

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID SURYA DAN ANGIN UNTUK SUPLAI LISTRIK ARUS BOLAK BALIK

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONVERTER FOR HYBRID SOLAR PANEL AND WIND POWER SUPPLY FOR ALTERNATING CURRENT

Nur Sabbaha¹, Erwin Susanto, ST., MT., PhD², Ekki Kurniawan, ST., Msc.³
Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom^{1,2,3}
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

nursabbaha30@gmail.com¹, erwin.susanto@telkomuniversity.ac.id², ekki.kurniawan@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Pada saat ini sebagian besar pembangkit listrik di dunia masih menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas bumi. Bahan bakar fosil tersebut diperkirakan tahun 2050 akan habis sehingga menyebabkan ketersediaan sumber listrik menjadi berkurang. PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida) merupakan pembangkit listrik yang terdiri dari dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Tegangan yang didapatkan melalui panel surya dan turbin angin dikontrol oleh BCU dengan menggunakan metode *Synchronous Buck Converter* yang selanjutnya disimpan di aki. Tegangan yang disimpan di aki menuju *inverter full bridge* yang digunakan untuk mensuplai ke beban elektronik.

Pada pengujian BCU pada panel surya dan turbin angin, didapatkan efisiensi BCU pada panel surya sebesar 81,16%-95,41% sedangkan efisiensi BCU pada turbin angin didapatkan sebesar 59,9%-94,41% dengan kondisi pengisian aki 12V/100Ah. Disamping itu, BCU bekerja pada tegangan *input* maksimal 65,8V_{DC} dengan tegangan *output* ±13,8V serta arus maksimal yang mengalir ke aki 12V/100Ah sebesar 6,76A. Pada pengujian *inverter* didapatkan efisiensi terendah sebesar 68,21% pada beban lampu 15watt dan efisiensi tertinggi sebesar 98,47% pada *battery handphone* Lenovo 3,7V_{DC}/2000mAh.

Kata kunci : Panel Surya, Turbin Angin, *Inverter*, BCU

Abstract

Nowadays most of power plants in the world are using fossil fuels such as petroleum, coal, and natural gas. That fossil fuels are predicted to be exhausted in 2050. It will lead to lack of electric power source. Hybrid Power Plant is power plant that made from two different energy resource or more. The voltage obtained through solar panel and wind turbine which controlled by BCU by using *Synchronous Buck Converter* method and will continue to be stored in accumulator battery, and the accumulator voltage connected into *inverter full bridge* and will be used for supplying electronics load.

From BCU test results in solar panel and wind turbine, we know that this system has BCU efficiency about 81,16-95,41% in solar panel and BCU efficiency about 59,9-94,41% in wind turbine with accumulator charging condition 12V/100Ah. Besides, BCU works on maximum input voltage 65,8V_{DC} and output voltage ±13,8V with maximum current that goes to accumulator 12V/100Ah is about 6,76A. From *inverter* circuit test result we know that lowest efficiency is about 68,21% on 15 watt lamp as load and highest efficiency is about 98,47% on 3,7V_{DC}/2000mAH Lenovo smartphone battery as load.

Keywords : Solar Panel, Wind Turbine, Battery, *Inverter*, BCU

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pada zaman sekarang, pembangkit listrik di dunia masih menggunakan bahan bakar fosil yang menyebabkan ketersediaan bahan bakar fosil akan semakin menipis. Indonesia sebenarnya memiliki potensi sumber energi terbarukan yang melimpah seperti cahaya matahari sepanjang tahun dan energi angin cukup besar yang berada di pesisiran pantai maupun dibukit.

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida merupakan pembangkit listrik yang terdiri dari 2 atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda salah satunya PLTB yang dipadu dengan PLTS atau disebut Hybrid PV-Bayu. Tegangan yang dihasilkan dari sistem Hybrid PV-Bayu diturunkan tegangannya menjadi ±13,8V_{DC} dengan menggunakan *Synchronous Buck Converter* yang diatur oleh *duty cycle* dari PWM. Tegangan ±13,8V_{DC} digunakan untuk pengisian baterai yang diatur oleh relay. Daya yang dihasilkan dari PLTH disimpan di aki dan selanjutnya menuju *inverter full bridge* untuk digunakan pada beban elektronik.

1.2 Tujuan

Tujuan penulisan dari tugas akhir ini adalah merancang dan mengimplementasikan pembangkit listrik tenaga hybrid tenaga surya dan angin untuk suplai arus bolak balik dengan teknik *Synchronous Buck Converter*.

