

# RANCANG BANGUN KONTROLER UNTUK PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) SKALA MIKRO

Desisius Gumilar<sup>1)</sup>, Ferry Hadary<sup>2)</sup>, Aryanto Hartoyo<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Sarjana Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro  
 Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura  
 Email: <sup>1)</sup> gumilardesisius@student.untan.ac.id

## ABSTRAK

Tingginya konsumsi energi listrik saat ini tidak sebanding dengan ketersediaan listrik, terutama di daerah 3T (daerah tertinggal, terdepan dan terluar) di Indonesia. Oleh karena itu alternatif untuk dapat mengatasi masalah ini adalah dengan membangun pembangkit listrik energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

Proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro terjadi jika energi listrik yang dihasilkan oleh generator dikonversi dari tegangan AC menjadi DC dengan menggunakan kontroler pengisian baterai. Kontroler pengisian baterai dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mengatur besarnya tegangan dan arus yang akan masuk ke baterai serta memproteksi baterai dan komponen lainnya dari kerusakan.

Pada penelitian hasil pengujian kontroler pembangkit listrik tenaga bayu dengan rata-rata daya input sebesar 23,90 W menghasilkan daya output sebesar 15,46 W sehingga kontroler yang dirancang memiliki rata-rata efisiensi sebesar 66,35%.

Kata kunci: energi terbarukan, konversi energi, kontroler, mikrokontroler

## 1. PENDAHULUAN

Keterbatasan penyedia listrik untuk menjangkau daerah terpencil, perbatasan dan atau daerah pulau mengakibatkan perlunya pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Dalam proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro, energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian dikonversi dari tegangan AC menjadi DC dengan menggunakan kontroler pengisian baterai yang dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mendeteksi tegangan dari generator apakah dapat diproses atau tidak. Selain itu mikrokontroler juga berfungsi memproteksi baterai dari *overvoltage* dan *overcharge*.

Dari permasalahan diatas maka dilakukan penelitian tentang kontroler yang memiliki efisiensi baik dalam proses pengisian baterai.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro

Pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro merupakan alat konversi energi angin menjadi energi mekanik. Energi angin ( $P_{\text{angin}}$ ) sendiri merupakan hasil dari setengah kali massa jenis udara ( $\rho$ ) dengan luas penampang cakupan dari turbin angin ( $A$ ) dan pangkat tiga dari kecepatan anginnya ( $V^3$ ).

Energi angin:

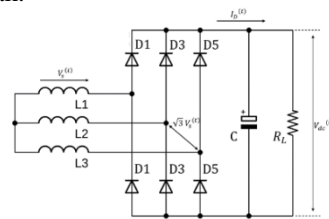
$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2}(\rho \times A \times V^3) \quad (2.1)$$

Setiap sistem pasti memiliki tingkat efisiensi kerja, karena hampir tidak ada sistem yang mampu bekerja sempurna, seperti halnya pembangkit listrik tenaga bayu. Oleh karena itu, untuk mendapatkan energi yang besar dari angin maka perlu diperhitungkan juga nilai efisiensi pembangkit ( $C_p$ ). Semakin baik efisiensi suatu pembangkit, semakin maksimal pula pembangkit tersebut mengkonversi energi yang didapatnya<sup>[1]-[2]</sup>. Agar

diperoleh efisiensi yang baik dalam proses konversi energi angin menjadi energi listrik diperlukan kontroler sebagai alat konversi energi listrik dari AC menjadi DC dan mengatur besarnya tegangan masukan yang fluktuatif dari generator untuk distabilkan sebelum disimpan ke baterai.

### 2.2 Rectifier 3 fasa dan Filter

Rectifier atau AC to DC Converter<sup>[3]-[4]</sup> berfungsi mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Komponen utama yang digunakan pada rectifier yaitu dioda. Jenis rectifier yang digunakan yaitu three phase bridge rectifier. Dalam mendesain rectifier melibatkan penentuan rating dioda. Rating dioda biasanya ditentukan dalam arus rata-rata, arus rms, arus puncak dan tegangan balik puncak.



