

PERANCANGAN KENDALI TEGANGAN DC-DC CONVERTER BERBASIS ARDUINO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

Hosea Wisanta¹⁾, Antonius Rajagukguk²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email: hosea.wisanta6092@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Wind Energy Power Plant is a type of renewable energy utilization. This plant has low emissions and is environmentally friendly. The principle of this energy is to convert wind energy into electrical energy with an electric generator rotated by a wind turbine. The problem with this energy is that the output from the generator is not always constant because of the changing nature of the wind. In addition, this generator has a low efficiency value. Therefore, the authors conducted research by designing a voltage control using by DC-DC converter. This voltage control is designed using two buck converters that run the Maximum Power Point Tracking (MPPT) based on the Perturb and Observe (P&O) algorithm and the voltage regulator algorithm which is controlled using the Arduino. The MPPT algorithm is used to find the highest power value in the generator so that it can increase power efficiency. The voltage regulator algorithm serves to maintain the voltage value at 12 volts. This research was conducted with a simulation method that was validated by the tool. In this study, it was found that the MPPT algorithm and the voltage regulator worked well. The overall efficiency of designed tool is 79.43% for the simulation and 43.41% for the actual tool.

Keyword : Wind Turbine, DC-DC Converter, MPPT, Voltage Regulator

PENDAHULUAN

Penggunaan energi fosil membawa dampak yang buruk bagi manusia dan lingkungan. Hal ini perlu dikurangi dengan adanya pemanfaatan energi baru terbarukan. Energi baru terbarukan merupakan energi yang ramah lingkungan dan kuantitasnya selalu terbaharui. Sumber daya dari energi ini antara lain energi panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, air dan banyak contoh lainnya (Herlambang et. al, 2019).

Salah satu aplikasi dari pemanfaatan energi baru terbarukan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Pembangkit ini memanfaatkan angin sebagai sumber energinya. Prinsip kerja dari pembangkit ini yaitu mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik melalui kincir angin. Setelah itu, energi putar mekanik dimanfaatkan untuk memutar generator listrik yang akan menghasilkan listrik (Otong et. al, 2019).

Keluaran dari generator listrik adalah tegangan AC yang berubah sesuai dengan kecepatan angin yang dipakai untuk memutar generator. Listrik ini tidak dapat dipakai langsung untuk melayani beban maupun mengisi baterai. Perlu adanya pengendali tegangan yang merubah keluaran dari generator listrik sehingga dapat dimanfaatkan. Pengendali ini terdiri dari *Rectifier* sebagai penyearah tegangan dan *DC-DC Converter* untuk menaikkan/menurunkan tegangan (Patel et. al, 2016).

Dalam penggunaannya, *DC-DC Converter* menggunakan MOSFET sebagai perangkat switching yang dikendalikan oleh *duty cycle*. *Duty cycle* didapatkan dari sinyal PWM yang dihasil oleh driver mikrokontroller. Salah satu mikrokontroller yang dapat menghasilkan sinyal PWM adalah mikrokontroller Arduino. Dengan mengubah *duty cycle*, *DC-DC Converter* dapat menaikkan dan menurunkan tegangan (Michael et. al, 2019).

DC-DC Converter perlu dilengkapi oleh sistem MPPT dengan mengubah-ubah nilai *duty cycle* untuk mendapatkan daya yang optimal. Hal ini diperlukan untuk meningkatkan efisiensi daya dari pembangkit listrik tenaga bayu karena Pembangkit Listrik Tenaga Bayu memiliki efisiensi daya yang rendah (Hidayatullah et. al, 2016).

Meninjau masalah-masalah diatas, penulis melakukan penelitian dengan merancang konverter DC-DC untuk mengendalikan keluaran daya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin) yang dilengkapi sistem MPPT dengan dikendalikan oleh perangkat mikrokontroler Arduino. Keunikan dari penelitian ini dari penelitian sebelumnya yaitu penulis akan merancang suatu alat yang dapat mengoptimalkan daya dan menghasilkan keluaran yang stabil pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Konversi Energi Angin

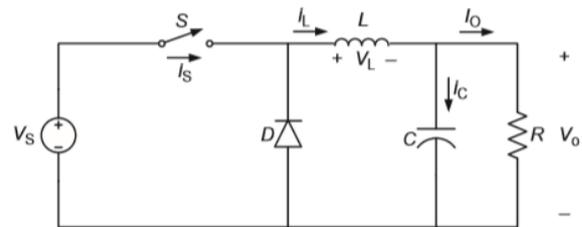
Sistem konversi Energi Angin (SKEA) adalah proses menghasilkan listrik dengan memanfaatkan energi angin untuk memutar generator listrik. Dalam sistem ini, energi angin dimanfaatkan sebagai penggerak mula (*Prime Mover*). Untuk menjalankan sistem ini, dibutuhkan beberapa komponen-komponen yang bekerja untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Komponen-komponen tersebut adalah turbin angin, generator dan sistem transmisi mekanik.