2. Dasar Teori

2.1 Panel Surya

Sel surya sendiri didesain untuk mengubah cahaya yang diterimanya menjadi energi listrik, tanpa menggunakan reaksi kimia atau memindahkan bagian-bagiannya. Panel surya *monocrystalline silicon* merupakan panel yang memiliki tingkat efisiensi antara 12-15%.



Gambar 2.1 Panel Surya *Monocrystalline*

2.2 Turbin Angin

Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar dari kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin yaitu :

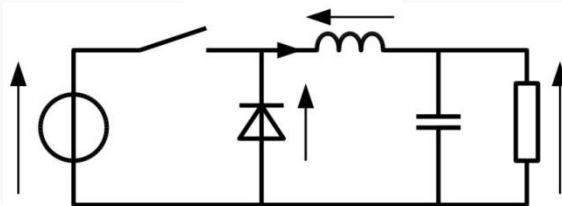
$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2.1)$$



Gambar 2.2 Turbin Angin

2.3 DC Converter (*Buck Converter*)

Buck Converter adalah rangkaian yang menghasilkan tegangan keluaran lebih rendah daripada tegangan masukan . Rangkaian *Buck Converter* terdiri atas induktor, kapasitor, MOSFET, dioda. Nilai tegangan pada keluaran bergantung pada proses *switch* yaitu dengan adanya kondisi waktu *on* dan waktu *off*.



Gambar 2.3 Rangkaian *Buck Converter*

2.4 Baterai/Aki

Aki berfungsi sebagai tempat penyimpanan tenaga listrik arus searah (DC). Pada aki *Maintenance Free* (MF) atau aki kering sel positifnya masih menggunakan timbal 1,7% tetapi sel negatifnya sudah tidak menggunakan timbal melainkan kalsium sebesar 1,7%. Aki kering *deep cycle* dirancang untuk menghasilkan tegangan yang stabil dan konsisten serta umur baterai *deep cycle* rata-rata antara 5-8 tahun.



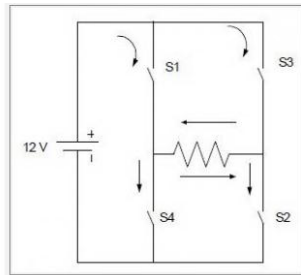
Gambar 2.4 Aki *Maintenance Free*

2.5 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak – balik (AC) dengan gelombang *square wave* atau *sinus wave*. Prinsip kerja *inverter full bridge* dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 buah saklar. Bila saklar S1 dan S2 dalam kondisi *on* maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan sehingga $V_{out} = V_+$, jika yang hidup saklar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri sehingga $V_{out} = V_-$. Nilai V_{rms} dari *inverter* dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \dots\dots\dots(2.2)$$

$$V_{eff} = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.90 V_s \dots\dots\dots(2.3)$$



Gambar 2.5 Rangkaian Inverter Full Bridge

2.6 Mikrokontroler Atmega 8535

Atmega 8535 merupakan salah satu jenis mikrokontroler AVR. Mikrokontroler AVR standar memiliki arsitektur 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit, dan sebagian besar intruksi dieksekusi dalam 1(satu) siklus *clock*. AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), sedangkan MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*). AVR dapat dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu keluarga *Attiny*, keluarga *AT902xx*, keluarga *Atmega*, dan keluarga *AT86RFxx*. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya.

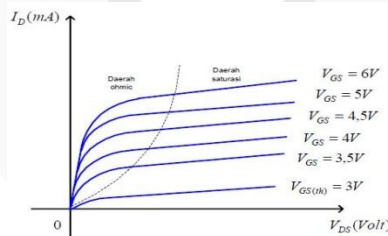
2.7 Pulse Width Modulation

PWM merupakan suatu teknik dalam mengatur kerja suatu peralatan yang memerlukan arus *pull-in* yang besar dan untuk menghindari disipasi daya yang berlebihan dan peralatan yang dikontrol. Dengan cara mengatur lebar pulsa “*on*” dan “*off*” dalam suatu perioda gelombang melalui pemberian sinyal referensi *output* dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan . *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai :

$$\text{Duty cycle} = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

2.8 MOSFET Enhancement Mode

Transistor ini memiliki kaki *gate* yang terbuat dari metal aluminium dan terisolasi oleh lapisan SiO_2 . Perbedaan struktur yang mendasar dari MOSFET *Depletion Mode* adalah substrat dibuat sampai menyentuh *Gate*. Jika tegangan V_{GS} dibuat negatif, arus elektron tidak dapat mengalir. Juga saat $V_{GS} = 0$ ternyata arus belum mengalir karena tidak ada deplesi maupun celah yang bisa dialiri elektron. Satu-satunya jalan adalah dengan memberi tegangan V_{GS} positif, karena substrat terhubung dengan *source*, maka tegangan *gate* lebih positif terhadap tegangan substrat.

