

PEMBANGKIT HIBRIDA PANEL SURYA DAN LINTASAN CATU PLN

HYBRID SOLAR CELL AND POWER LINE PLN

I Wayan Pasek Dian Wahyudi¹

¹Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹pdwahyudi@telkomuniversity.ac.id ²eknikurniawan@telkomuniversity.ac.id

³kharismaadam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Produktifitas masyarakat umum sangat bergantung pada perangkat-perangkat elektronik di sekitar. Pada banyak kasus, PLN tidak selalu dapat menjamin ketersediaan daya dari sumber daya listrik yang diperlukan. Pemutusan daya listrik yang tiba-tiba dapat membuat perangkat elektronik berbasis memori seperti *computer*, *Playstation*, dan *smart TV* mengalami kerusakan akibat perubahan tegangan listrik yang mendadak. Maka dari itu sangat dibutuhkan sebuah sistem yang mampu menjadi cadangan energi listrik baik untuk menambah waktu penggunaannya maupun untuk menyediakan kesempatan bagi pengguna untuk menonaktifkan perangkat elektroniknya sesuai prosedur.

Hybrid solar cell and power line PLN adalah pembangkit listrik *hybrid* yang menggunakan panel surya dan catuan PLN sebagai sumber energinya secara bergantian. Pada Tugas Akhir kali ini telah dirancang dan diimplementasikan pembangkit listrik hybrid dengan menggunakan baterai sebagai perangkat penyimpanan daya serta metode peralihan energi menggunakan system ATS (*Automatic Switch System*). Peralihan catuan energy listrik menggunakan sebuah kontaktor mempunyai keluaran arus AC. Dari sistem yang telah dibuat, perangkat catuan *hybrid* ini dapat menyediakan listrik AC 220V yang siap digunakan pada level rumah tangga serta menyediakan opsi yang lebih bervariasi dan lebih aman untuk melindungi komponen elektronik dari pemutusan daya yang tidak terprediksi. Penambahan komponen baterai di dalam perancangannya memungkinkan perangkat untuk menyimpan daya pada cuaca cerah dan siap digunakan ketika hujan ataupun malam hari. Charging pada baterai 12 Volt dilakukan dengan nilai tegangan 13,6 Volt dengan arus keluaran rata-rata 1 Ampere dengan durasi rata-rata selama 4 jam. Sistem switching akan berjalan jika tegangan pada baterai $\geq 12V$.

Kata kunci: *Hybrid*, Modul Surya, *Power Line PLN*.

Abstract

The productivity of the general public is very dependent on electronic devices around. In many cases, PLN cannot always guarantee the availability of power from the required power source. Sudden power cuts can cause memory-based electronic devices such as computers, Playstations, and smart TVs to experience damage due to sudden changes in voltage. Therefore, a system that is capable of being a backup of electrical energy is needed both to increase its usage time and to provide an opportunity for users to turn off their electronic devices according to the procedure.

Hybrid solar cell and power line PLN is a hybrid power plant that uses solar panels and PLN supplies as an energy source alternately. In this final project, a hybrid power plant using a battery as a power storage device has been designed and implemented as well as an energy transfer method using an ATS (*Automatic Switch System*) system. Switching the supply of electrical energy using a contactor has an AC current output. From the system that has been created, this hybrid ration device can provide 220V AC electricity that is ready for use at the household level as well as provide more varied and safer options to protect electronic components from unpredictable power cuts. The addition of a battery component in the design allows the device to save power in sunny weather and is ready to use when it rains or at night. Charging on a 12 Volt battery is carried out with a voltage value of 13.6 Volts with an average output current of 1 Ampere with an average duration of 4 hours. The switching system will run if the voltage on the battery is $\geq 12V$.

Keywords: Hybrid, Solar Module, PLN Power Line

1. Pendahuluan

Di zaman yang modern seperti saat ini, produktifitas kita sangat bergantung pada perangkat-perangkat elektronik di sekitar kita. Pada banyak kasus, PLN tidak selalu dapat menjamin ketersediaan daya dari sumber daya listrik yang diperlukan. Oleh sebab itu sumber daya listrik cadangan sangat diperlukan mengingat banyaknya perangkat elektronik berbasis memori yang sangat sensitif pada perubahan tegangan yang masuk. Perubahan nilai tegangan daya yang drastis dapat mengganggu kinerja perangkat elektronik yang kita gunakan sehari-hari.

