus dan tegangan yaitu, pertama adalah menentukan saat panel sudah tidak menghasilkan daya (misalnya pada waktu malam hari), kedua saat kapasitas baterai tidak mencukupi untuk menyuplai beban, ketiga saat total daya beban yang menyala diatas batas yang telah ditentukan. Dari ketiga aspek tersebut akan diperoleh kondisi *switching* pada relai. Kondisi tersebut akan dijabarkan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tabel kondisi pertimbangan sumber mana yang akan digunakan.

Beban	Kapasitas Baterai	Photovoltaic	Keputusan
$\leq 60\%$	$> 30\%$	1 (Terang)	PV + Baterai
$\leq 60\%$	$> 30\%$	0 (Gelap)	Baterai
$\leq 60\%$	$\leq 30\%$	1	PV
$\leq 60\%$	$\leq 30\%$	0	PLN
$> 60\%$	$\leq 30\%$	1	PV + Baterai
$> 60\%$	$> 30\%$	0	Baterai + PLN
$> 60\%$	$> 30\%$	1	PV + PLN
$> 60\%$	$\leq 30\%$	0	PLN

Berdasarkan definisi PLTH yang dijelaskan diatas maka dapat disimpulkan flowchart dari sistem PLTH adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Flowchart Sistem

Switching relai untuk mengatur pemakaian sumber akan berpedoman sesuai dengan Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kombinasi ON dan OFF relai

Relai 8	Relai 3	Relai 7	Relai 5	Relai 6	Relai 4	Baterai	Sumber
0	0	0	0	0	0	Charge by PV	PV
0	0	0	0	0	1	Charge by PV	PV
0	0	0	0	1	0	Charge by PV	-
0	0	0	0	1	1	Charge by PV	-
0	0	0	1	0	0	Charge by PV	PV+PLN
0	0	0	1	0	1	Charge by PV	PV
0	0	0	1	1	0	Charge by PV	PLN
0	0	0	1	1	1	Charge by PV	PLN
0	0	1	0	0	0	Charge by PV	-
0	0	1	0	0	1	Charge by PV	-
0	0	1	0	1	0	Charge by PV	-
0	0	1	0	1	1	Charge by PV	-
0	0	1	1	0	0	Charge by PV	PLN
0	0	1	1	0	1	Charge by PV	-
0	0	1	1	1	0	Charge by PV	PLN
0	0	1	1	1	1	Charge by PV	PLN
0	1	0	0	0	0	Discharge	PV+Bat
0	1	0	0	0	1	Discharge	PV
0	1	0	0	1	0	Discharge	Bat
0	1	0	0	1	1	Discharge	Bat
0	1	0	1	0	0	Discharge	PV+PLN
0	1	0	1	0	1	Discharge	PV
0	1	0	1	1	0	Discharge	PLN
0	1	0	1	1	1	Discharge	PLN
0	1	1	0	0	0	Discharge	Bat
0	1	1	0	0	1	Discharge	Bat
0	1	1	0	1	0	Discharge	Bat
0	1	1	0	1	1	Discharge	Bat
0	1	1	1	0	0	Discharge	Bat+PLN
0	1	1	1	0	1	Discharge	Bat
0	1	1	1	1	0	Discharge	PLN
0	1	1	1	1	1	Discharge	PLN
1	0	0	0	0	0	Charge by PLN	PV
1	0	0	0	0	1	Charge by PLN	PV
1	0	0	0	1	0	Charge by PLN	-
1	0	0	0	1	1	Charge by PLN	-
1	0	0	1	0	0	Charge by PLN	PV+PLN
1	0	0	1	0	1	Charge by PLN	PV
1	0	0	1	1	0	Charge by PLN	PLN
1	0	0	1	1	1	Charge by PLN	PLN
1	0	1	0	0	0	Charge by PLN	-
1	0	1	0	0	1	Charge by PLN	-
1	0	1	0	1	0	Charge by PLN	-
1	0	1	0	1	1	Charge by PLN	-
1	0	1	1	0	0	Charge by PLN	PLN
1	0	1	1	0	1	Charge by PLN	-
1	0	1	1	1	0	Charge by PLN	PLN
1	0	1	1	1	1	Charge by PLN	PLN
1	1	0	0	0	0	Discharge	PV+Bat
1	1	0	0	0	1	Discharge	PV
1	1	0	0	1	0	Discharge	Bat
1	1	0	0	1	1	Discharge	Bat
1	1	0	1	0	0	Discharge	PV+PLN
1	1	0	1	0	1	Discharge	PV