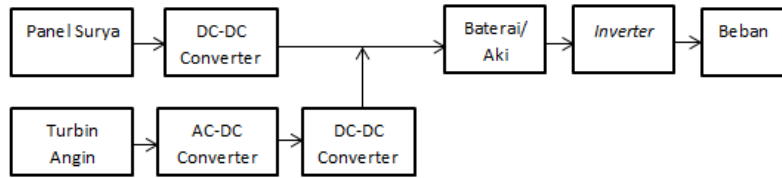


Gambar 2.6 Kurva Karakteristik MOSFET Enhancement Mode

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

3.1 Diagram Blok Sistem PLTH

Pada perancangan kali ini akan dibuat *DC to DC Converter* pada panel surya dan turbin angin dengan topologi *Synchronous Buck Converter* dengan tegangan *input* 15-80V_{DC} dan tegangan *output* ±13,8V serta frekuensi *switching* sebesar 10,8kHz. Selain *DC to DC Converter*, akan dibuat juga *inverter full bridge* dengan frekuensi 50Hz serta sinyal keluaran berbentuk kotak.

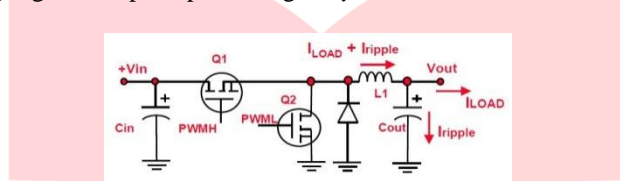


Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Berdasarkan gambar 3.1 Tegangan pada panel surya dan turbin angin diturunkan tegangannya menjadi $\pm 13,8V_{DC}$ dengan metode *Synchronous Buck Converter* pada *DC to DC Converter* untuk mengisi aki VRLA 12Volt/100Ah. Sumber listrik arus searah yang disimpan di aki masuk ke rangkaian *inverter full bridge* dengan keluaran berupa sinyal kotak dengan frekuensi 50 Hz untuk menyuplai ke beban.

3.2 Perancangan Buck Converter

Pada perancangan *buck converter* metode yang digunakan yaitu *Synchronous Buck Converter*. Berikut parameter – parameter yang digunakan pada perancangan *Synchronous Buck Converter* seperti pada gambar 3.2 pada turbin angin :



Gambar 3.2 Rangkaian Synchronous Buck Converter

$$I_{ripple} = 0,3 \times I_{load} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$Duty\ Cycle = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

$$L = (V_{in} - V_{out}) \times (D / F_{sw}) / I_{ripple} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$C_{in} = \Delta T / ((V_{ripple} / I_{ripple}) - ESR) \dots\dots\dots(3.4)$$

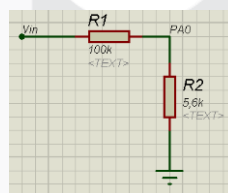
$$C_{out} = (\Delta I \times \Delta T) / (\Delta V - (\Delta I \times ESR)) \dots\dots\dots(3.5)$$

Parameter – parameter :

- a. Tegangan *input* (V_{in}) = $80V_{DC}$
- b. Tegangan *output* (V_{out}) = $13,8V_{DC}$
- c. Arus *output* = 15A
- d. $f = 10,8\text{ kHz}$
- e. *Duty cycle* = 17,25%
- f. $L = 252,71\text{ uH}$
- g. $C_{in} = 653,31\text{ uF}$ dan $C_{out} = 7,186\text{ mF}$

3.3 Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi adanya perubahan data analog berupa tegangan yang selanjutnya diolah oleh ADC mikrokontroler menjadi data digital yang ditampilkan pada LCD. Berikut rangkaian sensor tegangan :



Gambar 3.2 Rangkaian Sensor Tegangan

Digunakan prinsip pembagi tegangan agar mikrokontroler mampu membaca tegangan pada panel surya atau turbin angin sebesar $0-80V_{DC}$ dengan perhitungan sebagai berikut:

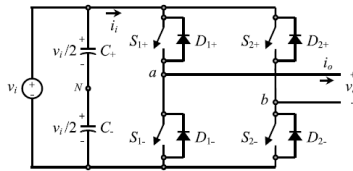
$$\frac{R2}{R2+R1} \times V_{out} = 5V \dots\dots\dots(3.6)$$

Selain itu, perhitungan konversi dari nilai decimal ADC kedalam bentuk volt adalah sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{read\ adc\ (V_{sensor})}{1024} \times 5 \dots\dots\dots(3.7)$$

3.4 Inverter

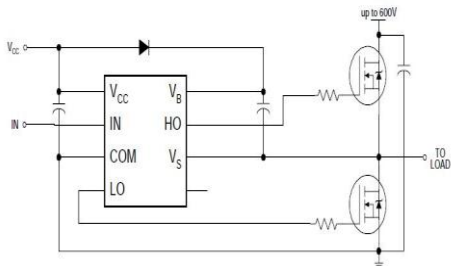
Perancangan *inverter* menggunakan metode *Inverter Full Bridge* dengan menggunakan 4 buah MOSFET IRFP260N sebagai saklar dan 4 buah dioda IN4007 sebagai penahan arus balik.