**Gambar 1.** Diagram blok dari bentuk ruang keadaan

Dari Gambar 1<sup>[5]</sup>, tegangan rata-rata keluaran pada sisi beban dapat diperoleh dengan cara:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_s = 1,654 V_s \quad (2.2)$$

Besarnya tegangan efektif ( $V_{rms}$  atau  $V_l$ ) keluaran diperoleh dari:

$$V_l = V_s \times \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} = 1,655 V_s \quad (2.3)$$

Arus maksimum yang mengalir pada setiap dioda  $I_D$  ditentukan dengan cara:

$$I_D = \frac{\sqrt{3} \times V_s}{R_L} \times \sqrt{\frac{1}{\pi} \times \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4}\right)} \quad (2.4)$$

Tegangan keluaran dari rangkaian penyearah pada umumnya akan menimbulkan tegangan *ripple*, maka dibutuhkan komponen yang dapat mengecilkan atau bahkan menghilangkan tegangan tersebut karena dapat mempengaruhi keluaran dari *charger* yang dibuat. Komponen yang dapat digunakan adalah kapasitor.

Untuk mendapatkan nilai kapasitas kapasitor (C) yang sesuai dari Gambar 1<sup>[5]</sup> maka dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{I_L}{6 \times f_{SW} \times V_{ripple}} \quad (2.5)$$

Dimana:

C = Nilai kapasitor

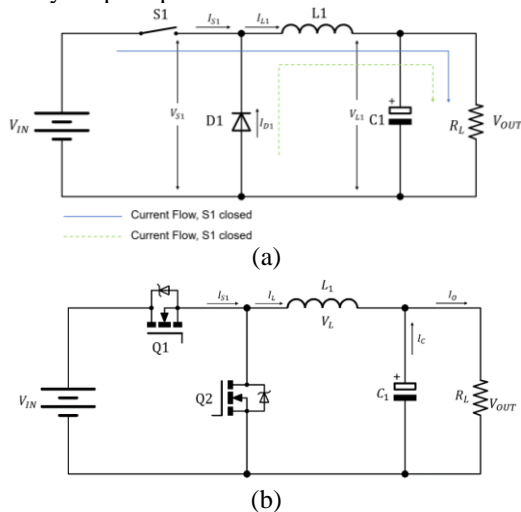
$I_L$  = Arus yang mengalir

$f_{sw}$  = Frekuensi beban

$V_{ripple}$  = Tegangan *ripple* yang diinginkan

### 2.3 Buck converter

*Buck converter* mengubah tegangan input DC yang lebih tinggi menjadi tegangan output DC yang lebih rendah. Nilai tegangan keluaran bergantung pada proses *switching* yaitu dengan adanya kondisi waktu ON dan waktu OFF. Rangkaian *buck converter* terdiri atas induktor, kapasitor dan saklar berupa MOSFET atau sejenisnya seperti pada Gambar 2<sup>[6]</sup>.



**Gambar 2.** (a) Diagram dasar *buck converter* dan (b) *buck converter synchronous* dengan MOSFET sebagai saklar

Tegangan output rata-rata adalah perbandingan antara interval pulsa *high* dalam 1 periode/periode gelombang dari sinyal kontrol PWM dikalikan dengan tegangan input.

$$V_{OUT} = V_{IN} (t_{ON}/T) = D V_{IN},$$

$$\text{dengan syarat } V_{IN} > V_{OUT} \quad (2.6)$$

Fungsi transfer dapat diturunkan dengan menyamakan tegangan-waktu induktansi dalam kondisi ON dan OFF.

Untuk kondisi ON:

$$P_{IN} = (V_{IN} - V_{OUT}) t_{ON} \quad (2.7)$$

Untuk kondisi OFF:

$$P_{OUT} = V_{OUT} t_{OFF} \quad (2.8)$$

Dimana:

$$t_{OFF} = T - t_{ON} \text{ dan } D = t_{ON} / T \quad (2.9)$$

Persamaan (2.7) dan (2.9) disubstitusikan ke persamaan (2.8):

$$(V_{IN} - V_{OUT}) t_{ON} = V_{OUT} (T - t_{ON})$$

$$V_{IN} t_{ON} = V_{OUT} T$$

$$V_{OUT} = V_{IN} (t_{ON} / T)$$

$$V_{OUT} / V_{IN} = D$$

Dengan:

$P_{IN}$  = Daya input

$P_{OUT}$  = Daya output

$t_{ON}$  = Sinyal pulsa PWM pada keadaan ON

$t_{OFF}$  = Sinyal pulsa PWM pada keadaan OFF

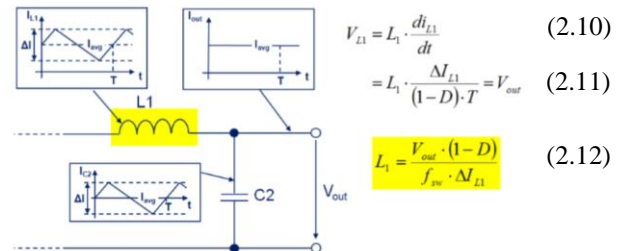
T = Periode gelombang sinyal

D = Duty cycle

$V_{IN}$  = Tegangan input

$V_{OUT}$  = Tegangan output

Dari Gambar 2 nilai induktor *filter* L1 dan arus puncaknya ditentukan berdasarkan riak arus induktor maksimum yang ditentukan seperti pada Gambar 3<sup>[7]</sup> berikut.



**Gambar 3.** Bentuk gelombang riak arus pada induktor

Dari persamaan 2.12:

$$\Delta I_{L1} = \frac{P}{V_{OUT}} I_{ripple} \quad (2.13)$$

Untuk arus maksimal pada induktor:

$$I_{max} = I_{out} + \frac{P}{V_{out}} \cdot \frac{x D}{2} \quad (2.14)$$

Dengan:

$V_{L1}$  = Tegangan induktor

$L_1$  = Nilai induktor

$I_{ripple}$  = riak arus yang diinginkan

$f_{sw}$  = frekuensi *switching*

P = Daya input

$I_{max}$  = Arus maksimum

$I_{out}$  = Arus output

Kapasitor C1 pada Gambar 2<sup>[6]</sup>, berfungsi untuk menyaring riak arus induktor dan memberikan tegangan output yang stabil.

Berikut adalah cara untuk menentukan nilai dari kapasitor output:

$$C_{out} = \frac{1-D}{\frac{\Delta V_{C_{out}}}{V_{out}} \times 8L \times (n \times f_{sw})^2} \quad (2.15)$$

$$\Delta V_{C_{out}} = \frac{V_{r_{out}}}{V_{OUT}} \quad (2.16)$$

Dengan:

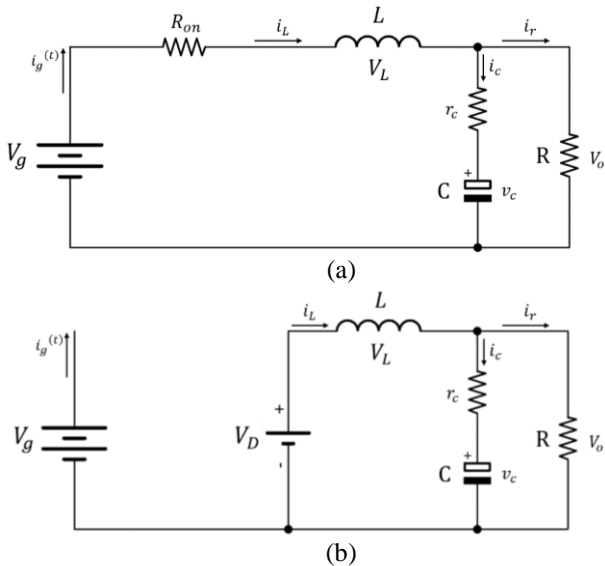
$C_{out}$  = Kapasitor output

$V_{r_{out}}$  = Besar riak output

n = Jumlah fasa

## 2.4 Model Dinamik Sistem

Model dinamik sistem *buck converter* diturunkan dari model sistem *buck converter* dengan saklar yang tidak ideal. Seperti pada Gambar 5<sup>[12]</sup>, saklar S1 pada rangkaian digantikan dengan MOSFET. Ketika dalam keadaan tertutup MOSFET akan dimodelkan memiliki rugi-rugi berupa resistansi ( $R_{on}$ ). Dioda dalam keadaan tertutup dimodelkan dengan tegangan jatuh, yaitu sumber tegangan bebas  $V_D$ . Sedangkan kapasitor memiliki rugi yang dimodelkan dengan *Equivalent Series Resistant* (ESR) yaitu ( $r_c$ )<sup>[12]</sup>.



