

PERANCANGAN SISTEM MPPT UNTUK DUA TURBIN ANGIN KAPASITAS 300 WATT PADA KONDISI KECEPATAN ANGIN RENDAH MENGGUNAKAN METODE *PERTURB & OBSERVE* (P&O)

Muhammad Fadli Arief¹, Akhmad Musafa²

1. Teknik Elektro : Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia
Fadlihandsome1@gmail.com
2. Teknik Elektro : Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia
akhmad.musafa@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dibuat perancangan sistem MPPT untuk dua turbin angin kapasitas 300 Watt pada kondisi kecepatan angin rendah menggunakan metode *Perturb & Observe*. Metode ini digunakan untuk mencari nilai daya maksimum pada dua turbin angin yang telah dirancang. Perancangan telah dibuat secara simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan memanfaatkan fasilitas Simulink, yang terdiri dari pemodelan dua turbin angin dengan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), rectifier, buck boost converter, dan dua turbin angin dengan MPPT P&O. Simulasi dilakukan dengan kecepatan angin yang bervariasi yang didapatkan pada saat pengujian potensi energi angin di Universitas Budi Luhur area Rooftop unit 7 lantai 6, dengan beban resistif yang bervariasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengujian dua turbin angin tanpa MPPT dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 1.05 Watt dan untuk sistem dua turbin angin dengan MPPT menghasilkan daya keluaran sebesar 7.17 Watt. Pada kondisi kecepatan angin 5.4 m/s untuk nilai beban bervariasi dari 5 ohm sampai 30 ohm, rata-rata selisih tegangan, arus dan daya antara sistem tanpa MPPT dan sistem dengan MPPT adalah sebesar 6.28 volt, 0.45 ampere dan 5.22 watt.

Kata Kunci : Turbin Angin, MPPT, *Perturb & Observe*, Kecepatan angin rendah, Buck Boost Converter.

ABSTRACT

In this research modeled design MPPT system for two wind turbines at low wind speed conditions using the method *Perturb & Observe*. This method is used to find the maximum power value of the system of two wind turbines that have been designed. The design has been created in simulation using the MATLAB software by utilizing the Simulink facility, consisting of modelling two wind turbines with a Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), rectifier, Buck boost converter, and two Wind turbine with MPPT P&O. The simulation is done with the varying wind speeds gained at the time of testing the wind energy potential at the Universitas Budi Luhur area Rooftop Unit 7 floor 6, with varying resistive loads. Simulated results show that testing two wind turbines without MPPT can produce an output power of 1.05 watts and for a system of two wind turbines with MPPT generating a output power of 7.17 watts. In the condition of wind speed of 5.4 m/s for the load value varies from 5 ohm to 30 ohm, average difference in voltage, current and power between systems without MPPT and system with MPPT is 6.28 volts, 0.45 ampere and 5.22 watt.

Keywords: Wind Turbines, MPPT, *Perturb & Observe*, Low Wind Speed, Buck Boost Converter.

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan merupakan salah satu dari energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar untuk pembangkit listrik, diantaranya yaitu energi angin. Energi angin sebagai sumber pembangkitan tenaga listrik merupakan bagian penting dalam kebutuhan energi dunia.

Sebagai energi penting di dunia, energi angin mengalami perkembangan teknologi yang sangat cepat. Teknologi pembangkitan tenaga angin dikembangkan untuk dapat terhubung ke dalam sistem kelistrikan. Kapasitas energi angin yang tersedia di Indonesia pada tahun 2015 mencapai sekitar 60 GW. Sehingga tenaga angin dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi

permasalahan energi di Indonesia. Kecepatan angin di Indonesia yang bersifat fluktuatif 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.

Pada jurnal (Otong dan Bajuri, 2016) membahas tentang *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan *Buck-Boost Converter*. MPPT diimplementasikan menggunakan *Buck Boost Converter* dengan algoritma MPPT *Perturb & Observe (P&O)* yang digunakan untuk mencari nilai daya maksimum pada pembangkit listrik tenaga angin untuk pengisian (*charging*) ke baterai. Hasil simulasi menunjukkan bahwa MPPT yang diusulkan menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan sistem tanpa MPPT saat pengujian berbeban. Rata – rata efisiensi daya yang mampu ditransfer ke baterai oleh sistem yang diusulkan adalah 90,15% dan 82,01% untuk sistem tanpa dilengkapi MPPT. [1]