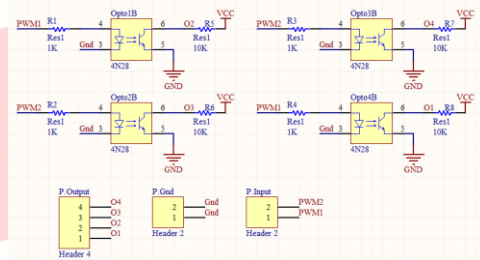
Gambar 3.3 Rangkaian *Inverter Full Bridge*

3.5 Driver MOSFET pada DC to DC Converter dan Inverter

Rangkaian ini mempunyai sumber tegangan 9V pada *Synchronous Buck Converter* dan 12 V pada *inverter* sehingga amplitudo keluaran akan disesuaikan dengan tegangan offset. Gambar rangkaian sebuah *driver MOSFET* pada *DC to DC Converter* terdiri dari piranti *IR2111* diperlihatkan pada gambar 3.3a dan *driver MOSFET* pada *inverter* terdiri dari piranti *optocoupler 4N28* diperlihatkan pada gambar 3.3b. Berikut ini rangkaian *driver DC-DC Converter* dan *inverter* :



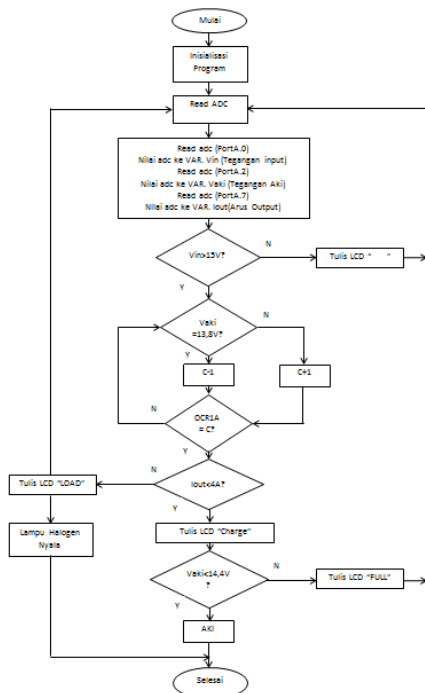
Gambar 3.4a *Driver DC to DC Converter*



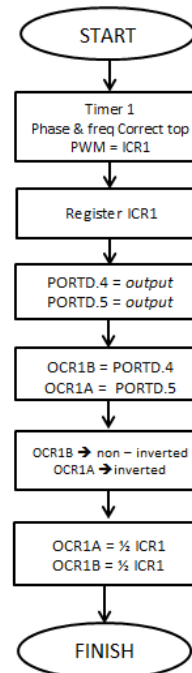
Gambar 3.4b *Driver Inverter*

3.6 Flowchart

Berikut Flowchart dari program mikrokontroler ATMEGA8535 yang dirancang :



Gambar 3.5a *Flowchart Program BCU*

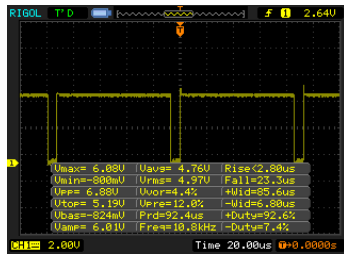


Gambar 3.5b *Flowchart PWM pada Inverter*

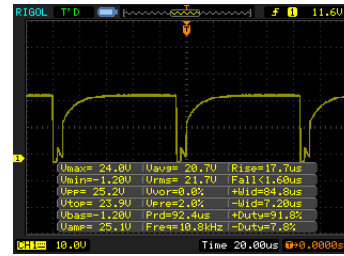
4 Pengujian dan Analisis

4.1 Pengujian Sinyal PWM dan *Driver MOSFET IR2111*

Pengujian sinyal PWM dilakukan untuk mengetahui keluaran sinyal PWM dengan frekuensi 10,8kHz dari mikrokontroler ATMEGA8535 sebelum masuk ke rangkaian *driver MOSFET*. Rangkaian *driver MOSFET* sendiri berfungsi untuk menaikkan nilai level tegangan sinyal PWM agar dapat mencatu kaki *gate MOSFET IRFP260N*. Gambar sinyal keluaran PWM mikrokontroler dengan *duty cycle* 92% diperlihatkan pada gambar 4.1a dan sinyal pada kaki *gate MOSFET* dengan *duty cycle* 92% diperlihatkan pada gambar 4.1b.