Cara kerja dari sistem ini terdiri dari beberapa proses. Proses yang pertama adalah angin memutar turbin angin. Setelah itu, energi putar mekanis dari turbin angin di kirim melalui sistem transmisi. Selanjutnya, sistem transmisi mengkonversi energi putar mekanis untuk memutar rotor dari generator listrik sesuai dengan spesifikasi dari generator listrik tersebut. Generator listrik yang telah diputar, mengkonversi energi putar mekanis menjadi energi listrik (Letcher, 2017).

Buck Converter

Buck converter adalah konverter dc-dc yang mampu menurunkan tegangan rata-rata suatu tegangan arus searah. Dalam melaksanakan

kerjanya, konverter menggunakan *power* semikonduktor sebagai saklarnya. Salah satu contoh saklar semikonduktor adalah MOSFET. Rangkaian *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian *Buck Converter* (Rashid, 2018)

Prinsip kerja dari *buck converter* terdiri dari dua tahap. Tahap pertama yaitu dimana saat saklar konduksi pada waktu $t=0$ sampai $t=t_1$. Pada tahap ini sumber akan mengalir melalui induktor L dan beban R serta melakukan pengisian arus pada induktor. Tahap kedua yaitu dimana saat saklar dipadamkan pada waktu $t=t_1$ sampai saklar dinyalakan pada periode selanjutnya. Pada tahap ini *diode freewheeling* mengalami konduksi sehingga arus pada induktor mengalir dan induktor mengalami pengosongan (Ashari, 2017).

Untuk menentukan *duty cycle* (D) pada Buck Converter, dapat menggunakan rumus pada Persamaan 1.

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (1)$$

Dimana,

V_o = Tegangan output (V)

V_s = Tegangan input (V)

Untuk menentukan nilai induktansi minimum (L_{min}) pada Buck Converter, dapat menggunakan rumus pada Persamaan 2.

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2)$$

Dimana,

R = Resistansi beban (Ohm)

f = Frekuensi *Switching* (Hz)

D = *Duty Cycle*

Untuk menentukan nilai kapasitansi minimum (C_{min}) pada Buck Converter, dapat menggunakan rumus pada Persamaan 3 (Rashid, 2018).

$$C_{min} = \frac{1-D}{8L\left(\frac{V_R}{V_o}\right)f^2} \quad (3)$$

Dimana,

V_O = Tegangan output (V)

L = Nilai Induktor (H)

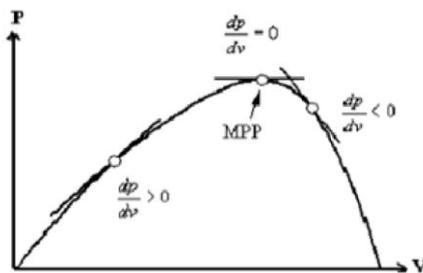
V_R = Tegangan *Ripple* Maksimum (V)

f = Frekuensi *Switching* (Hz)

D = *Duty Cycle*

Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracking adalah metode yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran dengan melacak nilai daya maksimum dari suatu sistem. Prinsip kerja dari MPPT adalah dengan menurunkan dan menaikkan suatu tegangan kerja melalui pengaturan *duty cycle* pada konverter elektronika daya. Perubahan nilai daya keluaran bergantung pada perubahan nilai tegangan dan arus. Hal ini terlihat pada Gambar 2 tentang kemungkinan perubahan titik operasi (Ernadi et. al, 2016).



Gambar 2. Kemungkinan Perubahan Titik Operasi (Otong et. al, 2016)

Regulator Tegangan

Regulator Tegangan (*Voltage Regulator*) merupakan alat yang menghasilkan tegangan keluaran DC konstan tanpa dipengaruhi oleh nilai tegangan *input*, beban arus *output* dan temperatur. Regulator Tegangan dibagi menjadi dua jenis yaitu regulator linier dan regulator *switching*. Regulator linier terdiri

dari 2 jenis yaitu regulator *shunt* dan seri. Pada regulator *switching*, terdiri dari 3 jenis konfigurasi umum yaitu *step-down*, *step-up* dan *inverting* (Regivan et. al,2019).

