

PERANCANGAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)* PADA TURBIN ANGIN PMSG KAPASITAS 300 WATT DENGAN ALGORITMA FUZZY

Verdian Jaya¹, Sujono²

^{1,2} Fakultas Teknik, Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia

¹ vertritronics@gmail.com, ² sujono@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada turbin angin untuk mendapatkan daya maksimum dari turbin angin. Sistem yang akan dirancang terdiri dari turbin angin kapasitas 300 Watt, rangkaian rectifier, sensor tegangan, sensor arus, mikrokontroler, DC-DC converter, dan beban berupa rangkaian resistif. Turbin angin ini menggunakan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) yang menghasilkan listrik AC 3 fasa, selanjutnya rangkaian rectifier akan menyerahkan tegangan keluaran generator menjadi tegangan DC. Tegangan inilah yang akan diatur melalui DC-DC Converter untuk menghasilkan daya maksimal dengan menggunakan kontroler. Algoritma kontrol yang digunakan adalah algoritma Fuzzy Logic dengan parameter masukan berupa perubahan daya (ΔP) dan perubahan tegangan (ΔV) serta keluaran Fuzzy Logic Controller berupa duty cycle yang akan mengatur switching dari DC-DC converter agar dapat menghasilkan daya maksimum. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem MPPT dapat men-track titik Maximum Power Point (MPP) dan mempertahankan titik tersebut ketika terjadi perubahan daya..

Kata kunci: fuzzy logic; turbin angin; MPPT; PMSG; DC-DC converter;

ABSTRACT

This final project designed Maximum Power Point Tracking (MPPT) method on wind turbine to get the maximum power of wind turbine. The system to be designed consists of 300 Watt wind turbines, rectifiers, voltage sensors, current sensors, microcontrollers, DC-DC converters, and DC load such as resistive circuit. This wind turbine uses Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) that generate 3 phase AC power, then the rectifier circuit will convert the output voltage of generator into DC voltage. This voltage will be used through DC-DC Controller to generate maximum power by using the controller. The control algorithm used is Fuzzy Logic algorithm with input parameter such as change of power (ΔP) and change of voltage (ΔV) with the output of a duty cycle which will adjust switching from DC-DC converter in order to generate maximum power. The results of this research show the performance of MPPT to track and maintain the (Maximum Power Point) MPP point when the power is vary.

Keywords— Keywords: fuzzy logic; wind turbine; MPPT; PMSG; DC-DC converter;

I. PENDAHULUAN

Penggunaan sumber daya energi tak terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi masih sangat tinggi. *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (2017) mencatat sebesar 78,4 % konsumsi energi dunia pada tahun 2015 masih bersumber pada bahan bakar fosil [1]. Dengan penggunaan yang terus menerus, tentunya cadangan energi tak terbarukan akan semakin menipis dan

habis, sehingga diperlukan upaya pemanfaatan energi terbarukan untuk mengatasi masalah krisis energi. Salah satunya adalah memanfaatkan tenaga angin untuk memenuhi energi listrik dengan menggunakan turbin angin.

Indonesia sendiri sebenarnya memiliki potensi angin yang cukup besar. Pemetaan potensi energi angin di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 60 GW [2]. Sehingga tenaga angin dapat menjadi salah satu

solusi untuk mengatasi permasalahan energi di Indonesia. Kecepatan angin di Indonesia yang berkisar antara 3 hingga 6 m/s dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin skala kecil hingga menengah.