Hybrid solar cell dan power line PLN merupakan penggabungan dua sumber tegangan yaitu dari catuan DC panel surya dan catuan AC dari PLN. Sistem dirangkai agar mampu menanggulangi masalah diatas. Sistem ini memerlukan rangkaian switcher yang bertugas mengalihkan catuan tegangan apabila sumber listrik catuan dari PLN tidak beroperasi/mati. Dengan adanya sistem ini perangkat elektronik terhindar dari putusnya sumber tegangan yang berpotensi merusak komponen elektronik yang tengah bekerja.

Pada Tugas Akhir kali ini telah dirancang dan diimplementasikan konsep Hybrid solar cell dan power line PLN dengan menggunakan metode pengubah sumber tegangan DC dari panel surya menjadi tegangan AC dengan menggunakan rangkaian inverter dan system switching yaitu dengan menggunakan rangkaian kontaktor. Sehingga, sistem ini dapat menyalurkan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan power line PLN dengan baterai sebagai media penyimpanan daya cadangan tanpa harus memutus suplai ke beban saat proses pergantian sumber tegangan.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Prinsip Kerja Sistem

Pada tugas akhir kali ini, akan dirancang dan diimplementasikan metode pembangkit listrik *hybrid* yaitu menggunakan panel surya dan catu daya AC dari PLN, sebagai salah satu solusi yang ditawarkan untuk mengefisiensi penggunaan sumber energi berbayar dari PLN. Serta, sistem switching otomatis yang dilakukan oleh ATS contactor untuk mengaktifkan sumber tegangan dari catuan AC PLN ketika output panel surya lebih kecil dari jumlah beban yang harus disuplai. sesuai.

2.2 Pembangkit Listrik tenaga Hibrida

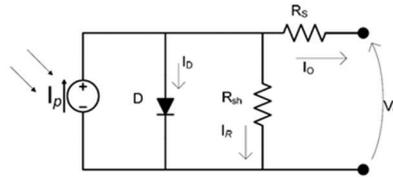
Pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) adalah gabungan atau integrasi antara beberapa jenis pembangkit listrik dengan berbagai klasifikasi baik terbarukan maupun tidak. Sekian jenis pembangkit tersebut dioperasikan bersamaan dan dihubungkan pada satu jalur (busbar) untuk memikul beban.

Efektifitas tiap-tiap pembangkit tidaklah sama tiap saat misal PLTS yang hanya menyuplai listrik pada siang hari saat terik, sebaliknya saat malam hari PLTS sama sekali tidak bisa menyuplai tenaga listrik. Namun sesuai dengan tujuan pengoperasian PLTH, yaitu menghemat BBM dan mengurangi emisi CO₂, maka pengoperasian *Power Line* PLN merupakan variabel terakhir yang mengikuti perubahan suplai daya PLTS, sehingga kontribusi daya yang dihasilkan tergantung dari suplai daya PLTS.

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang memanfaatkan *energy* foton yang dihasilkan sinar matahari dan mengkonversikannya menjadi tenaga listrik. Konversi tenaga ini dapat terjadi karena adanya sel-sel *photovoltaic* pada panel surya. Sel-sel ini berupa silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian rupa, sehingga ketika komponen sel tersebut mendapat energi foton maka akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan menghasilkan tegangan listrik arus searah.

Sel surya secara umum bertugas mengkonversi sel *photovoltaic* menjadi energi listrik. Dimana rangkaian tertutup sel surya berfungsi sebagai sumber arus.



Gambar II-5 Pemodelan Sel Surya

Dalam pemodelan secara matematis, maka dapat digambarkan rangkaian penggantinya seperti pada Gambar II-5 diatas. Analisa dapat dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja panel surya. Arus *short circuit* (I_{sc}) panel surya dipengaruhi fungsi iluminasi matahari (S) dan tegangan *open circuit*-nya (V_{oc}) dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_o = n_p I_{ph} - n_p I_{rs} \left[\exp \left(\frac{qV_o}{kTAn_s} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

Dimana,

I_o = arus keluaran panel surya.

n_p = banyak sel paralel.

n_s = banyak sel terhubung seri.

k = konstanta.

q = kecepatan perpindahan elektron.

V_o = tegangan keluaran.