Pada jurnal (D. A. Ernadi, M. Pujiantara, and M. H. Purnomo, 2016) membahas Desain *Maximum Power Point Tracking* untuk Turbin Angin Menggunakan *Perturb & Observe (P&O)* Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin. Implementasi MPPT pada sistem turbin angin skala kecil yang dikontrol menggunakan metode *Perturb & Observe (P&O)* dengan kontrol *Buck Converter* berdasarkan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan pada *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*. Dengan metode P&O pada MPPT ini, osilasi daya keluaran pada turbin angin dapat diredam dengan baik. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini bisa didapatkan daya maksimum yang optimal dengan kecepatan tracking yang cepat. [2]

(N. A. Hidayatullah and H. N. K. Ningrum, 2016) membahas tentang Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode *Maximum Power Point Tracker*. optimalisasi pembangkit listrik pada turbin angin menggunakan metode P&O untuk meningkatkan daya keluaran pembangkit listrik tenaga angin. Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan berbagai kecepatan angin didapati bahwa rata –rata daya tanpa MPPT hanya sekitar 44,33% saja sedangkan dengan yang dilengkapi MPPT, daya rata – rata mengalami kenaikan sebesar 49,51%. [3]

(A. Harumwidiah and A. Kurniawan, 2016) membahas tentang Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan *Doubly Fed Induction Generator (DFIG)* Dengan *Back-To-*

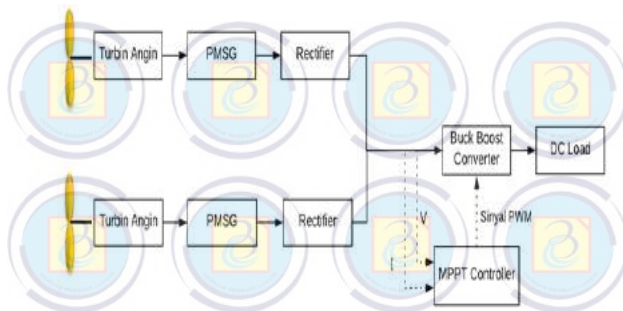
Back Converter. Simulasi pembangkit listrik tenaga angin menggunakan DFIG yang dihubungkan ke jaringan melalui *back-to-back converter*. Konverter ini digunakan untuk mengontrol kecepatan rotor DFIG agar menghasilkan daya maksimum dan menjaga nilai tegangan kapasitor DC tetap konstan. Hasil dari simulasi yang dilakukan pengujian akurasi rangkaian kontrol menunjukkan, nilai akurasi yang tinggi dibuktikan dengan nilai error dibawah 1% untuk semua kondisi kecepatan angin. [4]

(R. I. Putri, M. Rifa'i, M. Pujiantara, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, 2016) membahas tentang *Fuzzy MPPT Controller for Small Scale Stand Alone PMSG Wind Turbine*. fuzzy logic diimplementasikan 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 40 Volt walaupun kecepatan angin berubah-ubah. [5]

Berdasarkan penelitian tersebut tugas akhir ini akan membahas perancangan sistem MPPT untuk dua turbin angin kapasitas 300 watt pada kondisi kecepatan angin rendah menggunakan metode *Perturb & Observe*, untuk dapat mengetahui seberapa besar daya maksimum yang bisa didapatkan jika diterapkan secara langsung di Universitas Budi Luhur. Algoritma sistem MPPT dengan metode *Perturb & Observe* dipilih karena mudah diimplementasikan pada sistem pembangkit listrik khususnya turbin angin, untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh dua turbin angin.

II. PEMODELAN DAN PERANCANGAN SISTEM

Sistem dua turbin angin berfungsi sebagai penghasil energi listrik. Input dari dua turbin angin berupa kecepatan angin yang keluaran dari dua turbin angin berupa energi mekanik, yang menggerakkan *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* untuk menghasilkan listrik berupa tegangan *Alternating Current (AC) 3 phase*. Setelah itu keluaran dari PMSG dihubungkan ke masing – masing *rectifier* dengan tujuan untuk mengubah tegangan AC menjadi Tegangan *Direct Current (DC)*, lalu keluaran dari *rectifier* dihubungkan secara paralel. Setelah MPPT menerima tegangan dan arus masukan, maka MPPT memberikan sinyal kontrol berupa *Pulse Width Modulation (PWM)* ke *Buck Boost Converter* dengan tujuan dapat menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran yang dihasilkan dengan mengatur nilai *duty cycle*. Setelah tegangan keluaran di atur di *Buck Boost Converter*, maka energi listrik dialirkan ke beban DC yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Sedangkan parameter dua turbin angin ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Dua Turbin Angin