Salah satu permasalahan dalam pemanfaatan turbin angin sebagai sumber energi terbarukan adalah faktor kapasitas yang relatif lebih rendah dibanding dengan sumber energi tak terbarukan lainnya. Berbagai upaya telah dilakukan agar dapat memaksimalkan energi yang dihasilkan oleh turbin angin, salah satunya adalah dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* untuk menjaga daya keluaran turbin angin dalam keadaan maksimum.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari titik daya maksimum pada turbin angin, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Ratna Ika Putri tentang penggunaan fuzzy logic sebagai algoritma MPPT untuk menghasilkan daya maksimum pada keluaran turbin angin. Metode ini menggunakan masukan berupa *error* daya dan *error* tegangan untuk menghasilkan keluaran berupa nilai *duty cycle* pada *boost converter*. Hasil simulasi Simulink menunjukkan bahwa *fuzzy controller* dapat bekerja dengan baik untuk mempertahankan nilai tegangan keluaran sebesar 400 V walaupun kecepatan angin berubah-ubah [3]. Penelitian yang dilakukan Minh, Cuong, dan Nguyenchau tentang metode MPPT baru berbasis *fuzzy logic* untuk menghasilkan daya maksimal dari turbin angin menunjukkan bahwa metode ini dapat mengekstrak daya maksimal dari angin pada kecepatan angin yang berubah-ubah [4].

Cara memaksimalkan pembangkit listrik tenaga angin untuk pengisian ke baterai dilakukan dengan menggunakan algoritma MPPT *Pertube and Observe (P&O)* untuk mencari nilai daya maksimum. Dari hasil simulasi Simulink didapatkan rata-rata efisiensi 90,15% untuk sistem yang dilengkapi MPPT dan 82,01% untuk sistem tanpa dilengkapi MPPT [5]. Selain itu, penggunaan *fuzzy logic controller* untuk mengatur *boost converter* agar dapat menghasilkan keluaran DC yang konstan dilakukan oleh Vignesh. Penelitian ini menggunakan turbin angin *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* yang dimodelkan dengan Matlab. Hasil yang diperoleh menunjukkan walaupun dengan kecepatan angin dan keluaran daya dari turbin kecil, tegangan keluaran dari *converter* dapat stabil pada nilai yang diinginkan [6].

Kishore melakukan penelitian mengenai efektivitas metode untuk mengatur kestabilan keluaran turbin angin. Metode yang dibandingkan adalah metode PI dan *fuzzy logic* untuk dilihat nilai keluaran *converter*. Dari hasil simulasi dengan Matlab terlihat bahwa kendali *fuzzy logic* menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding dengan *PI controller* [7].

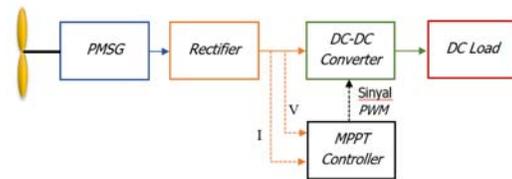
Pada penelitian tugas akhir ini dibuat perancangan metode *Maximum Power Point*

Tracking (MPPT) pada turbin angin dengan menggunakan algoritma *fuzzy logic* untuk mendapatkan daya maksimum dari tenaga angin sehingga dapat memaksimalkan penggunaan turbin angin yang diterapkan secara langsung pada Universitas Budi Luhur. Algoritma *fuzzy logic* dipilih karena berdasarkan referensi yang didapat menunjukkan bahwa algoritma fuzzy logic dapat bekerja lebih baik dibanding dengan algoritma P&O maupun *PI controller*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya baik dari input yang digunakan untuk diproses dengan *fuzzy logic* maupun plant yang digunakan. Kapasitas turbin yang digunakan untuk penelitian ini adalah 300 Watt dan keluaran turbin dihubungkan ke beban resistif. *DC-DC converter* jenis *boost converter* digunakan untuk mengatur agar daya keluaran turbin angin dapat optimal.

II. PERENCANAAN SISTEM

Sistem terdiri dari turbin angin, generator PMSG, *rectifier*, *DC-DC Converter*, *MPPT controller*, *DC load* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Dari diagram blok sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Turbin angin, merupakan alat untuk mengonversikan energi angin menjadi energi mekanik yang memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik.
2. PMSG, merupakan generator untuk mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Keluaran dari generator PMSG berupa tegangan AC 3 fasa.
3. *Rectifier*, merupakan rangkaian penyearah untuk menyearahkan keluaran generator turbin angin yang berupa tegangan AC 3 fasa menjadi tegangan DC.
4. *DC-DC converter*, merupakan *converter* tegangan DC ke DC yang nilai tegangan keluarannya diatur dengan menggunakan *duty cycle* untuk mendapatkan daya maksimum dari turbin angin.
5. *MPPT controller*, merupakan *controller* berbasis *fuzzy logic* yang mengatur switching pada *DC-DC converter* untuk menghasilkan daya maksimum.