1	1	0	1	1	0	Discharge	PLN
1	1	0	1	1	1	Discharge	PLN
1	1	1	0	0	0	Discharge	Bat
1	1	1	0	0	1	Discharge	Bat
1	1	1	0	1	0	Discharge	Bat
1	1	1	0	1	1	Discharge	Bat
1	1	1	1	0	0	Discharge	Bat+PLN
1	1	1	1	0	1	Discharge	Bat
1	1	1	1	1	0	Discharge	PLN
1	1	1	1	1	1	Discharge	PLN

3. Hasil Pengujian dan Analisis

3.1. Pengujian kombinasi 2 sumber energi

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji apakah sistem dapat disuplai oleh kombinasi 2 sumber energi. Pengujian dilakukan dengan mengikuti Tabel 3. berikut. Sumber 1 akan dikombinasikan dengan sumber 2 untuk menyuplai seluruh beban. Daya beban tiap sumber akan ditampilkan di LCD.

Tabel 3. Tabel Pengujian Kombinasi 2 Sumber

Sumber 1	Sumber 2
Panel Surya	PLN
Baterai	PLN
Baterai	Panel Surya

Hasil Pengujian :

Tabel 4. Hasil Pengujian Kombinasi 2 Sumber Energi

Sumber 1	Sumber 2	Daya Sumber 1 (Watt)	Daya Sumber 2 (Watt)	Total Daya (Watt)
Panel Surya	PLN	1,68	10,67	12,35
		1,62	10,70	12,32
		1,71	10,65	12,36
		1,70	10,63	12,33
		1,69	10,72	12,41
Baterai	PLN	2,27	11,11	13,38
		2,26	11,23	13,49
		2,40	11,20	13,6
		2,29	11,18	13,47
		2,31	11,17	13,48
Panel Surya	Baterai	2,01	11,35	13,36
		2,02	11,40	13,42
		1,99	11,38	13,37
		2,07	11,39	13,47
		2,01	11,39	13,40

Seperti terlihat pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa distribusi daya beban tidak merata. Dapat dikarenakan kemampuan sumber dalam menyuplai beban yang berbeda-beda dan juga dapat dikarenakan beban mengalami fluktuasi.

3.2. Pengujian Pengisian dan Penyaluran Daya Baterai

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem dapat melakukan *switching* saat kondisi baterai kurang dari 30% ataupun saat baterai penuh. Dalam pengujian ini juga akan ditampilkan penyaluran beban pada baterai. Pengujian dimulai dari keadaan baterai *discharging* dimulai pada saat kapasitas baterai 60% hingga 30%. Akan dihitung daya yang keluar dari baterai saat *discharging* (menyuplai keseluruhan beban atau 13,6 Watt). Lalu pada saat kapasitas baterai dibawah 30% *switch* akan memulai keadaan *charging*. Keadaan *charging* akan tetap terjadi hingga baterai penuh. Akan ditampilkan juga daya yang mengalir saat *charging*. Pada saat *charging*, baterai akan disuplai oleh panel surya.

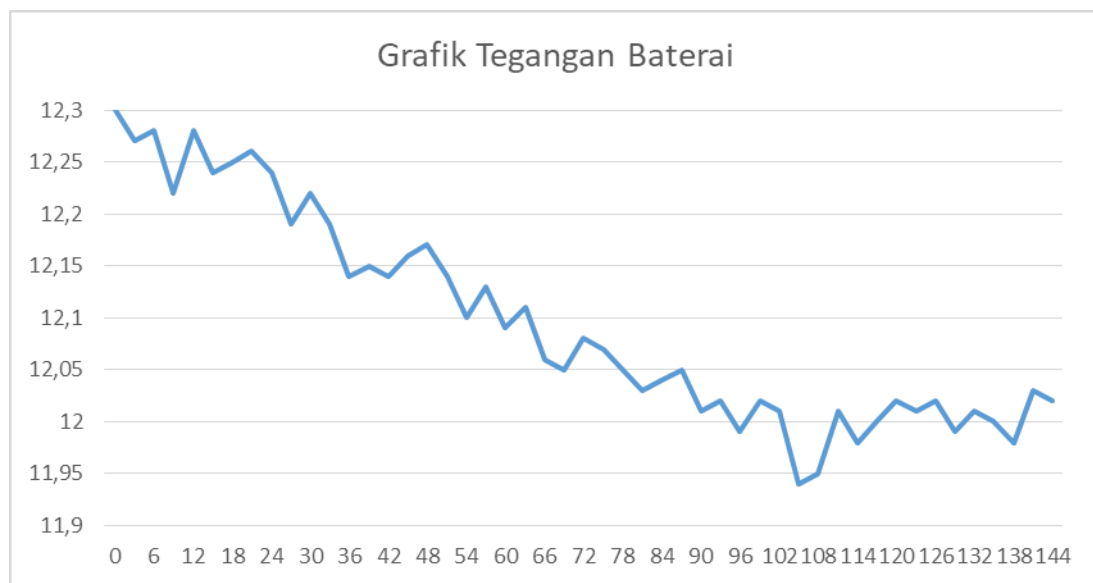
Hasil Pengujian :