Keterangan	Nilai
Daya maksimum turbin angin	300 W
Tegangan saat daya maksimum	12 Vac
Arus saat daya maksimum	25 Iac
Kecepatan dasar rotor	1,2 pu
Pitch angle	0 °
Jari – jari sudu turbin angin	0,55 m
Range kinerja turbin angin	3 -25 m/s

A. Pemodelan Sistem Turbin Angin

Turbin angin digunakan untuk mengonversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Jumlah daya yang dihasilkan oleh dua turbin angin tergantung pada ukuran sudu turbin angin dan kecepatan angin yang memutar sudu pada kedua turbin. Hasil dari daya yang didapat pada kedua turbin angin dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

Keterangan P_m adalah Daya mekanik turbin angin (watt), C_p adalah koefisien daya pada turbin angin (rad/s), π adalah phi (3,14), R adalah jari – jari turbin angin (m), ρ adalah kerapatan / massa jenis udara ($1,225 \text{ kg/m}^3$), v adalah kecepatan angin (m/s). Hubungan antara *tip speed ratio* (λ), *pitch angle* (β), dan koefisien daya turbin angin (C_p) dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \cdot \beta - C_4 \right) \exp^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \cdot \lambda \quad (2)$$

Maupun dengan persamaan berikut :

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.8\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (3)$$

Persamaan untuk mencari nilai λ adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{R \cdot \omega}{v} \quad (4)$$

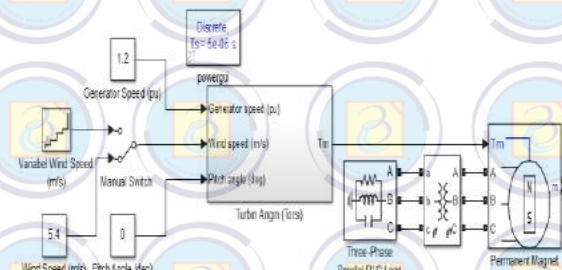
Persamaan untuk mencari nilai T_m adalah sebagai berikut :

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (5)$$

Keterangan $C_p(\lambda, \beta)$ adalah perkalian koefisien daya pada turbin angin, antara *tip speed* dengan *pitch angle*, λ adalah *tip speed ratio* (kecepatan rotor dibandingkan kecepatan angin), β adalah *pitch angle* (°), $\exp$ adalah eksponensial, ω adalah kecepatan putar rotor pada turbin angin (rad/s). Menurut model *wind turbine* pada Simulink MATLAB, nilai koefisien C_1 sampai dengan C_6 adalah sebagai berikut :

$$C_1 = 0.5176 \quad C_2 = 116 \quad C_3 = 0.4 \quad C_4 = 5 \quad C_5 = 21 \quad C_6 = 0.0068$$

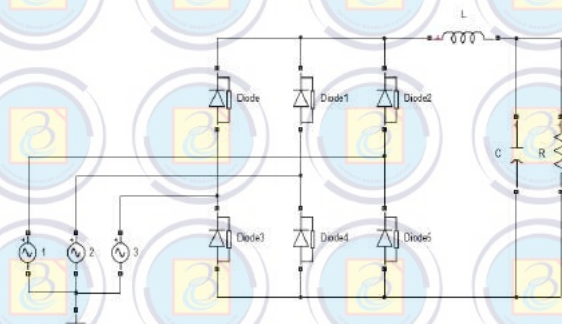
Dengan menggunakan persamaan matematis turbin angin dan jari- jari yang digunakan sebesar 55 cm maka dapat dimodelkan ke dalam simulasi seperti Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan turbin angin

B. Pemodelan Rangkaian Rectifier

Rangkaian *rectifier* adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah tegangan *Alternating Current* (AC) menjadi tegangan *Direct Current* (DC). Dalam simulasi perancangan *rectifier* digunakan untuk mengubah tegangan keluaran dari dua turbin angin yang berupa tegangan AC 3 phase yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Rangkaian Rectifier