A. Turbin angin

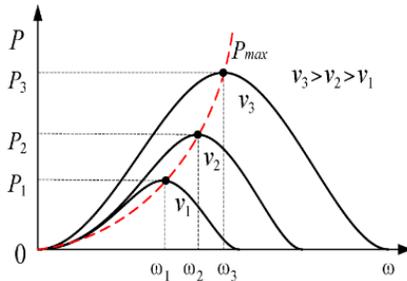
Dalam mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik, turbin angin bergantung pada jari-jari sudu turbin dan kecepatan angin seperti yang terlihat pada persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \quad (1)$$

Namun tidak akan pernah ada turbin angin yang dapat mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi kinetik untuk menggerakkan rotor lebih dari 59,3%. Hal tersebut dikenal dengan Hukum Betz, yaitu daya yang diekstrak dari angin tidak dapat melebihi koefisien daya (c_p) sehingga daya aktual yang dapat diekstrak dari turbin angin adalah:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot c_p \quad (2)$$

Daya yang dihasilkan turbin angin tergantung pada kecepatan angin dan putaran generator turbin angin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik Turbin Angin [8]

Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin yang berbeda akan menghasilkan kecepatan putar generator yang berbeda-beda, sehingga kecepatan angin yang berbeda akan menghasilkan daya optimal yang berbeda pula. Titik daya optimal inilah yang disebut dengan titik MPP (*Maximum Power Point*).

B. DC-DC converter

Jenis DC-DC converter yang digunakan berupa *boost converter*. Jenis ini dipilih agar tegangan keluaran dapat di-boost menjadi lebih tinggi dari tegangan masukan. Converter yang digunakan memiliki kapasitas daya maksimal 1200 Watt dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Boost Converter

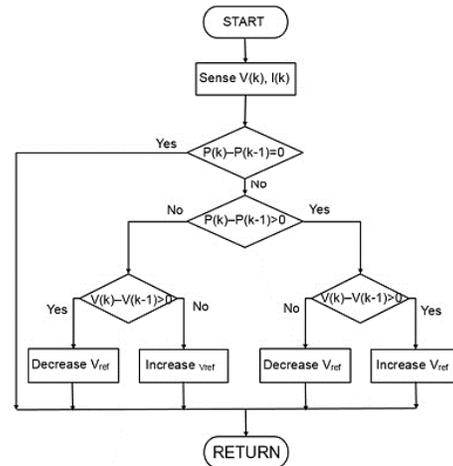
Jenis Spesifikasi	Keterangan
Tegangan masukan	8 – 60 Volt
Arus masukan	Max 20 Ampere
Tegangan keluaran	12 – 83 Volt

Arus keluaran	Max 20 Ampere
Range arus konstan	0,3 – 20 Ampere
Daya keluaran	Vin · 10 Ampere
Frekuensi	150 KHz
Efisiensi	95%

Tegangan keluaran dari DC-DC converter ini diatur dengan cara mengubah nilai PWM dari mikrokontroler Arduino yang dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal untuk mendapatkan tegangan kerja yang sesuai dengan tegangan trimpot pada DC-DC converter, selanjutnya dihubungkan pada rangkaian filter agar mendapatkan tegangan DC yang stabil untuk menggantikan nilai tegangan pada trimpot.

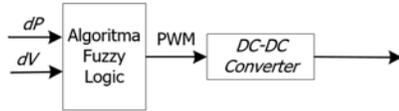
C. Algoritma MPPT

Prinsip dasar dari algoritma MPPT agar turbin angin dapat menghasilkan daya optimal adalah dengan mengubah nilai *duty cycle* pada DC-DC converter. Salah satu algoritma kontrol MPPT adalah dengan menggunakan metode P&O (*Perturb and Observe*). Metode P&O diterapkan dengan cara mengubah tegangan pada DC-DC converter dan mengamati hasilnya. Diagram alir MPPT metode P&O dasar dapat dilihat pada Gambar 3.