T = suhu permukaan panel

A = konstanta deviasi karakteristik p-n junction

2.4 Baterai

Baterai berfungsi menyimpan *energy* listrik yang dihasilkan modul surya sebelum dialihkan untuk memenuhi kebutuhan beban. Ukuran baterai yang dipakai tergantung dari jumlah modul surya yang dipakai dan *load pattern* dari beban. Terlalu besarnya ukuran batrai bagus untuk efisiensi kerja dari batrai namun akan membebankan *cost* yang lebih besar pula, sebaliknya ukuran baterai terlalu kecil dapat melewatkan potensi cahaya matahari yang ada, karena tidak muatnya kapasitas batrai yang kecil.

2.5 Baterai

DC-DC converter yaitu sebuah rangkaian yang berfungsi sebagai pengubah masukan daya listrik satu arah (*DC*) menjadi daya listrik *DC* berbeda yang tegangannya, arusnya, atau dua-duanya menjadi terkontrol. Prinsip kerja rangkaian ini mirip seperti rangkaian trafo yang mengkonversi tegangan *AC* menjadi lebih rendah atau tinggi. Pengurangan atau peningkatan daya *input* tidak terjadi pada proses *converting* daya listriknya, maka dapat ditulis dalam bentuk persamaan seperti dibawah.

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \quad (2.4)$$

Dimana,

P_{in} = daya masukan

P_{out} = daya keluaran

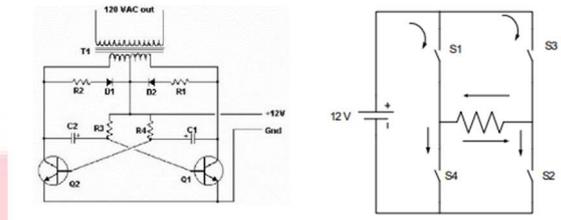
P_{loss} = daya yang dirubah ke bentuk lain

Prinsip yang biasa digunakan rangkaian *DC-DC converter* dalam proses pengkonversiannya yaitu *switching*, dikenal dengan istilah *SMPS (Switching Mode Power Supply)*. Umumnya konsep ini terbagi menjadi dua bagian, yakni bagian *control* dan bagian *power*. Bagian *control* adalah bagian yang mengatur state *On-Off* dari *switch* di dalam rangkaian. Sedangkan bagian *power* adalah bagian yang bertugas mengkonversi tegangan masukan. *Switching power supply* sendiri memiliki tiga topologi dasar yang digunakan dalam sistemnya, topologi ini sendiri adalah *buck*, *boost*, dan *buck boost*.

2.6 Inverter

Inverter adalah rangkaian komponen elektronika yang berfungsi merubah tegangan arus searah *DC* menjadi tegana arus bolak-balik *AC*. Terdapat tiga jenis tegangan *AC* keluaran suatu rangkaian inverter, antara lain tegangan *AC* dengan bentuk gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*), dan sinus modifikasi (*sine wave modified*). Inverter dapat di-supply dayanya dari panel surya, baterai, dan sumber tegangan *DC* lainnya. Pada saat mengkonversi tegangan *DC*

menjadi tegangan AC, inverter memerlukan sebuah step up transformer untuk menaikkan tegangan masukan. Berikut contoh rangkaian inverter yang sederhana.



Gambar II-11 Skema Prinsip kerja Inverter

Pada dasarnya inverter memiliki prinsip kerja menggunakan 4 buah saklar seperti ditunjukkan gambar II-11. Saat saklar S₁ dan S₂ menunjukkan kondisi ON maka arus DC akan mengalir menuju beban R dari kiri ke kanan. Namun bila kondisi ON terjadi pada saklar S₃ dan S₄ aka arus DC mengalir menuju beban R dari kanan ke kiri. Ada 2 macam penggolongan inverter.

2.7 Sensor Arus

Sensor adalah sebuah alat yang dirangkai dengan tujuan untuk menerjemahkan suatu besaran fisik menjadi besaran elektrik agar kemudian dapat dinilai besar atau kecilnya besaran fisik yang akan diukur. Berdasarkan penjelasan mengenai sensor tadi maka dapat diartikan sensor arus adalah sebuah perangkat yang dapat menilai atau mendeteksi besar kecilnya arus listrik. Sensor arus juga dapat menghasilkan sinyal yang sebanding dan kemudian dapat ditampilkan melalui *device* berbeda.