Nilai tegangan dari turbin angin sebesar 5 Volt AC, maka diperoleh nilai tegangan keluaran DC dengan *filter* sebagai berikut :

$$V_{dc} = V_m \frac{3\sqrt{3}}{\pi} = 1,654V_m$$

$$V_{dc} = 1,654 * 5 = 8,27 \text{ Volt} \quad (6)$$

Dapat diperoleh nilai induktor untuk filter sebagai berikut :

$$L_{min} = \frac{R}{6\pi f_i}$$

$$L_{min} = \frac{10}{6 \cdot 3.14 \cdot 50} = 10 \text{ mH} \quad (7)$$

Dalam implementasinya nilai induktor dapat dibuat lebih besar dari perhitungan maka nilai induktor dibuat dengan nilai sebesar 50 mH.

Dapat diperoleh nilai kapasitor untuk filter sebagai berikut :

$$C_{min} = \frac{V_m}{f_r \cdot R \cdot V_r}$$

$$C_{min} = \frac{12}{300 \cdot 10 \cdot 18} = 222 \text{ uF} \quad (8)$$

Dalam implementasinya nilai kapasitor dibuat lebih besar dari perhitungan maka nilai kapasitor dibuat dengan nilai sebesar 300 uF.

C. Pemodelan Rangkaian Buck Boost Converter

Tegangan keluaran dari dua turbin angin disearahkan terlebih dahulu oleh rangkaian *rectifier* sebelum dihubungkan dengan *Buck boost converter*. *Buck Boost Converter* adalah suatu jenis converter yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran dari tegangan masukan berdasarkan nilai *duty cycle*. Namun, *buck boost converter* mengubah polaritas dari tegangan masukan terhadap tegangan keluaran. Nilai tegangan dari dua turbin angin sebesar 2,3 Volt DC, maka diperoleh nilai tegangan keluaran, tegangan *ripple*, dan tegangan *ripple* kapasitor dengan asumsi $V_{r_{cpp}}$ sebesar 77 mV adalah sebagai berikut :

$$V_o = -V_s \left(\frac{D}{1-D} \right)$$

$$V_o = -2,3 \left(\frac{0,8}{1-0,8} \right) = -9,7 \text{ V} \quad (9)$$

$$V_r = \frac{1}{100} \times 9,7 = 97 \text{ mV} \quad (10)$$

$$V_{cpp} = (97 - 77) \text{ mV} = 20 \text{ mV} \quad (11)$$

Untuk menentukan setiap komponen yang digunakan pada *buck boost converter* maka diperlukan perhitungan dan parameter yang ditetapkan agar sistem dapat berjalan dengan baik. Persamaan (12) dan (13) dapat digunakan menghitung besar nilai induktor dan kapasitor yang digunakan pada *buck boost converter*. Pada penelitian ini *buck boost converter* bekerja pada

mode *Continuous Current Mode* (CCM), maka didapatkan nilai L_{min} dan C_{min} sebesar 0,00192 H dan 0,00001472 F.

$$L_{min} = \frac{R_{Lmax}(1-D_{min})^2}{2fs}$$

$$L_{min} = \frac{30 \cdot 0,64}{2 \cdot 5000} = 0,00192 \text{ H} \quad (12)$$

$$C_{min} = \frac{D_{max}}{fs \cdot R_{Lmin}} \times \frac{V_{out}}{V_{cpp}}$$

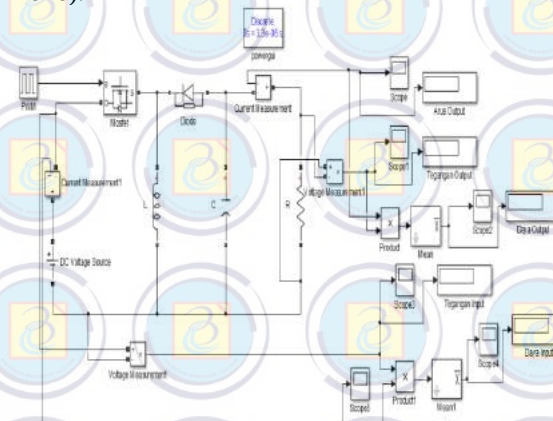
$$C_{min} = \frac{0,8}{5000 \cdot 5} \times \frac{9,7}{20} = 0,00001472 \text{ F} \quad (13)$$

Parameter pemodelan *buck boost converter* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Buck Boost Converter

Keterangan	Nilai
Resistor minimum	5 ohm
Resistor Maksimum	30 Ohm
Kapasitor Minimum	0,00001472 F
Induktor Minimum	0,00192 H
Tegangan Input	0,15 – 2,3 Vdc
Duty cycle	20 – 80%
Frekuensi switching	5 kHz

Sedangkan pemodelan *Buck Boost Converter* ditunjukkan pada Gambar 4. (Otong dan Bajuri, 2016).