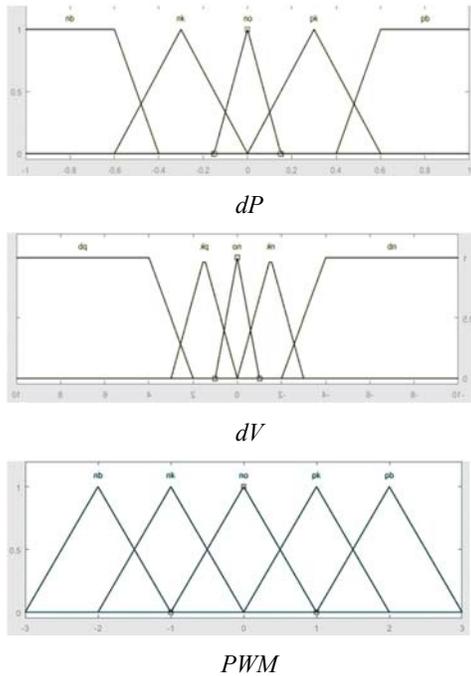
Gambar 3. Diagram Alir Metode P&O

Prinsip kerja dari metode ini adalah dengan membandingkan daya dan tegangan saat ini dengan daya dan tegangan sebelumnya. Apabila daya saat ini sama dengan daya sebelumnya, maka tidak perlu dilakukan pengontrolan. Apabila berbeda, maka akan dibandingkan tegangan saat ini dengan tegangan sebelumnya. Hasil perbandingan ini akan menentukan apakah tegangan keluaran akan dinaikkan atau diturunkan. Berdasarkan metode inilah dilakukan pengembangan algoritma kontrol MPPT dengan menggunakan logika fuzzy. Diagram blok pengendalian logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Logika Fuzzy

Pemetaan *input* dan *output* fuzzy yang masing-masing dibagi menjadi 5 fungsi keanggotaan (*membership function*) dapat dilihat pada Gambar 5.

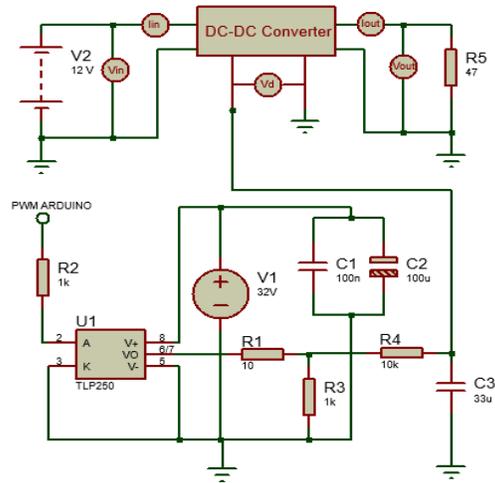


Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian DC-DC converter

Pengujian DC-DC converter dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dari DC-DC converter sehingga didapatkan nilai PWM terhadap tegangan keluaran serta efisiensi dari DC-DC converter. Pengujian ini menggunakan beban resistor 47 Ohm dan tegangan input sebesar 12 Volt serta menggunakan beban 2 buah resistor 47 Ohm yang diparalel dan tegangan input sebesar 24 Volt. Parameter yang diubah adalah nilai PWM dari Arduino sehingga menyebabkan tegangan keluaran dari DC-DC converter berubah. Rangkaian pengujian ditunjukkan pada Gambar 6 dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 6. Rangkaian Pengujian DC-DC converter

Tabel 3. Hasil Pengujian dengan V_{in} 12 Volt

Nilai PWM	V_d (V)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)
0	7,70	12,02	0,39	13,90	0,29
10	8,75	12,02	0,44	14,93	0,30
20	10,02	12,01	0,51	16,17	0,33
30	11,22	11,96	0,62	17,38	0,36
40	12,35	11,98	0,68	18,54	0,38
50	13,55	11,96	0,77	19,74	0,40
60	14,80	12,00	0,88	20,96	0,43
70	15,90	11,98	0,99	22,09	0,46
80	17,09	11,93	1,09	23,30	0,48
90	18,33	11,97	1,20	24,52	0,50
100	19,46	11,98	1,32	25,64	0,52
110	20,65	11,83	1,45	26,86	0,55
120	21,86	11,82	1,56	28,01	0,57
130	23,02	11,94	1,68	29,23	0,59
140	24,21	11,94	1,77	30,42	0,62