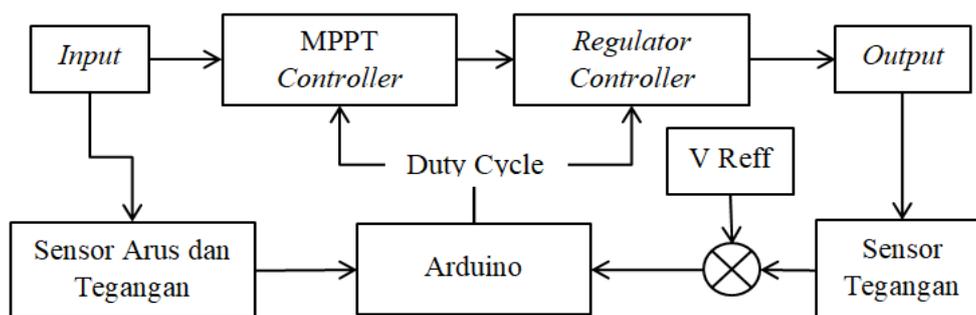
Pada jurnal ini, penulis menggunakan regulator *switching* sebagai regulator tegangan. Regulator *Switching* melakukan regulasi menggunakan prinsip kerja dari rangkaian konverter DC ke DC. Rangkaian ini dilengkapi oleh kendali yang mendeteksi tegangan keluaran secara kontinyu dan menetapkan nilai *duty cycle* saklar dalam meregulasi tegangan (Samosir et. al,2017).

Arduino

Arduino adalah *platform* pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open-source*, fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan bagi para pengembang atau kreator dalam menuangkan idenya untuk menciptakan objek atau lingkungan yang interaktif. *Platform* Arduino terdiri dari bagian yaitu bagian *hardware* dan *software* (Arifin et. al, 2016).

METODOLOGI

Pada pelaksanaan studi ini, penulis merancang Kendali Tegangan *DC-DC Converter*. Alat ini terdiri dua bagian yaitu *MPPT Controller* dan *Regulator Controller*. *MPPT Controller* bertujuan untuk mengoptimalkan daya pada Kendali Tegangan *DC-DC Converter* dan *Regulator Controller* bertujuan untuk menstabilkan tegangan tetap pada tegangan kerja 12 volt. Kedua *controller* ini dikendalikan oleh platform mikroprocessor yaitu Arduino. Hasil dari perancangan penulis di-ilustrasikan dalam bentuk diagram blok pada Gambar 4.

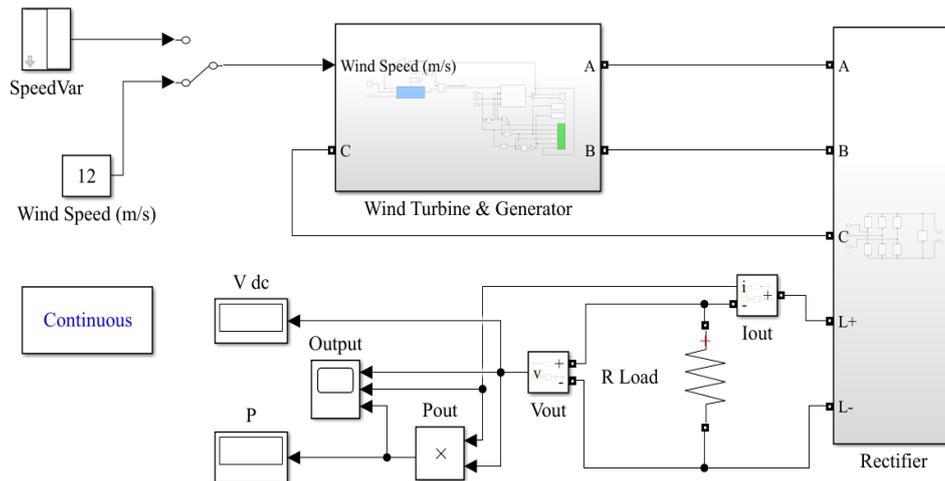


Gambar 4. Blok Diagram Kendali Tegangan Konverter DC-DC

Simulasi Sistem Konversi Energi Angin

Sebagai bahan pertimbangan dalam perancangan, penulis menggunakan data dari simulasi Sistem Konversi Energi Angin yang meliputi Turbin Angin, Generator dan Penyearah Tiga Fasa. Simulasi ini dilakukan

dengan *input* kecepatan angin dari 3 m/s sampai 12 m/s dengan beban resistansi sebesar 3,5 Ω. Aplikasi yang digunakan pada simulasi ini yaitu Simulink pada MATLAB R2018a. Rangkaian dari Simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Simulink Simulasi Konversi Energi Angin

Perancangan Buck Converter

Pada penelitian ini, penulis menggunakan 2 buah buck converter yang masing-masing menjalankan algoritma MPPT dan Regulator. Dalam perancangan alat ini, penulis menggunakan spesifikasi dasar pada Tabel 1 yang didapatkan dari simulasi Konversi Energi Angin.