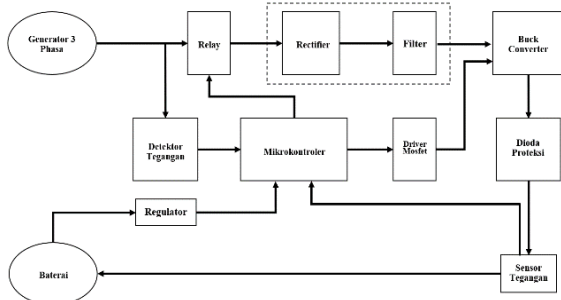
**Gambar 4.** Diagram blok sistem *buck converter* pada keadaan (a) saklar tertutup (b) saklar terbuka

Pada analisa akan dilihat keadaan sistem pada kondisi saklar tertutup seperti pada Gambar 4(a) dan pada kondisi saklar terbuka seperti pada Gambar 4(b). Dari kedua kondisi ini akan didapatkan masing-masing matriks ruang keadaan dan matriks ruang keadaan total dari kedua matriks ruang keadaan ini.

## 3. PERANCANGAN SISTEM

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras sistem pengisian baterai pembangkit listrik tenaga bayu ini dibagi menjadi 8 (delapan) bagian, yaitu: (1) rangkaian relay proteksi (2) rangkaian penyearah (rectifier) dan filter, (3) rangkaian buck converter, (4) rangkaian driver MOSFET, (5) rangkaian detektor tegangan, (6) rangkaian sensor tegangan, (7) rangkaian regulator, (8) rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega328P. Secara umum skema sistem pengisian baterai pembangkit listrik tenaga bayu ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Rangkaian blok sistem

## 3.4 Perancangan Kontroler

Kontroler yang digunakan di sini adalah pengendali proporsional integral derivatif (PID) yang diprogram pada Arduino IDE. Untuk mendapatkan nilai parameter PID awal yang sesuai dengan plant dan memiliki respon yang baik, maka pada penelitian ini digunakan *software* Matlab dengan tuning PID.

## 4. HASIL DAN ANALISIS

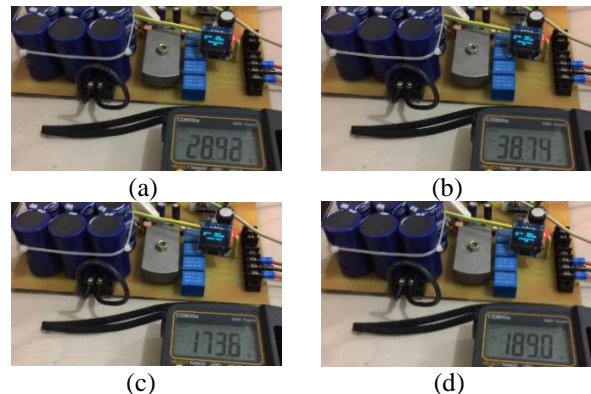
Untuk mengetahui kinerja alat dan mendapatkan hasil perancangan yang sesuai, maka dilakukan pengujian pada sistem pengisian baterai pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro yang telah dirancang. Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Kendali dengan menggunakan generator 3 fasa berkapasitas 1 kilowatt yang digerakkan oleh motor 3 fasa yang dapat diatur kecepatannya sebagai simulasi untuk kecepatan angin.

Dari hasil pengujian dan pengukuran yang dilakukan akan didapatkan data yang kemudian dianalisis untuk melihat dan menentukan kinerja sistem yang telah dirancang.

### 4.1. Pengujian Subsistem Rangkaian Kontak Relay Proteksi dan Detektor Tegangan Input

Pengujian subsistem rangkaian kontak relay proteksi dan detektor tegangan bertujuan untuk mengetahui kinerja dan keandalan dari rangkaian tersebut yang merupakan sistem proteksi kontroler ketika tegangan input kurang dari dan atau lebih dari tegangan yang dapat diolah oleh kontroler. Pengujian dilakukan dengan output langsung dari generator 3 fasa. Jika tegangan keluaran dari generator dibawah 30  $V_{AC}$  maka generator tidak terhubung dengan sistem, hal ini bertujuan untuk meringankan kinerja generator ketika akan mulai berputar. Namun ketika tegangan diatas 30  $V_{AC}$  dan dibawah 180  $V_{AC}$  maka relay akan terhubung ke sistem untuk kemudian diolah di kontroler. Dan ketika tegangan keluaran dari generator lebih besar dari 180  $V_{AC}$  maka relay akan memutuskan generator dari sistem yang bertujuan untuk mengamankan rangkaian dari kerusakan yang disebabkan oleh terjadinya tegangan berlebih.