Efisiensi dari DC-DC converter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in} \quad (3)$$

$$P_{out} = V_{out} \cdot I_{out} \quad (4)$$

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Sehingga efisiensi daya dari pengujian DC-DC converter yang didapatkan dapat dihitung dan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi DC-DC Converter V_{in} 12 Volt

V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi (%)
12,02	0,39	13,90	0,29	4,69	4,03	85,93
12,02	0,44	14,93	0,30	5,29	4,48	84,69
12,01	0,51	16,17	0,33	6,13	5,34	87,11
11,96	0,62	17,38	0,36	7,42	6,26	84,37
11,98	0,68	18,54	0,38	8,15	7,05	86,50
11,96	0,77	19,74	0,40	9,21	7,90	85,78

12,00	0,88	20,96	0,43	10,56	9,01	85,32
11,98	0,99	22,09	0,46	11,86	10,16	85,67
11,93	1,09	23,30	0,48	13,00	11,18	86,00
11,97	1,20	24,52	0,50	14,36	12,26	85,38
11,98	1,32	25,64	0,52	15,81	13,33	84,31
11,83	1,45	26,86	0,55	17,15	14,77	86,12
11,82	1,56	28,01	0,57	18,44	15,97	86,61
11,94	1,68	29,23	0,59	20,06	17,25	85,99
11,94	1,77	30,42	0,62	21,13	18,86	89,26

Pengujian juga dilakukan dengan tegangan input sebesar 24 Volt dan hasil pengujian terlihat pada Tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5 Hasil Pengujian dengan Vin 24 Volt

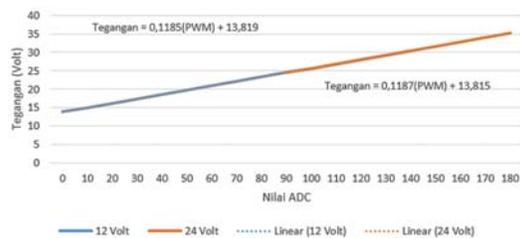
Nilai PWM	V _d (V)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)
90	18,33	24,08	0,26	24,52	0,25
100	19,47	24,15	0,31	25,66	0,26
110	20,67	24,13	0,34	26,88	0,27
120	21,88	24,14	0,38	28,09	0,29
130	23,01	24,15	0,41	29,22	0,30
140	24,22	24,26	0,44	30,43	0,31
150	25,44	24,26	0,47	31,64	0,32
160	26,57	24,25	0,51	32,78	0,33
170	27,78	24,26	0,54	33,99	0,34
180	28,99	24,10	0,57	35,21	0,36

Efisiensi dari DC-DC converter pada pengujian 24 Volt ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Efisiensi DC-DC Converter Vin 24 Volt

V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
24,08	0,26	24,52	0,25	6,26	6,13	97,92
24,15	0,31	25,66	0,26	7,49	6,67	89,05
24,13	0,34	26,88	0,27	8,20	7,26	88,54
24,14	0,38	28,09	0,29	9,17	8,15	88,88
24,15	0,41	29,22	0,30	9,90	8,77	88,59
24,26	0,44	30,43	0,31	10,67	9,43	88,38
24,26	0,47	31,64	0,32	11,40	10,12	88,77
24,25	0,51	32,78	0,33	12,37	10,82	87,47
24,26	0,54	33,99	0,34	13,10	11,56	88,24
24,10	0,57	35,21	0,35	13,74	12,32	89,67

Hubungan antara nilai PWM dan tegangan keluaran pada pengujian DC-DC converter juga dapat ditampulkan dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Nilai PWM vs Tegangan