Tabel 1. Spesifikasi Dasar *Buck Converter*

Parameter	Nilai
Tegangan <i>Input</i> Minimum ($V_{i Min}$)	12.29 Volt
Tegangan <i>Input</i> Maksimum ($V_{i Max}$)	40.06 Volt
Arus <i>Input</i> Maksimum ($I_{i Max}$)	8.128 A
Daya <i>Input</i> Maksimum ($P_{i Max}$)	231,2 Watt
Frekuensi <i>Switching</i> (f)	20.000 Hz
Tegangan <i>Output</i> Minimum ($V_{o Min}$)	12 Volt

Dari Spesifikasi diatas, maka ditentukan komponen-komponen pada konverter ini. Dalam menentukan nilai komponen induktor dan kapasitor dilakukan dalam beberapa

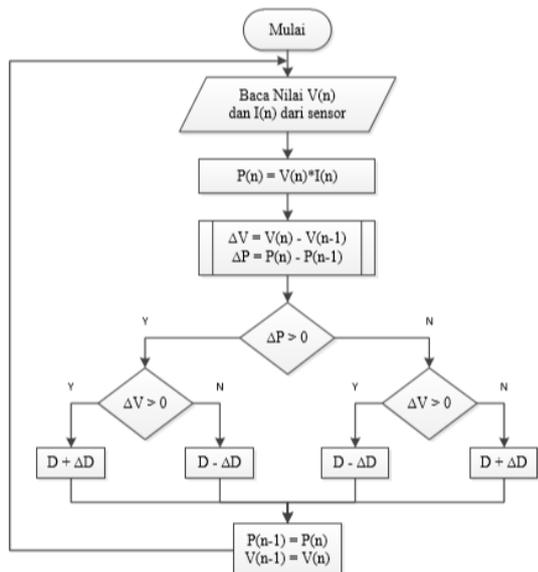
tahap. Pertama, penulis menentukan nilai duty cycle menggunakan persamaan 1. Setelah itu penulis menentukan nilai induktor dan kapasitor menggunakan persamaan 2 dan 3. Komponen – komponen yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen *Buck Converter*

Komponen	Keterangan
MOSFET	IRFP250
Dioda- <i>freewheeling</i>	Dual Dioda FFAF30U20DN
<i>Driver</i> MOSFET	TLP250
Sensor Tegangan	Pembagi Tegangan
Sensor Arus	ACS712 20A
Induktor	12,5 μH
Kapasitor	1000 μF

Mekanisme Kerja MPPT Controller

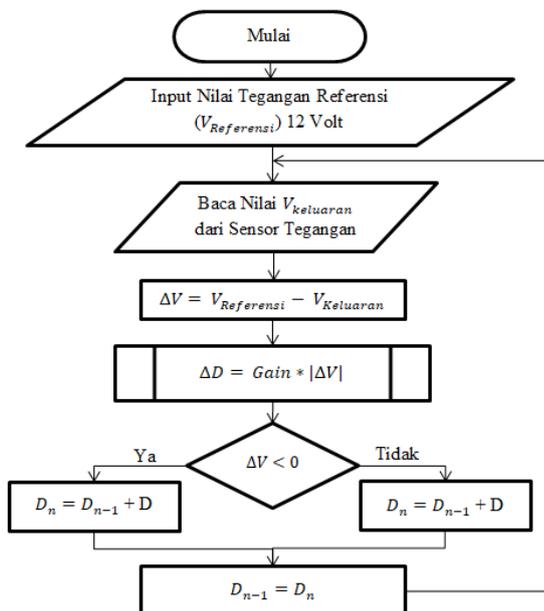
Prinsip Kerja dari MPPT *Controller* adalah mencari nilai titik tegangan yang memiliki daya yang paling maksimum. Metode MPPT yang digunakan adalah metode *Perturb and Observe* (P&O). Algoritma *Perturb and Observe* dapat dilihat pada *flowchart* pada Gambar 6.



Gambar 6. Algoritma P&O (Ernadi et. al, 2016)

Mekanisme Kerja Regulator Controller

Prinsip kerja dari *Regulator Controller* adalah menjaga tegangan keluaran tetap konstan pada *range* 12 volt. Algoritma kerja dari *Regulator Controller* ditunjukkan dalam *flowchart* pada Gambar 7.



Gambar 7. Algoritma Regulator

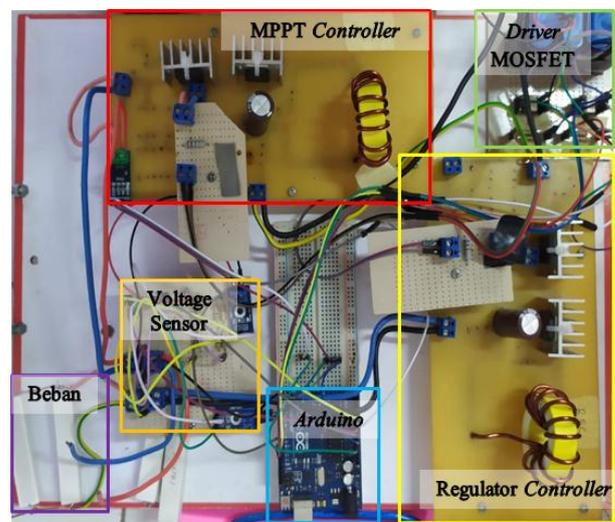
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, penulis membahas mengenai data dan hasil pengukuran dari alat yang telah dirancang. Data dari tiap pengukuran diperoleh dari simulasi yang

dilakukan pada aplikasi MATLAB. Simulasi ini dirancang sesuai dengan alat yang telah dibuat. Setelah itu, hasil simulasi akan divalidasi menggunakan alat yang telah dibuat secara fisik.