Gambar 4.1a Sinyal PWM



Gambar 4.1b Sinyal Kaki Gate MOSFET

4.2 Pengujian Performasi Synchronous Buck Converter

4.2.1 Pengujian Tanpa Beban

Pengujian *Synchronous Buck Converter* tanpa beban dilakukan untuk mengetahui kestabilan tegangan *output* dari rangkaian ini serta membandingkan nilai tegangan *output* real dari multimeter dengan hasil tegangan *output* yang dihitung secara teoritis serta melihat tegangan *output* pada LCD

Tabel 4.1 Data Pengukuran *Synchronous Buck Converter* Tanpa Beban

No	Vin(V _{DC})	Vout (V _{DC})	Vout LCD	Duty Cycle (Osiloskop)	Duty Cycle (Perhitungan)	Error
1	15	13,88	13,9	91,80%	92,53%	0,73%
2	17	13,87	13,9	81,80%	81,59%	0,21%
3	19	13,86	13,9	73,20%	72,95%	0,25%
4	21	13,87	13,9	66,70%	66,05%	0,65%
5	24	13,87	13,8	63,20%	57,79%	0,21%

Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai *error* tertinggi sebesar 0,73% pada saat tegangan 15V dan *error* terendah sebesar 0,21% pada saat tegangan 17V dan 24V serta nilai tegangan *output* ±13,8V_{DC}. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa rangkaian *Synchronous Buck Converter* bekerja dengan baik.

4.2.2 Pengujian Menggunakan Beban Resistif

Beban resistif digunakan untuk mengukur besarnya efisiensi daya dari rangkaian *Synchronous Buck Converter*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan resistor 33 ohm 20watt yang diparalel 5buah. Untuk mengetahui efisiensi daya dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{in} \times I_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Tabel Error! No text of specified style in document..1 Pengujian *Synchronous Buck Converter* dengan 5 buah Resistor 33Ohm 20watt

No	Vin (V _{DC})	I _{in} (A)	Vout (V _{DC})	I _{out} (A)	Efisiensi	Duty Cycle (Osiloskop)
1	15	1,92	13,55	1,952	91,84%	92,20%
2	17	1,70	13,63	1,939	90,71%	81,80%
3	19	1,51	13,47	1,911	89,79%	72,90%
4	21	1,39	13,59	1,916	89,20%	66,50%
5	24	1,25	13,66	1,907	86,83%	58,40%

Pada tabel 4.2 dapat diketahui hasil pengujian dengan menggunakan beban resistif 33 ohm 20 watt yang diparalel 5 buah memiliki efisiensi terbesar yaitu 91,84% pada nilai tegangan *input* sebesar 15V_{DC} dengan *duty cycle* sebesar 92,20% sedangkan efisiensi terkecil yaitu sebesar 86,83% pada nilai tegangan *input* sebesar 24V_{DC} dengan *duty cycle* sebesar 58,40%.

4.3 Pengukuran Tahanan Dalam Aki

Pengujian dilakukan untuk mengukur tahanan dalam aki 12V/100Ah dengan menggunakan beban lampu halogen 12V 100/90 Watt. Tegangan awal aki saat *open circuit* (E yaitu 12,38V_{DC})

Tabel 4.3 Data Pengukuran Tahanan Dalam Aki 12V/100Ah

No	Waktu (menit)	V (Volt)	I (A)	rd (Ohm)
1	2	12,14	3,77	0,063660
2	10	12,11	3,61	0,074792
3	20	12,10	3,595	0,077476
4	30	12,09	3,6	0,080556
5	40	12,09	3,595	0,080668

Pada Tabel 4.3 dapat disimpulkan fungsi aki sebagai sumber tegangan konstan yang dipengaruhi oleh tahanan dalam yang nilainya akan berubah sesuai konsumsi beban terpakai dan lamanya pemakaian aki. Kondisi aki yang diuji dalam keadaan baik karena tahanan dalam pada aki yang kecil (mendekati nol). Berikut merupakan rumus tahanan dalam aki:

$$V = E - I \cdot rd \dots\dots\dots(4.2)$$

4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

4.4.1 Pengujian Pengisian Aki 12Volt 100Ah pada Panel Surya

Pengujian dilakukan untuk mengetahui peromasi rangkaian *Synchronous Buck Converter* dengan tegangan *input* dari panel surya dalam pengisian aki 12V/100Ah.