Alat ukur yang digunakan dalam pengujian adalah voltmeter digital. Pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran tegangan keluaran dari generator dan posisi kontak relay ketika tidak terhubung dan terhubung ke sistem. Proses pengujian subsistem rangkaian kontak relay proteksi dan pengukuran detektor tegangan dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini:

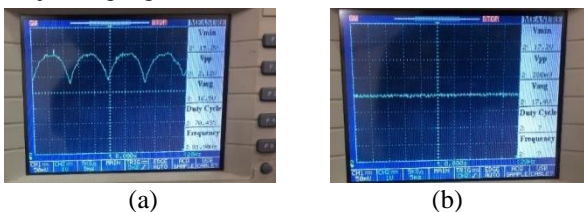


**Gambar 6.** Hasil pengujian relay proteksi dan detektor tegangan input

Dari hasil pengujian pada Gambar 6(a) diatas dapat dilihat bahwa tegangan pengukuran pada multimeter adalah 28,42 Volt dan tegangan yang terukur pada alat adalah 28,87 Volt dan posisi relay kontak adalah pada posisi tidak terhubung. Ketika tegangan terukur pada multimeter sebesar 38,74 Volt dan pada alat sebesar 39,14 Volt seperti pada Gambar 6(b) maka posisi kontak relay terhubung ke sistem sampai tegangan alat mencapai 180 Volt. Dan ketika tegangan yang terukur oleh alat diatas 180 Volt maka posisi relay kontak tidak terhubung seperti pada Gambar 6(d) tegangan terukur pada multimeter adalah 189,0 Volt dan tegangan pada alat sebesar 189,85 Volt.

#### 4.2. Pengujian Subsistem Rangkaian Penyearah (Rectifier) dan Filter

Pengujian subsistem rangkaian penyearah (*rectifier*) dan filter bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran dari penyearah dan filter, apakah sumber tegangan AC dari generator dapat disearahkan dan difilter sehingga menjadi tegangan DC murni.

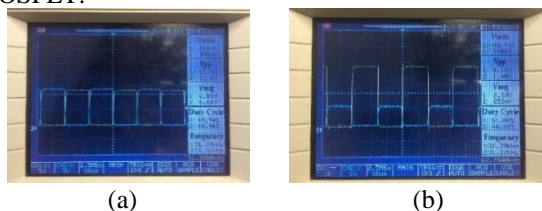


**Gambar 7.** Hasil pengukuran (a) Bentuk gelombang keluaran penyearah (b) Bentuk gelombang keluaran filter

Dari Gambar 7(a) diatas dapat dilihat bahwa tegangan keluaran dari subsistem penyearah merupakan gelombang tegangan DC berupa pulsa-pulsa gelombang yang dihasilkan oleh enam buah diode pada penyearah. Tegangan DC ini merupakan gelombang DC yang masih memiliki *ripple* karena belum disearahkan. Dari Gambar 7(b) diatas dapat dilihat bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan oleh filter merupakan gelombang tegangan DC yang telah difilter sehingga menghasilkan tegangan DC murni yang kemudian disalurkan ke *buck converter*. Tegangan DC ini masih memiliki tegangan *ripple* sebesar 2,80 Volt, sesuai dengan perhitungan pada perancangan.

#### 4.3. Pengujian Subsistem Rangkaian Buck Converter dan Driver MOSFET

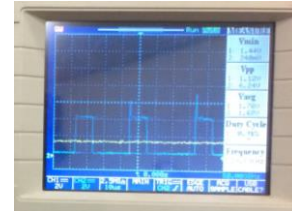
Pengujian subsistem rangkaian *buck converter* bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran dan bentuk gelombang dari *buck converter* dan driver MOSFET.



**Gambar 8.** Bentuk gelombang keluaran (a) Driver MOSFET tanpa tegangan input *buck converter* (b) Driver MOSFET dengan tegangan input *buck converter*

Dari Gambar 8(a) dapat dilihat bahwa keluaran dari driver MOSFET dengan IC IR2110 berupa dua buah gelombang PWM yang saling berlawanan, jika salah satu

gelombang naik maka gelombang yang satunya akan turun. Satu gelombang sebagai sinyal untuk MOSFET *High-side* dan gelombang yang satu-nya lagi sebagai sinyal untuk MOSFET *Low-side*. Pada Gambar 8(b) terlihat bahwa salah satu gelombang yang merupakan gelombang untuk MOSFET *High-side* lebih tinggi dari gelombang untuk MOSFET *Low-side*, hal ini disebabkan karena adanya umpan balik tegangan dari input ke driver MOSFET supaya dapat mempertahankan tegangan sinyal untuk MOSFET *High-side* ketika terjadi proses *switching*.