Kendali Tegangan DC-DC Converter

Kendali Tegangan DC-DC Converter dibuat menjadi dua bagian yaitu *MPPT Controller* dan *Regulator Controller*. Kedua *Controller* merupakan konverter DC-DC bertipe-Buck. Hasil dari pembuatan alat ini dapat dilihat pada Gambar 8.

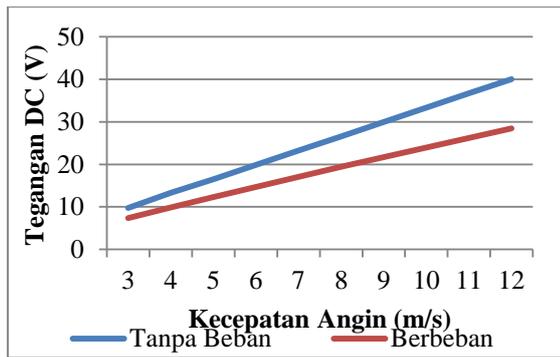


Gambar 8. Kendali Tegangan DC-DC Converter

Hasil Simulasi Konversi Energi Angin

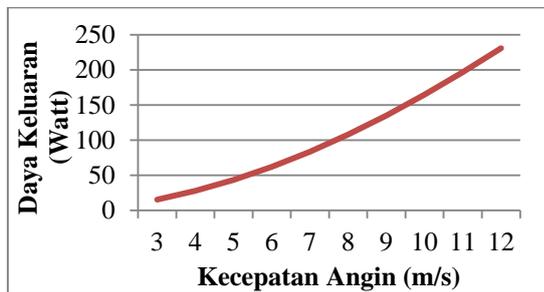
Simulasi sistem konversi energi angin dilakukan pada bagian ini. Simulasi yang dilakukan berupa simulasi turbin angin, generator listrik dan penyearah 3 fasa. Simulasi ini bertujuan sebagai dasar pertimbangan dalam melakukan perancang Kendali Tegangan DC-DC Converter. Simulasi dilakukan pada aplikasi MATLAB R2018a.

Simulasi pada bagian ini dilakukan secara bersamaan. *Input* yang diberikan pada simulasi sistem ini berupa kecepatan angin pada variabel antara 3 – 12 m/s. Simulasi dilakukan dengan kondisi tanpa beban dan berbeban sebesar 3,5 Ω. Hasil Simulasi ini ditunjukkan didalam grafik pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Grafik Tegangan Keluaran Sistem Konversi Energi Angin

Grafik pada Gambar 9 merupakan grafik hubungan antara masukan kecepatan angin dan tegangan keluaran pada simulasi sistem konversi energi angin. Dari grafik ini didapatkan bahwa tegangan maksimal yang diperoleh dari sistem sebesar 40,06 Volt saat keadaan sistem tanpa beban dengan kecepatan angin masukan 12 m/s. Tegangan minimal yang diperoleh dari sistem sebesar 7,356 Volt pada saat kecepatan angin 3 m/s pada kondisi berbeban.



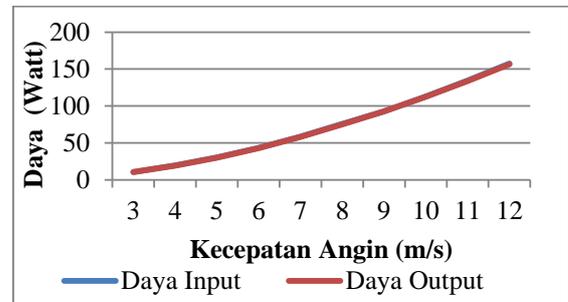
Gambar 10. Grafik Daya Keluaran Sistem Konversi Energi Angin

Gambar 10 Merupakan grafik hubungan antara masukan kecepatan angin dan daya keluaran simulasi sistem konversi energi angin. Dari grafik ini didapatkan bahwa daya maksimal yang diperoleh dari sistem konversi energi angin sebesar 231,2 watt pada saat keadaan sistem berbeban dengan kecepatan angin masukan 12 m/s.