Tabel 4.4 Data Pengisian Aki Menggunakan *Synchronous Buck Converter*

No	Jam	Vin	Iin	Vout	Iout	Efisiensi
1	09:00	19,28	1,50	13,59	1,788	84,02%
2	10:00	16,25	1,66	13,65	1,802	91,19%
3	11:00	16,25	1,81	13,64	1,932	89,60%
4	12:00	17,40	1,27	13,60	1,470	90,47%
5	13:00	17,23	1,65	13,80	1,904	92,76%

Pada tabel 4.4 dapat diketahui efisiensi terbesar saat pengisian aki yaitu 92,76% saat pukul 13:00 WIB dengan tegangan *input* 17,03V dan efisiensi terendah yaitu 84,02% saat pukul 09:00 WIB dengan tegangan *input* 19,28V.

4.4.2 Pengujian Pengisian Aki 12Volt 100Ah pada Turbin Angin

Pengujian dilakukan untuk mengetahui peromasi rangkaian *Synchronous Buck Converter* dengan tegangan *input* dari turbin angin dalam pengisian aki 12V/100Ah.

Tabel 4.5 Data Pengisian Aki Menggunakan *Synchronous Buck Converter*

No	Jam	Vin(Vdc)	Vin(Vac)	Iin	Vout	Iout	Efisiensi
1	09:00	57,6	38,23	0,78	13,76	2,297	69,94%
2	10:00	40,8	31,15	0,80	13,68	2,125	89,21%
3	11:00	41,8	36,7	0,79	13,78	2,267	94,41%
4	12:00	52,8	41,1	0,74	13,63	2,02	69,60%
5	14:00	52,1	35,55	2,01	13,78	6,76	88,95%

Pada tabel 4.5 dapat diketahui efisiensi terbesar saat pengisian aki yaitu 94,41% saat pukul 11:00 WIB dengan tegangan *input* 41,8V_{DC} dan efisiensi terendah yaitu 69,60% saat pukul 12:00 WIB dengan tegangan *input* 52,8V_{DC}.

4.4.3 Pengujian Pengisian Aki 12Volt/100Ah dan Pencatuan Lampu 12Volt 100/90Watt pada Panel Surya

Pada pengujian ini panel surya dihubungkan pada *Synchronous Buck Converter* untuk mengisi aki 12Volt/100Ah kemudian aki langsung dihubungkan ke beban lampu halogen 12V 100/90Watt.

Tabel 4.6 Data Pengisian Aki dan Pencatuan Beban dengan *Synchronous Buck Converter*

No	Jam	Vin	Iin	Vout	Iout	Efisiensi
1	09:00	19,60	1,42	13,65	1,661	81,46%
2	10:00	18,23	1,57	13,62	1,943	92,46%
3	11:00	18,95	1,17	13,60	1,379	84,59%
4	12:00	18,92	1,73	13,60	2,05	85,18%
5	13:00	18,67	1	13,61	1,283	93,53%

Pada tabel 4.6 dapat diketahui efisiensi terbesar saat pengisian aki dan pencatuan lampu yaitu 93,53% saat pukul 13:00 WIB dengan tegangan *input* 18,67V dan efisiensi terendah yaitu 81,46% saat pukul 09:00 WIB dengan tegangan *input* 19,60V.

4.4.4 Pengujian Pengisian Aki 12Volt/100Ah dan Pencatuan Lampu 12Volt 100/90Watt pada Turbin Angin

Pada pengujian ini panel surya dihubungkan pada *Synchronous Buck Converter* untuk mengisi aki 12Volt/100Ah kemudian aki langsung dihubungkan ke beban lampu halogen 12V 100/90Watt.

Tabel 4.7 Data Pengisian Aki dan Pencatuan Beban dengan *Synchronous Buck Converter*

No	Jam	Vin(Vdc)	Vin(Vac)	Iin	Vout	Iout	Efisiensi
1	10:00	34,13	21,31	0,66	13,79	1,299	78,67%
2	13:00	65,8	47,2	0,76	13,79	2,222	60,68%
3	14:00	58,8	39,8	0,85	13,88	2,228	61,25%
4	15:00	57,4	48,91	0,82	13,85	2,151	63,20%
5	16:00	49,9	34,04	0,85	13,72	2,303	73,61%

Pada tabel 4.7 dapat diketahui efisiensi terbesar saat pengisian aki dan pencatuan lampu yaitu 78,67% saat pukul 10:00 WIB dengan tegangan *input* 34,13V_{DC} dan efisiensi terendah yaitu 60,68% saat pukul 13:00 WIB dengan tegangan *input* 65,8V_{DC}.