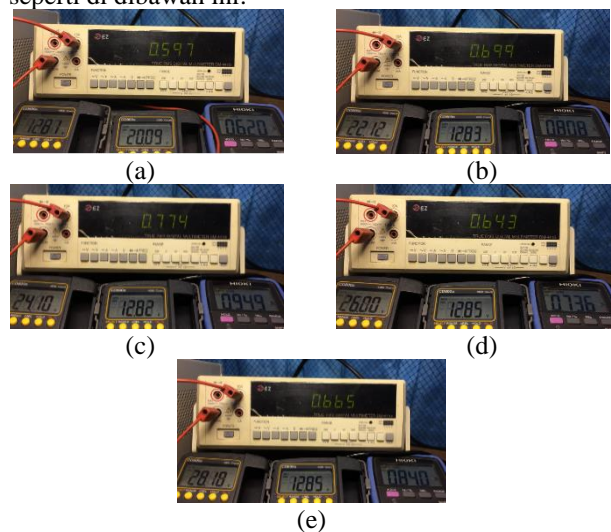


**Gambar 9.** Bentuk sinyal keluaran *buck converter*

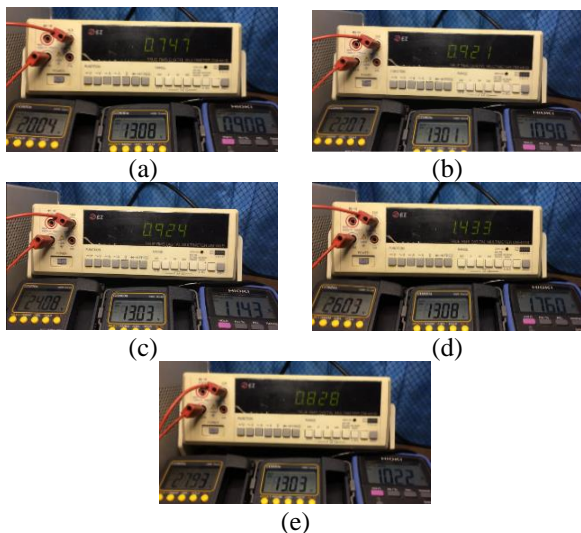
Dari Gambar 9 diatas dapat dilihat bahwa bentuk gelombang keluaran dari *buck converter* sebelum induktor (sinyal berwarna biru) masih merupakan bentuk gelombang PWM sama seperti pada gelombang keluaran driver MOSFET, karena merupakan tegangan keluaran langsung dari MOSFET dan belum terfilter pada kapasitor. Sedangkan pada gelombang berwarna kuning dapat dilihat bahwa gelombang pada keluaran kapasitor sudah merupakan gelombang DC murni yang telah difilter sehingga tidak mengandung *ripple* dan siap digunakan untuk melakukan proses pengisian baterai.

#### 4.4. Pengujian Rangkaian Charger Kontroler Secara Keseluruhan

Pengujian rangkaian *charger* kontroler secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja dari perangkat kontroler secara keseluruhan yang terdiri dari beberapa subsistem, apakah sistem kontroler dapat melakukan pengontrolan terhadap besar tegangan dan arus keluaran yang akan disalurkan ke beban dari sumber tegangan AC generator. Pada penelitian ini dilakukan dua kali pengujian yaitu: pertama dengan nilai referensi sebesar 12,8 Volt dan kedua dengan nilai referensi sebesar 13.0 Volt maka didapat hasil pengujian seperti di dibawah ini:



**Gambar 10.** Hasil pengujian dengan nilai referensi sebesar 12,8 Volt



**Gambar 11.** Hasil pengujian dengan nilai referensi sebesar 13,0 Volt

Berikut adalah hasil pengujian yang dilakukan dengan nilai referensi 12,8 Volt sesuai pada Gambar 10.