Dari grafik tersebut terlihat bahwa hubungan nilai PWM dengan tegangan keluaran DC-DC converter berbentuk linier dengan persamaan ketika Vin = 12 Volt adalah:

$$Tegangan = 0,1185(PWM) + 13,819 \quad (6)$$

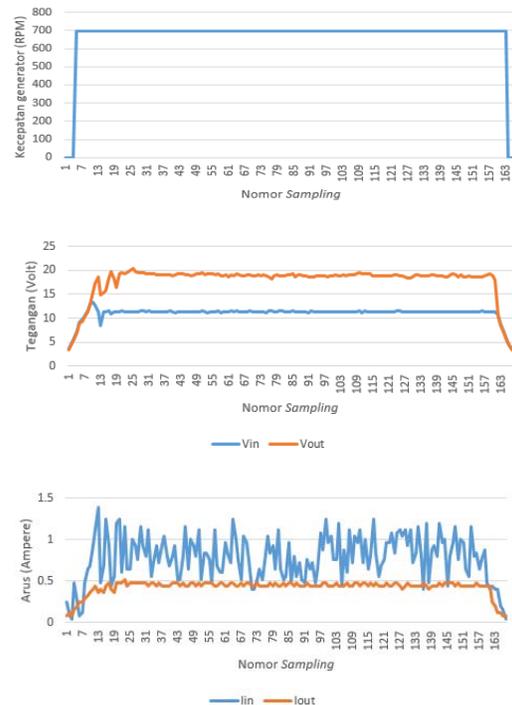
Dan persamaan ketika Vin = 24 Volt adalah:

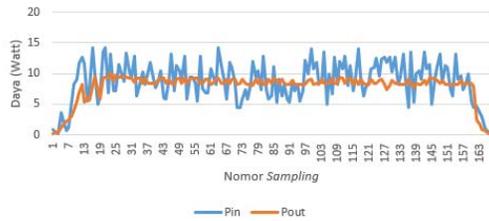
$$Tegangan = 0,1187(PWM) + 13,815 \quad (7)$$

Kedua persamaan garis ini hampir sama sehingga dapat disimpulkan nilai PWM akan menghasilkan tegangan keluaran yang sama walaupun tegangan masukannya berbeda.

B. Pengujian Sistem pada Kondisi Stabil

Pengujian ini menggunakan beban 30 Ohm yang terhubung pada keluaran DC-DC converter yang dilakukan dengan cara memutar generator pada kecepatan yang stabil yaitu pada kecepatan 695 RPM dan dilakukan pengukuran pada tegangan dan arus pada input dan output DC-DC Converter dengan menggunakan sensor dan datanya disimpan pada MicroSD Card. Hasil pengujian turbin angin dengan MPPT ditunjukkan pada Gambar 8.



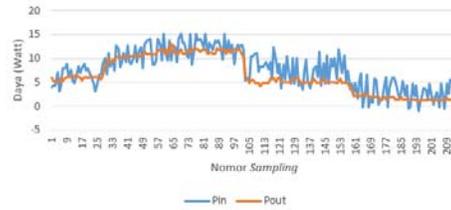
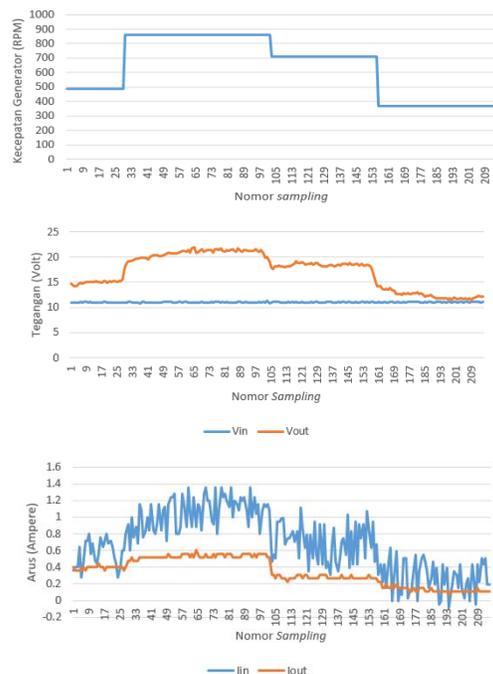


Gambar 8. Grafik Pengujian Sistem Pada Kondisi Stabil

Pada pengujian ini terlihat bahwa ketika generator berputar dengan kecepatan 695 RPM, tegangan keluaran pada *DC-DC converter* adalah sekitar 19 Volt. Namun tegangan masukan pada *DC-DC converter* adalah 11,4 Volt. Daya input rata-rata adalah 9,12 watt, sedangkan daya output rata-rata adalah 8,3 watt. Dengan demikian efisiensi dari sistem adalah sebesar 91%.