4.4.5 Pengujian *Inverter* dengan beban 7,4 Watt (*Battery Handphone* Lenovo 3,7V_{DC}/2000mAh)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui efisiensi *inverter* dengan beban *battery handphone* Lenovo 3,7V_{DC}/2000mAh. Kondisi awal baterai yaitu dalam keadaan kosong.

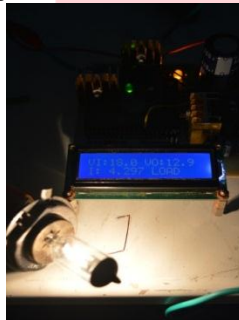
Tabel 4.8 Data Pengisian *Battery Handphone* Lenovo 3,7V_{DC}/2000mAh

No	Waktu	Vin(V _{DC})	Iin (A)	Vout(V _{AC})	Iout(A)	Baterai	Efisiensi	Frekuensi(Hz)
1	0	12,52	0,819	182,6	0,042	0%	74,79%	49,99
2	30	12,51	0,791	186	0,042	21%	78,95%	49,99
3	60	12,47	0,776	183,2	0,041	71%	77,62%	49,99
4	90	12,43	0,458	196,9	0,026	85%	88,00%	49,99
5	120	12,41	0,274	196,8	0,017	94%	98,39%	49,99
6	155	12,40	0,219	205,7	0,013	100%	98,47%	49,99

Pada tabel 4.8 diperoleh hasil rata-rata untuk arus listrik yang mengalir ke *battery handphone* sebesar 0,029A serta tegangan rata-rata pengisian aki 192,39V_{AC} selama 155 menit. Efisiensi terbesar yaitu 98,47% pada saat menit 155 menit dengan kondisi *battery* 100% sedangkan efisiensi terendah yaitu 77,17% pada saat menit 105 dengan kondisi *battery* 89%.

4.5 Pengujian Relay

Pengujian relay pada sistem ini untuk menjaga agar aki yang digunakan tidak *overcharged* dan tidak melebihi batas arus dari spesifikasi aki.



Gambar 4.2a Mode 1



Gambar 4.2b Mode 2

Pada gambar 4.2a kondisi sistem dalam keadaan Mode 1 yaitu pada *DC-DC Converter* mendapatkan sumber tegangan (>15V) sehingga dapat menghasilkan tegangan *output* sebesar ±13,8V_{DC}. Sementara itu, tegangan aki berada di 12V<V_{aki}<14,4V serta nilai arus dibawah 4A pada panel surya dan 10A pada turbin angin sehingga sedang terjadi proses pengisian aki. Pada relay channel 1 akan *Normally Open* (NO) dan relay channel 2 akan *Normally Closed*. Pada mode 3, LCD akan menampilkan “CHARGE” dan LED warna merah akan *on*. Pada gambar 4.2b ketika sumber tegangan (>15V) sehingga dapat menghasilkan tegangan *output* sebesar ±13,8V_{DC}. Sementara itu, tegangan aki berada di 12V<V_{aki}<14,4V serta nilai arus diatas 4A pada panel surya dan 10A pada turbin angin sehingga tidak terjadi proses pengisian aki. Pada relay channel 1 akan *Normally Closed* (NC) dan relay channel 2 akan *Normally Open* (NO). Pada mode 4, LCD akan menampilkan “LOAD” dan LED warna orange akan *on*.

4.6 Pengujian Daya Loss Pada Converter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui daya *loss* pada masing-masing konverter dan *inverter*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua buah multimeter SANWA untuk mengukur tegangan pada aki dan arus.

Tabel 4.9 Daya Loss pada Converter

Converter	Vmin (V _{DC})	Vmax (V _{DC})	Arus (A)	Daya Loss (W)
<i>DC-DC Converter</i> Panel Surya	12,5	13,8	0,2	2,5 – 2,76
<i>DC-DC Converter</i> Turbin Angin	12,5	13,8	0,2	2,5 – 2,76
<i>DC-AC Converter</i>	12,5	13,8	1,24	15,5 – 17,11

Pada tabel 4.9 dapat diketahui daya *loss* pada *DC-DC Converter* panel surya dan turbin angin antara 2,5 – 2,76 Watt dengan arus 0,2 A sedangkan pada *DC-AC Converter* pada *inverter* antara 15,5 – 17,11 Watt dengan arus 1,24A.