**Tabel 1** Hasil pengujian dengan tegangan referensi 12,8 Volt

INPUT			OUTPUT			Efisiensi
Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya	
20,09	0,59	11,99	12,81	0,62	7,94	66,22%
22,12	0,69	15,46	12,83	0,81	10,37	67,05%
24,1	0,77	18,65	12,82	0,95	12,16	65,22%
26	0,64	16,72	12,85	0,73	9,46	56,57%
28,18	0,66	18,74	12,85	0,84	10,79	57,60%
Rata-rata daya input		16,31	Rata-rata daya output		10,15	
Rata-rata Efisiensi						62,53%

Berikut adalah Tabel hasil pengujian yang dilakukan dengan nilai referensi 13,0 Volt sesuai pada Gambar 11.

**Tabel 2** Hasil pengujian dengan tegangan referensi 13,0 Volt

INPUT			OUTPUT			Efisiensi
Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya	
20,04	0,75	14,97	13,08	0,91	11,88	79,34%
22,07	0,92	20,32	13,01	1,09	14,18	69,77%
24,08	0,92	22,25	13,03	1,14	14,89	66,94%
26,03	1,43	37,30	13,08	1,76	23,02	61,72%
27,93	0,88	24,66	13,03	1,02	13,32	54,01%
Rata-rata daya input		23,90	Rata-rata daya output		15,46	
Rata-rata Efisiensi						66,35%

Dari hasil pengujian yang dilakukan, dengan memasukkan nilai referensi sebesar 12,8 Volt maka dapat dilihat bahwa tegangan output dari kontroler berkisar antara 12,81 Volt sampai 12,85 Volt dan daya *input* rata-rata sebesar 16,31 W dan daya *output* rata-rata sebesar 10,15 W dengan efisiensi rata-rata sebesar 62,53% seperti pada Tabel 4.2. Dan dari hasil pengujian dengan memasukkan nilai referensi sebesar 13,0 Volt maka dapat

dilihat bahwa tegangan output dari kontroler berkisar antara 13,01 Volt sampai 13,08 Volt dan daya *input* rata-rata sebesar 23,90 W dan daya *output* rata-rata sebesar 15,46 W dengan efisiensi rata-rata sebesar 66,35% seperti pada Tabel 4.2.

## REFERENSI

- [1] LAN, 2014. Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Bayu. Tasikmalaya: Lentera Bayu Nusantara.
- [2] LBN. 2017. Profil Lentera Bumi Nusantara. Tasikmalaya: Lentera Bumi Nusantara.
- [3] Masud, Ali Tanjim Bin Masud. 2018. Study of AC to DC Converter. Gazipur, Dhaka: Department of Electrical and Electronic Engineering of BRAC University.
- [4] VISINTINI, R.. Tanpa Tahun. RECTIFIERS. Trieste, Italy: Elettra Synchrotron Light Laboratory.
- [5] Dokić, Branko L. dan Branko Blanuša. 2015. Power Electronics Converters and Regulators Third Edition. Switzerland. Springer International Publishing.
- [6] Roberts, Steve M.Sc. B.Sc.. DC/DC BOOK OF KNOWLEDGE Practical tips for the User. Gmunden: Recom.
- [7] Ejury, Jens. 2013. Buck converter Design. Amerika. Infineon Technologies North America (IFNA) Corp.
- [8] Ogata, Katsuhiko. 1997, Teknik Kontrol Automatik Jilid 1 Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- [9] Ogata, Katsuhiko. 2010. Modern Control Engineering Fifth Edition. New Jersey. Prentice Hall.
- [10] Wijaya, Eka Candra. Tanpa Tahun. Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu. Semarang. Universitas Diponegoro.
- [11] Asa, Panji Saka Gilab dan Isnan Nur Rifai. 2014. Penerapan Algoritma Kendali Proportional Integral Derivatif Pada Sistem Real Time Untuk Mempelajari Tanggapan Transien. Malang. Politeknik Negeri Malang: Prosiding SENTIA 2014-Politeknik Negeri Malang Volume 6~ISSN:2085-2347.
- [12] Gunawan. 2009. Rancang Bangun *DC-DC Converter* Dengan Pid Diskrit Sebagai Pengedali Tegangan Keluar. Jakarta. Universitas Indonesia: SKRIPSI

## BIOGRAFI




**DESISIUS GUMILAR**, lahir di Pontianak, Kalimantan Barat, Indonesia, pada tanggal 18 Desember 1994. Memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2020.

Mengetahui,  
Pembimbing Utama,



Dr. Eng Ferry Hutary, S.T., M.Eng.  
NIP. 197102281995121001

Pembimbing Pembantu,



Ir. Aryanto Hartoyo, M.T.  
NIP. 195409151986021001