C. Pengujian Sistem pada Kondisi Fluktuatif

Pengujian ini juga menggunakan beban 30 Ohm yang terhubung pada keluaran *DC-DC converter*. Cara pengujian ini sama seperti pada sistem dengan MPPT pada kondisi stabil, hanya saja pada pengujian ini kecepatan putar generator berubah-ubah yaitu dari kecepatan 487 RPM menjadi 962 RPM, lalu menjadi 710 RPM, dan terakhir menjadi 370 RPM. Pengukuran dilakukan pada tegangan dan arus pada input dan output *DC-DC Converter*. Hasil pengujian sistem ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Pengujian Sistem Pada Kondisi Fluktuatif

Pada pengujian ini terlihat bahwa kecepatan putar generator berubah dari kecepatan 487 RPM menjadi 962 RPM, lalu menjadi 710 RPM, dan terakhir menjadi 370 RPM. Perubahan kecepatan putar generator berakibat pada perubahan daya yang dibangkitkan oleh sistem yang berdampak pada perubahan tegangan keluaran dari *DC-DC converter*, tetapi tegangan masukan *DC-DC converter* tetap stabil pada nilai sekitar 11,4 Volt. Hal tersebut mengindikasikan adanya pengontrolan dari sistem MPPT untuk men-track titik MPP dari sistem dan mempertahankan titik tersebut dengan baik ketika terjadi perubahan daya. Daya input rata-rata adalah 7,62 watt, sedangkan daya output rata-rata adalah 6,35 Watt, sehingga efisiensi dari sistem adalah 83,33%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai sistem MPPT pada turbin angin dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi nilai PWM yang diberikan pada *DC-DC converter*, semakin tinggi pula tegangan keluaran yang dihasilkan.
2. Nilai PWM akan mempertahankan nilai tegangan keluaran *DC-DC converter* walaupun tegangan masukannya berbeda. Namun harus diperhatikan bahwa nilai minimal PWM yang diberikan harus diperhitungkan dengan baik sehingga kondisi agar tegangan keluaran harus lebih besar dari tegangan masukan dapat terpenuhi.
3. Sistem MPPT dapat mencari titik MPP pada nilai 11,4 Volt dan mempertahankan titik tersebut dengan baik ketika terjadi perubahan daya.

REFERENSI

- [1] REN21. 2017. Renewables 2017: global status report. Paris: REN21 Secretariat.
- [2] Dewan Energi Nasional. 2016. Outlook Energi Indonesia 2016. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- [3] Putri, R. I., Rifai, M., Pujiantara, M., Priyadi, A. & Purnomo, M. H. 2017. Fuzzy MPPT Controller For Small Scale Stand Alone PMSG Wind Turbine. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12(1):188-193.
- [4] Minh, H. Q., Cuong, N. C. & Nguyenchau, T. 2014. A Fuzzy-Logic Based MPPT Method For Stand-Alone Wind Turbine System, American Journal of Engineering Research 3:117-184.

- [5] Otong, M. & Bajuri, R. M. 2016. Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter, Jurnal Ilmiah SENTRUM 5:103-110.
- [6] Vignesh, P. 2015. PMSG Based Wind Power Regulator Using Fuzzy Logic Controller, International Journal of Innovative Research in Science 2:1303–1309.
- [7] Kishore, K. V. 2017. Comparison of PI/Fuzzy Techniques for Compensation of Unbalanced Voltages in Grid Connected PMSG Based Wind Turbine. Journal of Science and Technology, 2(1):19–25.