Pengujian MPPT Controller

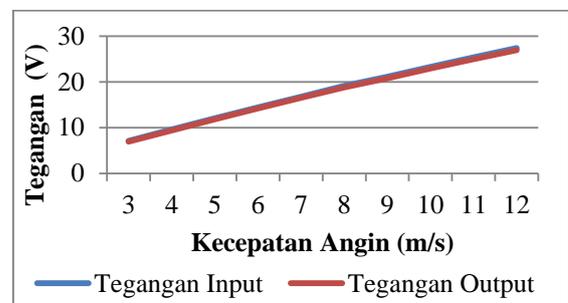
Setelah MPPT Controller di rancang, maka dilakukan pengujian terhadap alat tersebut. MPPT Controller menggunakan algoritma P&O dan diuji pada aplikasi MATLAB

R2018a dengan simulasi SIMULINK yang telah disesuaikan dengan alat fisik yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan variasi masukan dari 3 m/s hingga 12 m/s dengan beban sebesar 5 Ω. Hasil dari pengujian ini dirangkum dalam bentuk grafik pada Gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Grafik Karakteristik Daya MPPT Controller

Gambar 11 merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan antara daya *input* dan *output* pada MPPT Controller. Grafik ini menjelaskan bahwa antara daya *input* dan *output* memiliki selisih yang kecil sehingga menunjukkan bahwa MPPT Controller berhasil dalam meningkatkan efisiensi daya.



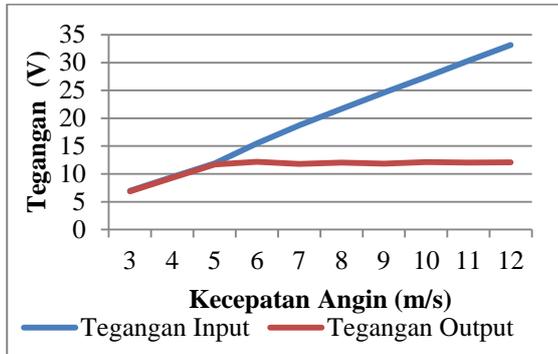
Gambar 12. Grafik Karakteristik Tegangan MPPT Controller

Gambar 12 merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan antara tegangan *input* dan tegangan *output* pada MPPT Controller. Dari grafik diatas menjelaskan bahwa tegangan *input* dan *output* memiliki selisih penurunan yang kecil sehingga disimpulkan bahwa MPPT Controller tidak dapat menstabilkan tegangan keluaran.

Pengujian Regulator Controller

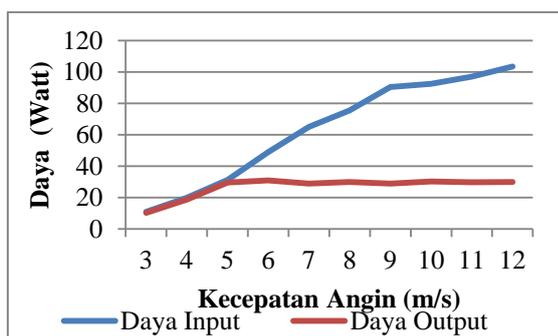
Regulator Controller yang telah dirancang akan diuji pada bagian ini. Pengujian

dilakukan dengan metode simulasi yang dilakukan pada aplikasi MATLAB R2018a. Pengujian dilakukan dengan beban 5Ω dengan variasi kecepatan angin masukan 3 m/s sampai 12 m/s. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan didalam grafik pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Grafik Karakteristik Tegangan Regulator Controller

Grafik pada Gambar 13 menunjukkan perbandingan tegangan *input* dan *output* pada Regulator Controller. Grafik ini menjelaskan bahwa Regulator Controller dapat menjaga tetap didalam tegangan kerja 12 V. Pada saat kecepatan angin berada diantara 3 sampai 5 m/s merupakan pengecualian karena tegangan input yang dihasilkan tidak mencapai 12 Volt sementara sifat dari DC-DC Converter bersifat *buck* sehingga hanya bisa menurunkan tegangan saja.



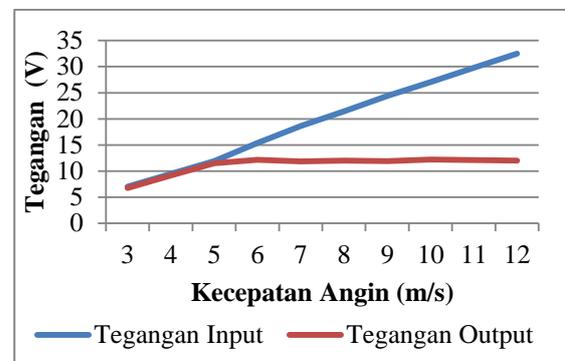
Gambar 14. Grafik Karakteristik Daya Regulator Controller

Grafik pada Gambar 14 merupakan grafik perbandingan daya *input* dan *output* pada Regulator Controller. Grafik ini menjelaskan bahwa Regulator Controller memiliki selisih perubahan daya yang cukup besar sehingga

menyebabkan efisiensi daya pada alat ini kurang baik.