Tabel 5. Hasil Pengujian

Kondisi Baterai (V)	Kondisi Baterai (%)	Kondisi Baterai	Relai 3	Daya Beban (Watt)
12,3	60	Discharging	ON	13,43
12,27	57	Discharging	ON	13,25
12,28	58	Discharging	ON	13,30
12,22	52	Discharging	ON	13,34
12,28	58	Discharging	ON	13,31
12,24	54	Discharging	ON	13,37
12,25	55	Discharging	ON	13,35
12,26	56	Discharging	ON	13,37
12,24	54	Discharging	ON	13,41
12,19	49	Discharging	ON	13,42
12,22	52	Discharging	ON	13,38
12,19	49	Discharging	ON	13,39
12,14	44	Discharging	ON	13,38
12,15	45	Discharging	ON	13,34
12,14	44	Discharging	ON	13,36
12,16	46	Discharging	ON	13,37
12,17	47	Discharging	ON	13,29
12,14	44	Discharging	ON	13,32
12,1	40	Discharging	ON	13,33
12,13	43	Discharging	ON	13,36
12,09	39	Discharging	ON	13,34
12,11	41	Discharging	ON	13,35

12,06	36	Discharging	ON	13,38
12,05	35	Discharging	ON	13,40
12,08	38	Discharging	ON	13,41
12,07	37	Discharging	ON	13,39
12,05	35	Discharging	ON	13,38
12,03	33	Discharging	ON	13,34
12,04	34	Discharging	ON	13,33
12,05	35	Discharging	ON	13,32
12,01	31	Discharging	ON	13,28
12,02	32	Discharging	ON	13,36
Daya Keluar rata-rata (Watt):				13,354
11,99	29	Charging	OFF	-4,45
12,02	32	Charging	OFF	-2,72
12,01	31	Charging	OFF	-3,31
11,94	24	Charging	OFF	-3,64
11,95	25	Charging	OFF	-3,71
12,01	31	Charging	OFF	-3,28
11,98	28	Charging	OFF	-3,67
12	30	Charging	OFF	-1,91
12,02	32	Charging	OFF	0
12,01	31	Charging	OFF	0
12,02	32	Charging	OFF	0
11,99	29	Charging	OFF	0
12,01	31	Charging	OFF	0
12	30	Charging	OFF	0
11,98	28	Charging	OFF	0
12,03	33	Charging	OFF	0
12,02	32	Charging	OFF	0
Daya Masuk rata-rata (Watt):				-1,57

Seperti terlihat pada Gambar 5, dapat disimpulkan bahwa *switch* bekerja sesuai dengan rancangan yang telah dibuat yaitu saat baterai berada dibawah 30% (12 Volt). Daya keluaran rata-rata saat *discharging* adalah 13,354 Watt. Dan daya masuk rata-rata saat *charging* adalah 1,57 Watt. Pada saat keadaan *charging* terjadi hujan sehingga pengujian dihentikan.



Gambar 5. Grafik tegangan baterai

3.3. Pengujian Sistem Hybrid Terhadap Beban

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai dengan perancangan yang telah direncanakan. Yaitu untuk mengetahui saat saat sistem melakukan switching. Switching seharusnya terjadi saat panel surya tidak dapat menghasilkan daya, daya baterai kurang dari 30% dan kondisi beban yang berfluktuasi. Pengujian dilakukan untuk menguji apakah sistem bekerja sesuai dengan yang telah direncanakan sebelumnya yaitu seperti Tabel 6 Sistem hybrid berikut.