5 Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi dan pengujian keseluruhan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Perancangan *Synchronous Buck Converter* pada turbin angin dan panel surya dapat bekerja dengan baik sebagai penghasil tegangan $\pm 13,8V_{DC}$ dengan tegangan *input* dari 15-80V_{DC}.
- Efisiensi daya tertinggi dalam pengujian *Synchronous Buck Converter* pada turbin angin dengan menggunakan beban resistif 33 ohm 20 watt yang diparalel 2 buah sebesar 94,53%.
- Kondisi aki 12V/100Ah yang digunakan masih baik dengan tahanan dalam terkecil yaitu 0,063660 ohm dan tahanan dalam terbesar 0,90014 ohm dengan beban lampu halogen 12 volt 100/90Watt.
- Tegangan pengisian aki dari *Synchronous Buck Converter* yaitu sebesar $\pm 13,8V_{DC}$ dan arus maksimal 6,76A pada turbin angin dan 2,05A pada panel surya.
- Pengaturan relay dapat bekerja dengan baik untuk melakukan pengaturan pengisian aki baik dari segi tegangan maupun arus. Hal ini berguna untuk menjaga aki agar tidak terjadi *overcharged* dan terjadi kekosongan pada aki ketika mencatu beban.
- Efisiensi daya tertinggi dalam pengujian *inverter full bridge* dengan menggunakan beban 7,4 Watt (*Battery Handphone Lenovo 3,7V_{DC}/2000mAh*).
- Daya *loss* pada *DC to DC Converter* pada turbin angin dan panel surya sebesar 2,5-2,76Watt sedangkan pada *DC to AC Converter* pada *inverter* sebesar 15,5-17,11Watt.

5.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan penulis untuk mengembangkan penelitian ini adalah :

- Menggunakan data logger untuk mengambil data tegangan dan arus sehingga data yang diambil bisa lebih tepat karena data tegangan dan arus yang diambil tiap detik
- Menggunakan metode MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dan sistem *Solar Tracker* agar daya yang diterima panel surya dan turbin angin lebih maksimal.
- Menggunakan aki 24V dengan kapasitas arus yang lebih besar sehingga dapat menyimpan lebih banyak arus dari energy surya dan turbin angin sehingga dapat digunakan lebih lama.
- Menggunakan *inverter* yang bisa digunakan pada beban maksimum 1000 watt sehingga bisa digunakan untuk peralatan elektronik seperti komputer, dispenser, microwave dan lain lain.

Daftar Pustaka

- [1] Amiruddin, Yusuf. 2013. *Rancang Bangun Perangkat Reduksi Gas Buang dengan Memanfaatkan Tegangan Tinggi*. Bandung : Universitas Telkom
- [2] Aris B, Hasyim A, Arief RH. 2011. *Desain Generator Magnet Permanen Untuk Sepeda Listrik*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [3] Aswardi. 2008. *Konverter AC-DC 3 Fasa*. Padang : Universitas Negeri Padang
- [4] Boylested, Nashelsky. 1992. *Electronic Devices and Circuit Theory* , Fifth Edition. New Jersey : Prentice Hall.
- [5] Gurevich, Vladimir. 2006. *Electrical Relays : Principles and Applications*. Boca Raton : Taylor and Francis Group.
- [6] Heryanto, Ari dan Adi P, Wisnu. 2008. *Pemograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*. Yogyakarta.
- [7] Irpan, Muhamad. 2015. *Rancang Bangun dan Implementasi Sistem Kendali Grid Connected pada Sumber Listrik Satu Fasa*. Bandung : Universitas Telkom
- [8] Markus NA, Y Teguh T, Ricky OP. 2007. *Kincir Angin Sumbu Horisontal Bersudu Banyak*. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma
- [9] Rashid, Muhammad H. 2011. *Power Electronics : Power Electronics Circuits, devices, and application 3rd Edition*. New Jersey : Prentice Hall.
- [10] Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung:DIKTI
- [11] Putih, Frengki Cuci. 2012. *Perancangan dan Implementasi Pengisian Baterai Laptop Menggunakan Tenaga Surya*. Bandung : Institut Teknologi Telkom
- [12] S.M. Sze, Kwok K. Ng. 2007. *Physics of Semiconductor Devices*. California : John Wiley & Sons
- [13] Sulvitri, Vinda. 2014. *Perancangan dan Implementasi DC to DC Converter pada Panel Surya untuk Pengaturan Pengisian Baterai dan Beban*. Bandung : Universitas Telkom.
- [14] http://simonthenerd.com/files/smps/SMPSBuckDesign_031809.pdf
- [15] International Rectifier. Driver MOSFET IR2111.Data Sheet No.PD-60028-M
- [16] International Rectifier. IRFP260N. Data Sheet No. PD-94004B
- [17] URL : www.vishay.com/datasheet 4N28.