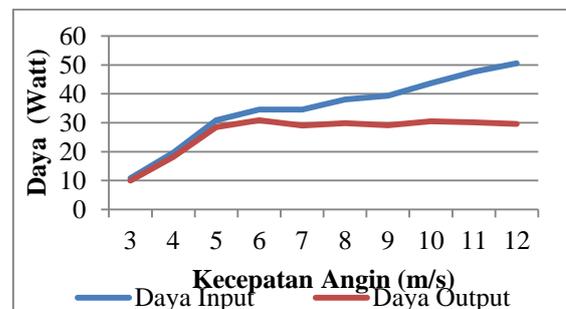
Pengujian Kendali Tegangan DC-DC Converter

Bagian ini merupakan pengujian gabungan antara MPPT Controller dan Regulator Controller yang diberi nama Kendali Tegangan DC-DC Converter. Pengujian ini dilakukan menggunakan aplikasi MATLAB R2018a. Variasi beban yang diberikan pada pengujian ini yaitu 5Ω . Masukan yang diberikan pada pengujian ini adalah kecepatan angin dengan *range* 3 m/s sampai 12 m/s. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan didalam grafik pada Gambar 15 dan 16.



Gambar 15. Grafik Karakteristik Tegangan Kendali Tegangan DC-DC Converter

Gambar 15 merupakan grafik karakteristik tegangan Kendali Tegangan DC-DC Converter. Grafik ini menjelaskan bahwa Regulator Controller berfungsi dalam meregulasi tegangan tetap pada tegangan kerja 12 V. Hal ini menunjukkan bahwa Regulator Controller bekerja dengan baik pada Kendali Tegangan DC-DC Converter.



Gambar 16. Grafik Karakteristik Daya Kendali Tegangan DC-DC Converter

Gambar 16 merupakan grafik karakteristik daya pada Kendali Tegangan *DC-DC Converter*. Dari grafik ini menjelaskan bahwa konsumsi daya input berkurang ketika dibandingkan dengan data dalam grafik pada Gambar 14. Hal ini menunjukkan bahwa *MPPT Controller* bekerja dengan baik pada alat ini.

Efisiensi Daya

Pada bagian ini penulis melakukan analisa terhadap efisiensi daya dari Kendali Tegangan *DC-DC Converter*. Perhitungan efisiensi daya menggunakan persamaan yang ditunjukkan pada Persamaan 4 (Cahyadi, 2017).

$$\text{Efisiensi daya } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Perhitungan efisiensi daya pada Kendali Tegangan *DC-DC Converter* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Efisiensi Daya Kendali Tegangan

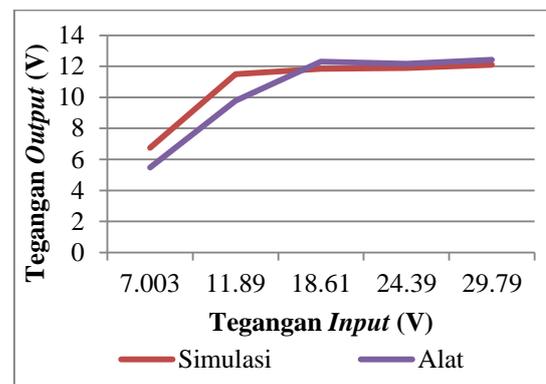
Kecepatan angin (m/s)	P_{in} (Watt)	P_{out} (Watt)	η (%)
3	10,84	9,984	92,1
4	19,64	18,14	92,36
5	30,89	28,45	92,1
6	34,53	30,85	89,34
7	34,55	29,09	84,2
8	38,09	29,84	78,34
9	39,35	29,15	74,08
10	43,67	30,56	69,98
11	47,67	30,14	63,23
12	50,58	29,6	58,52
Efisiensi Rata Rata			79,43

Dari data pada Tabel 3 menjelaskan bahwa semakin tinggi kecepatan angin menyebabkan penurunan efisiensi, hal ini dikarenakan nilai beban yang konstan. Efisiensi rata-rata dari Kendali Tegangan ini adalah 79,43 %.

Validasi Hasil Pengujian

Validasi hasil dari pengujian rancangan kendali tegangan *DC-DC Converter* dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dan alat yang telah dirancang. Data dari alat yang telah dirancang didapatkan

dengan cara memberi tegangan input yang sama dari hasil simulasi kepada rangkaian alat menggunakan Catudaya Arus Searah. Tegangan input ini diambil dari data pada hasil pengujian Kendali Tegangan *DC-DC Converter* pada kecepatan angin 3, 5, 7, 9 dan 11 m/s. Beban yang diberikan pada alat ini sebesar 5 Ω .



Gambar 17. Grafik Karakteristik Tegangan

Gambar 17 merupakan grafik perbandingan karakteristik tegangan dari hasil pengujian menggunakan simulasi dan alat yang sebenarnya. Grafik diatas menunjukkan adanya kesamaan karakteristik tegangan *output* alat yang akan meregulasi tegangan dengan 12 volt jika diberikan tegangan *input* diatas 12 volt. Berdasarkan data tersebut, penulis menyatakan bahwa hasil pengujian tervalidasi dalam segi karakteristik tegangan *output*.