2.8 Relai

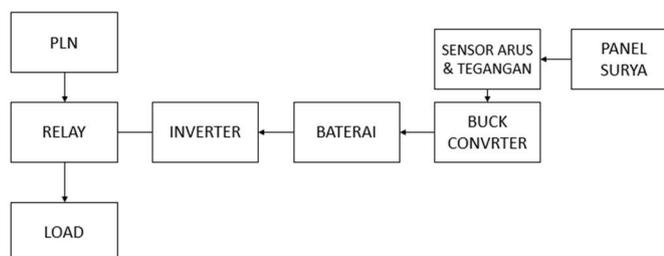
Relay atau relai merupakan rangkaian alat elektronik yang berfungsi sebagai saklar otomatis dengan memanfaatkan penerapan dari logika *switching*. Rangkaian relai yang paling sederhana adalah relai elektromekanis yang mempunyai prinsip kerja memberikan pergerakan mekanik saat dialiri energi listrik dengan jumlah tertentu. Prinsip kerja relai pada umumnya dimanfaatkan untuk menjalankan fungsi-fungsi berikut:

1. Sebagai *remote control* : memberi sinyal yang dapat mematikan dan menyalakan suatu alat dari jarak dekat maupun jauh.
2. Sebagai logika control suatu sistem

Dua komponen utama penyusun relai yaitu *coil* dan *contact*. *Coil* adalah satu gulungan kawat yang diberi aliran arus listrik, sedangkan *contact* adalah saklar yang bergerak berdasarkan ada atau tidaknya arus listrik pada *coil*. Berdasarkan kondisi awalnya, *contact* dapat digolongkan menjadi dua jenis. Jenis yang pertama adalah *Normally Open (NO)* atau *contact* yang mempunyai kondisi terbuka sebelum *contact* diaktifkan. Dan yang kedua adalah jenis *Normally Close (NC)* atau *contact* yang mempunyai kondisi tertutup sebelum *contact* diaktifkan

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem



Gambar III-1 Diagram Blok Sistem

3.2 Perancangan Sistem Baterai

Pemaparan sistem supply tenaga dari PLTH adalah sebagai berikut:

1. Saat kondisi beban yang rendah maka supply tenaga akan bersumber dari PV (photovoltaic module) dan baterai.
2. Pada saat beban terdeteksi diatas 75% atau saat status baterai kosong sampai pada level yang sudah ditentukan, supply listrik dari PLN akan digunakan. Sebagian untuk men-supply beban dan sebagian untuk mengisi baterai sampai pada kapasitas 70%-80% dengan rangkaian rectifier sebagai charger yang menyediakan output tegangan DC dari input tegangan AC.

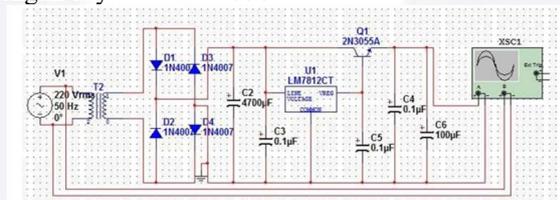
Saat level beban berada di puncak atau 100% maka listrik PLN dan baterai akan beroperasi secara bersamaan secara parallel.

3.3 Perancangan Buck Converter

Penggunaan komponen buck converter pada tugas akhir ini bertujuan untuk menurunkan dan menstabilkan daya input dari panel surya yang sifatnya berfluktuasi dari 0-24 Volt menjadi 0-12 Volt. Sehingga pada saat tegangan dari panel surya lebih besar dari 12 Volt, maka buck converter akan menurunkan dan menstabilkan tegangan keluarannya pada nilai 12 Volt. Sedangkan pada saat tegangan dari panel surya kurang dari 12 Volt, maka tegangan yang dihasilkan buck converter akan bernilai sama dengan tegangan yang dialirkan oleh panel surya. Perancangan buck converter ini menggunakan IC XL4005 yang mempunyai frekuensi tetap sebesar 300KHZ. Berikut adalah pemetaan konfigurasi pin dan datasheet dari modul XL4005.

3.4 Inverter

Pada sistem ini digunakan *inverter* kit DC to AC 750 Watt dan menggunakan trafo 5A dengan tipe SAA-1000 12V DC to 220V AC. Inverter yang digunakan menghasilkan gelombang sinus *modified sine wave* dengan daya maksima 750Watt.