Tabel 6. Sistem Hybrid

Kondisi Beban	Kapasitas Baterai	Kondisi Panel	Sumber yang menyala	Kondisi Baterai
≤60%	>30%	Terang	Panel Surya + Baterai	Discharge
≤60%	>30%	Gelap	Baterai	
≤60%	≤30%	Terang	Panel Surya	Charging
≤60%	≤30%	Gelap	PLN	
>60%	>30%	Terang	Panel Surya + Baterai	Discharge
>60%	>30%	Gelap	Baterai + PLN	
>60%	≤30%	Terang	Panel Surya + PLN	Charge
>60%	≤30%	Gelap	PLN	

Hasil Pengujian :

Tabel 7. Hasil Pengujian Sistem Hybrid

Beban 1 (Lampu DC 2 Watt)	Beban 2 (Lampu DC 3 Watt)	Beban 3 (Kipas DC 8 Watt)	Beban 4 (Charger DC 1 Watt)	Daya Beban (Watt)	Persentase Beban (%)	Kapasitas Baterai (%)	Kondisi Panel	Sumber yang menyala	Keberhasilan
0	0	0	0	0,03	0,09	32	ON	Panel Surya + Bat	Berhasil

0	0	0	1	0,84	6,14	32	ON	Panel Surya + Bat	Berhasil
0	0	1	0	7,8	57,01	32	ON	Panel Surya + Bat	Berhasil
0	0	1	1	8,64	63,15	31	ON	Panel Surya + Bat	Berhasil
0	1	0	0	3	21,92	31	OFF	Baterai	Berhasil
0	1	0	1	3,84	28,07	31	OFF	Baterai	Berhasil
0	1	1	0	10,8	78,94	31	OFF	Baterai + PLN	Berhasil
0	1	1	1	11,64	85,08	31	OFF	Baterai + PLN	Berhasil
1	0	0	0	2,04	14,91	29	ON	Panel Surya	Berhasil
1	0	0	1	2,88	21,05	29	ON	Panel Surya	Berhasil
1	0	1	0	9,84	71,92	29	ON	Panel Surya + PLN	Berhasil
1	0	1	1	10,68	78,07	29	ON	Panel Surya + PLN	Berhasil
1	1	0	0	5,04	36,84	29	OFF	PLN	Berhasil
1	1	0	1	5,88	42,98	28	OFF	PLN	Berhasil
1	1	1	0	12,84	93,85	28	OFF	PLN	Berhasil
1	1	1	1	13,58	99,89	28	OFF	PLN	Berhasil

Berdasarkan pengujian diatas dapat dikatakan sistem hybrid bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Dari hasil perancangan, implementasi dan pengujian tugas akhir ini, data diperoleh beberapa kesimpulan:

4. Kesimpulan

1. Dengan akurasi rata-rata sensor tegangan 98,4% dan sensor arus dengan *error* rata-rata 1,78% diperoleh nilai daya pengisian oleh panel surya yaitu sekitar 4,45 Watt dengan arus masukan sekitar 0,37 Ampere.
2. Daya total untuk seluruh beban yang diuji adalah 13,68 Watt
3. Berdasarkan pengujian, sistem hybrid yang telah dirancang dapat dikatakan bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat.

5. Saran

Berdasarkan pada hasil dari perancangan dan pengujian sistem pada tugas akhir ini, masih banyak kekurangan yang dapat diperbaiki untuk pengembangan berikutnya. Adapun beberapa saran yang dapat berikan yaitu:

1. Diperlukan peningkatan akurasi dalam pembacaan sensor agar sistem dapat bekerja lebih baik lagi.
2. Beban yang dapat disuplai hanya beban DC maka diperlukan inverter untuk dapat menyuplai beban AC.
3. Daya maksimum yang dapat disuplai yaitu 36 Watt. Masih perlu ditingkatkan lagi agar dapat diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

Daftar Pustaka:

- [1] Janaloka. (2015). Potensi Energi Matahari Di Indonesia. Dipetik Oktober 11, 2017, dari janaloka.com: <https://janaloka.com/potensi-energi-matahari-di-indonesia/>
- [2] Banartama, Z. A., & Windarto, J. (2012). Makalah Seminar Kerja Praktek. Sistem Tenaga Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Yang Dibuat Di Kedubes Austrian , 2.
- [3] Septina, W. (2013). Sel Surya : Struktur dan Cara Kerja. Dipetik Desember 4, 2016, dari Teknologi Surya: <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>
- [4] F. Aprian, "Perancangan Stand Alone PV System dengan MPPT menggunakan Metode Modified Hill Climbing," in *Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI- ITS*, Surabaya, 2010.
- [5] Pangeran, H. (2012). Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori. Baterai (Battery/Accumulator), 18-20.
- [6] Sukis Wariyono, Y. M. (2008). Mari Belajar: Ilmu Alam Sekitar: Panduan Belajar IPA Terpadu. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- [7] Nugroho, D. N. (2011). Skripsi. Analisis Pengisian Baterai pada Rancang Bangun Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius untuk Pencatutan Beban Listrik , 22-23.
- [8] Shuwanto, H. (2013). Skripsi (Undergraduate). Lampu Jalan Berbasiskan Panel Surya Menggunakan Teknik MPPT.
- [9] Ramdhani, Mohamad. (2008). Rangkaian Listrik. Bandung: Erlangga
- [10] Rashid, Muhammad H. (2001). Power Electronics Handbook. Florida : Academic Press.
- [11] Wardhana, L. (2006). Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR seri ATmega8535 Simulasi, Hardware dan Aplikasi. Yogyakarta: Andi.
- [12] Hu, Chenming dan White, Richard M. (1983). Solar Cells from Basic to Advanced Systems. University of California. Berkeley.
- [13] Kho, D. (2017). Pengertian Sensor Efek Hall (Hall Effect Sensor) dan Prinsip Kerjanya. Dipetik Oktober 20, 2017, dari Teknik Elektronika: <http://teknikelektronika.com/pengertian-sensor-efek-hall-hall-effect-sensor-prinsip-kerja-efek-hall/>
- [14] Rakhman, A. (2017). Tugas Akhir. Rancang Bangun Sistem Pengontrolan Beban Pada DC Power House.
- [15] "Global Energy," PT. Global Dimensi Mandiri, 23 Februari 2017. [Online]. Available: <http://globalenergy.co.id/pembangkit-listrik-tenaga-surya/>. [Accessed 16 Agustus 2017].
- [16] R. Hidayat, "Konstruksi dan Bagian Bagian Baterai atau Aki," 22 Maret 2015. [Online]. Available: <http://www.kitapunya.net/2015/03/konstruksi-bagian-baterai-aki.html>. [Accessed 14 November 2017].
- [17] T. I. Ramdhiani, "Rancang Bangun Perangkat Keras Alat Pengelompokkan Buah Kopo Berdasarkan Warna Secara Otomatis Via Short Message Service (SMS) Berbasis Mikrokontroler Atmega 32," in *Tugas Akhir, Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya*, 2015, pp. 6-11.
- [18] D. Kho, "Rumus dan Rangkaian Pembagi Tegangan (Voltage Divider)," *Teknik Elektronika*, 11 2015. [Online]. Available: <http://teknikelektronika.com/rumus-rangkaian-pembagi-tegangan-voltage-divider-resistor/>. [Accessed 16 November 2017].

- [19] F. Zal, "Apa itu Mikrokontroler?," 9 April 2010. [Online]. Available: <https://fahmizaleeits.files.wordpress.com/2010/04/micro.jpg>. [Accessed 18 November 2017].
- [20] T. King, M. A. Osborne, J. Peng and B. King, "Relay-Board-How-To," Tangient LLC, 30 November 2016. [Online]. Available: <https://arduino-info.wikispaces.com/file/view/RelayInternals.jpg/550419620/RelayInternals.jpg>. [Accessed 19 November 2017].
- [21] D. Kho, "Pengertian Relay dan Fungsinya," Teknik Elektronika, Maret 2015. [Online]. Available: <http://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>. [Accessed 20 November 2017].
- [22] "LM2576xx Series Simple Switcher 3-A Step Down Voltage Regulator," Texas Instruments, Dallas, 2016.
- [23] R. Willem, "Powering Your Microcontroller's Base Project," ermicro, 28 Februari 2009. [Online]. Available: <http://www.ermicro.com/blog/?p=820>. [Accessed 20 November 2017].
- [24] "Rangkaian Pembagi Tegangan," Elektronika dan Instrumentasi, 07 Juni 2010. [Online]. Available: <http://electronical-instrument.blogspot.co.id/2010/06/rangkaian-pembagi-tegangan.html>. [Accessed 21 November 2017].