Tabel 4. Efisiensi Daya Alat Sebenarnya

Tegangan Input V_{in} (V)	Daya Input P_{in} (Watt)	Daya Output P_{out} (Watt)	Efisiensi Daya η (%)
7,003	16,49	5,98	36,29
11,89	38,41	19,17	49,91
18,61	62,74	30,26	48,23
24,39	70,06	29,57	42,21
29,79	76,45	30,90	40,42
Efisiensi rata rata			43,41

Tabel 4 merupakan tabel efisiensi daya pada Kendali Tegangan *DC-DC Converter* yang dibuat secara fisik. Pada tabel ini didapatkan bahwa efisiensi rata-rata dari alat

fisik lebih kecil dibandingkan dengan efisiensi dari simulasi yang terdapat pada Tabel 3. Hal ini di karenakan adanya perbedaan rugi-rugi dan karakteristik suplai daya antara simulasi dan alat. Kondisi hal ini menyebabkan nilai efisiensi daya pada simulasi lebih tinggi daripada alat yang sebenarnya.

KESIMPULAN

Kendali Tegangan DC-DC *Converter* yang dirancang terdiri dari dua bagian yaitu, *MPPT Controller* dan *Regulator Controller*. Kedua kendali ini menggunakan DC-DC *Converter* bertipe *buck*. *MPPT Controller* berfungsi untuk meningkatkan daya pada Kendali Tegangan DC-DC *Converter*. Selisih antara daya yang cukup kecil antara *input* dan *output* menandakan bahwa *MPPT Controller* memiliki efisiensi yang cukup tinggi. *Regulator Controller* berfungsi untuk menstabilkan tegangan dengan nilai 12 V. Regulator ini bekerja jika tegangan *input* diatas 12 Volt dengan error sebesar $\pm 5\%$ karena regulator ini bersifat *buck* sehingga tidak dapat meningkatkan nilai tegangan.

Kendali Tegangan DC-DC *Converter* telah divalidasi melalui alat terhadap simulasi. Karakteristik dari tegangan *output* tervalidasi karena menunjukkan adanya kesamaan karakteristik tegangan *output* alat yang akan meregulasi tegangan dengan 12 volt jika diberikan tegangan *input* diatas 12 volt. Berdasarkan data pada keadaan pengujian yang sama terhadap alat dan simulasi, didapatkan bahwa nilai efisiensi rata-rata total masing-masing sebesar 79,43 % dan 43,41 %. Perbedaan nilai efisiensi daya diakibatkan perbedaan antara rugi-rugi dan karakteristik suplai daya antara simulasi dan alat.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, J., & Zulita, L. N. 2016. Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 12(1).

Patel, R., Arora, K., & Katiyar, S. (2016, February). Control Analysis of PMSG Based Wind Energy Conversion System Using Buck-Boost Converter. In 2016

Second International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT) (pp. 395-402). IEEE.

- Ashari, Mochamad. 2017. "Desain Konverter Elektronika Daya". Cetakan Pertama. Informatika : Bandung
- Cahyadi, L. W., Andromeda, T., & Facta, M. 2017. Kinerja Konverter Arus Searah Tipe Buck Converter Dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis TL494. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 6(1), 161-167
- Herlambang, Y. D., & Wahyono, W. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal 9 Sudu Flat Dengan Variasi Rasio Lebar Sudu Top Dan Bottom Untuk Meningkatkan Kinerja PLTB. *Eksergi*, 15(2), 70-76.
- Ernadi, D. A., & Pujiantara, M. 2016. "Desain Maximum Power Point Tracking Untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin". *Jurnal Teknik ITS*. 5(2). B265-B271
- Hidayatullah, Nur Asyik, Hanifah Nur Kumala Ningrum. 2016. "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker". *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*. Vol 1 No.1 : 7-12.
- Letcher, Trevor M. 2017. "Wind Energy Engineering : A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines". Elsevier Inc. : London.
- Michael, Dave, Dian Gustina. 2019. "Rancang Bangun Prototype Monitoring Kapasitas Air Pada Kolam Ikan Secara Otomatis Dengan Menggunakan Mikrokontroller Arduino". *Jurnal IKRA-ITH Informatika*. Vol 3 No. 2 : 59-66.
- Otong, Muhamad, Rifai Mardanie Bajuri. 2016. "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan

- Buck-Boost Converter”. Jurnal Ilmiah SETRUM. Vol 5 No.2 : 103-110.
- Rashid, Muhammad. 2018. “*Power Electronics Handbook : Fourth Edition*”. Elsevier Inc : Oxford
- Regivan, R., & Almasri, A. 2019. “Analisis Perbandingan IC Regulator Linier dengan IC *Regulator Switching* dalam Rangkaian Regulator Tegangan pada *Power Supply DC*”. Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development, 1(4), 1090-1099.
- Samosir, A. S., Tohir, N. I., & Haris, A. 2017. “Rancang Bangun Catu Daya Digital Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino”. Electrician, 11(1), 44-52.