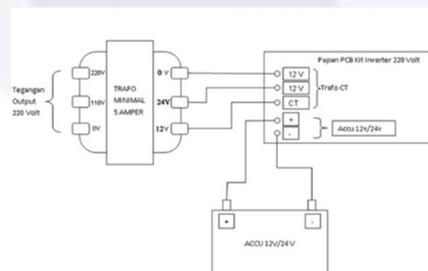
Gambar III-11 Skema Rangkaian Inverter

3.5 Wiring System

Wiring sistem bertujuan untuk menggambarkan skema wiring tugas akhir kali ini. Terdapat tiga pembagian utama dari wiring sistem yaitu:

1. Wiring Inverter dan Baterai

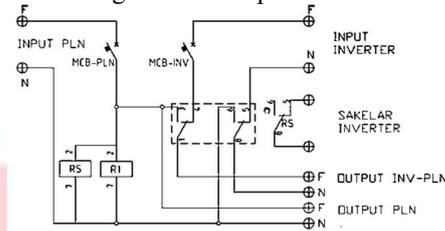
Wiring dari komponen inverter dan baterai membutuhkan komponen trafo 5A untuk mengurangi tegangan sehingga dapat digunakan pada tegangan kontrol (5 volt, 12 volt, dll.)



Gambar III-14 Wiring Rangkaian Baterai dan Inverter

2. Wiring Switching Relay

Wiring dari rangkaian switching terdiri dari beberapa komponen yaitu 2 buah relay omron MK2P-I, 2 MCB 1A, terminal kuning dan soket kontak untuk mencatu beban. Skema wiring rangkaian switching bisa dilihat pada Gambar III-15 dibawah.



Gambar III-15 Wiring Rangkaian Switcher

4. Hasil Pengujian dan Analisa

4.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya

Pengujian kali ini dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang diterima panel surya dan mengamati nilai daya keluarannya. Dari pengujian yang dilakukan, didapat hasil seperti Tabel 4.3 dibawah:

Tabel 4.3 Tabel Kelistrikan Panel Surya

Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
11,52	2,019	23,25888
13,59	1,23	16,7157
17,65	0,92	16,238
18,09	0,901	16,29909
18,38	0,72	13,2336
18,4	0,69	12,696
18,78	0,489	9,18342
18,99	0,38	7,2162
19,03	0,27	5,1381
19,15	0,22	4,213
19,18	0,173	3,31814
19,16	0,166	3,18056
19,18	0,141	2,70438
19,21	0,13	2,4973
19,24	0,113	2,17412

Setelah didapat data arus, tegangan, dan daya keluaran dari sel *photovoltaic* maka kita dapat mengamati kurva karakteristik dari perubahan nilai-nilai tegangan yang sudah dilakukan. Pada Tabel 4.3 diatas menunjukkan hasil pengujian karakteristik daya berdasarkan arus dari sel *photovoltaic*. Dapat kita amati bahwa semakin kecil nilai arus keluaran maka semakin kecil daya yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin besar nilai arus maka semakin besar daya yang dihasilkan. Dengan itu, dapat disimpulkan grafik yang terbentuk sudah sesuai dengan karakteristik daya *photovoltaic*, dimana daya *photovoltaic* dan arus *photovoltaic* berbanding lurus satu sama lain.

4.2 Pengujian Sensor tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dari sensor tegangan dan voltmeter digital. Pengujian ini menggunakan tegangan keluaran dari *power supply*. Pengujian dilakukan berulang dengan voltase yang berbeda sebanyak 5 kali.

Tabel 4.3 Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan dan Voltmeter

Pembacaan Voltmeter (V)	Pembacaan Sensor Tegangan (V)	Error (%)
5	5,08	0,16
9,2	9,36	0,17
11	11,47	0,43
12,9	13,44	0,41
15,4	15,78	0,24
18,7	18,95	0,13

Analisa dari pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dari sensor tegangan dan voltmeter digital. Dari data diatas ditunjukkan bahwa performa pembacaan dari sensor tegangan cukup akurat dengan nilai error rata-rata $\leq 1\%$, yaitu 0,25%.

4.3 Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dari sensor arus dan amperemeter digital. Pengujian ini menggunakan resistor 56 Ohm yang diliri arus keluaran dari *power supply* yang tegangannya diubah sebanyak 5 kali.

Tabel 4.3 Perbandingan Pembacaan Sensor Arus dan Amperemeter

Tegangan sumber (V)	I amperemeter (ampere)	I sensor arus (ampere)	Error (%)
9,2	0,44	0,47	0,68
11,1	0,56	0,56	0
12,4	0,62	0,63	0,16
15,2	0,76	0,8	0,52
18,6	0,93	0,94	0,18

Analisa dari pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dari I sensor arus dan I amperemeter. Dari data diatas ditunjukkan bahwa performa pembacaan dari sensor tegangan cukup akurat dengan nilai error rata-rata $\leq 1\%$, yaitu 0,308 %.

4.4 Pengujian Rangkaian Buck-Boost Converter

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kinerja rangkaian *buck-boost converter* mengatur tegangan keluarannya agar tetap berada pada nilai tegangan baterai yang digunakan. Pengujian ini dilakukan menggunakan *power supply* dan akan ditentukan *output* tegangannya bernilai 13,6 volt sesuai spesifikasi baterai yang digunakan.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tegangan Output Buck-Boost Converter

Vin (V)	Vout Buck-Boost Converter (V)	Vout Masukan Baterai (V)
9,54	13,54	13,60
10,2	13,57	13,60
11,41	13,57	13,60

12,12	13,59	13,60
13	13,59	13,60
14,8	13,57	13,60
15,77	13,57	13,60
16,02	13,59	13,60
17,56	13,57	13,60
18,09	13,59	13,60
19,13	13,57	13,60
20,02	13,57	13,60
21,02	13,57	13,60

Dari grafik Gambar 4.8 diatas dapat kita amati perbedaan tegangan keluaran dari rangkaian *buck-boost converter* dengan tegangan yang kita inginkan sebagai input dari baterai. Dengan nilai tegangan keluaran fluktuatif pada nilai 13,54 – 13,57 V dari target 13,60 V maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian *buck-boost converter* telah berfungsi dengan baik meredam fluktuasi tegangan keluaran panel surya dengan selisih perhitungan 0,03-0,06V dari tegangan Vin baterai.

4.5 Pengujian Sistem Switching Relay

Pada pengujian ini akan dilihat kinerja relai dalam melakukan *switching* sumber tegangan saat dari baterai ke PLN dan dari PLN ke baterai. Percobaan dilakukan dengan mengaktifkan dan menonaktifkan sumber PLN dan mengamati apakah sistem *switching* dapat berjalan atau tidak.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Sistem *Switching* Relai

Tegangan PLN (V)	Tegangan Keluaran Baterai (V)	Sumber	
		PLN	Baterai
220	12,18	ON	OFF
220	12,23	ON	OFF
220	12,11	ON	OFF
0	12,09	OFF	ON
0	12,11	OFF	ON
220	11,8	ON	OFF

Tabel 4.7 diatas dapat diamati kinerja *switching* tegangan keluaran sistem dengan tegangan masukan PLN menggunakan kontak NC pada relai. Sehingga menjadikan PLN sebagai catuan utama dan baterai sebagai sumber cadangannya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian dan analisa dari sistem yang sudah dirancang diimplementasikan maka penulis bisa menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Rangkaian *buck-boost converter* diperlukan pada sistem untuk menanggulangi fluktuasi yang terjadi pada sistem panel surya *off-grid*.
2. *Charging* pada baterai 12 Volt dilakukan dengan nilai tegangan 13,6 Volt dengan arus keluaran rata-rata 1 Ampere dengan durasi rata-rata selama 4 jam.
3. Saat intensitas matahari tinggi yaitu pada pukul 10.00 sampai 14.00 efisiensi mencapai 78%
4. Saat nilai tegangan output panel surya 13 volt – 14 volt, tegangan yang disalurkan ke baterai mencapai 12,4 sampai 13,30 Volt.

5. Perancangan kontak *normally close* pada relai diperuntukan untuk sumber tegangan utama (PLN), dan kontak *normally open* untuk sumber tegangan cadangan (Baterai).
6. Sistem switching akan berjalan jika tegangan pada baterai $\geq 12V$.

References:

- [1] Hasan, Kazi Mahmud, Abdullah-Al-Hamid, K. J. Reza, S. Khatun, M. R. Basar. (2013). *Sensor Based Autonomous Color Line Follower Robot with Obstacle Avoidance*. 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Application Colloquium (BEIAC).
- [2] David, 2008, Tugas akhir Pemodelan dan simulasi fotovoltaic sistem dengan menggunakan PSIM, Jurusan Teknik elektro, Fakultas teknik, Universitas kristen petra, Jakarta.
- [3] <http://buletinlitbang.dephan.go.id>. 2011, Mengenal sel surya sebagai energi alternatif.
- [4] <http://energisurya.wordpress>. 2008, Melihat prinsip kerja sel surya lebih dekat.
- [5] <http://panelsurya.com>. 2011, Sistem panel surya.