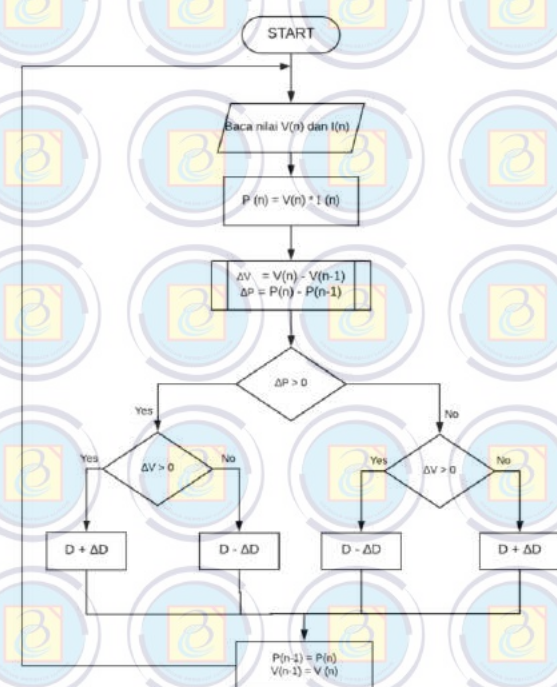
Gambar 4. Pemodelan Buck Boost Converter

D. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah suatu metode yang berfungsi untuk mengoptimalkan maupun melacak daya maksimum pada suatu sistem pembangkit tenaga listrik, salah satunya tenaga angin. Sistem MPPT pada dasarnya, terbentuk DC- DC Converter, Pada penelitian ini digunakan *Buck Boost Converter* yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran dengan cara mengatur nilai *duty cycle*, dengan adanya perubahan tegangan dan arus, maka

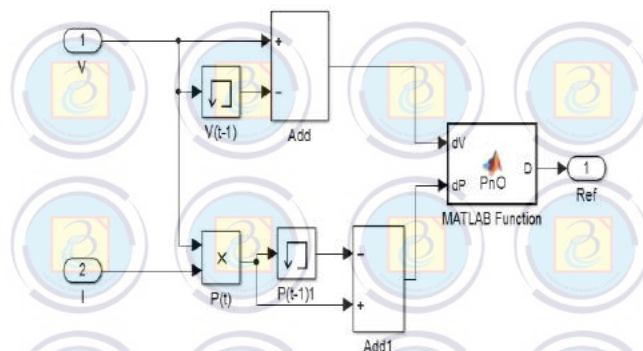
akan mempengaruhi perubahan daya pada sistem MPPT. MPPT untuk mengoptimalkan daya keluaran memiliki berbagai macam algoritma, salah satunya algoritma *Perturb and Observe (P&O)*. Metode ini digunakan untuk menentukan titik daya dan nilai daya maksimum tanpa harus mengetahui karakteristik turbin angin.

Nilai daya maksimum didapatkan dengan cara mengatur besaran tegangan pada *Buck Boost Converter*. Dengan perubahan besar tegangan pada *Converter*, maka nilai daya juga akan berubah. Metode ini mengatur dan mengamati setiap perubahan tersebut. Perubahan tersebut ditentukan pada *step-size* (ΔD) tertentu dan waktu tertentu. Besar daya listrik yang dihasilkan dibandingkan dengan daya listrik sebelumnya. Bentuk *flowchart* dari metode *Perturb and Observe* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart Metode Perturb & Observe

MPPT-P&O adalah suatu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran di titik *Maximum Power Point (MPP)* diberbagai pembangkit listrik. Dalam pemodelan MPPT-P&O pada simulasi yang telah dibuat menggunakan diagram Simulink dan blok MATLAB Function. Blok MATLAB Function digunakan untuk memasukkan program MPPT-P&O yang ditunjukkan pada Gambar 6.

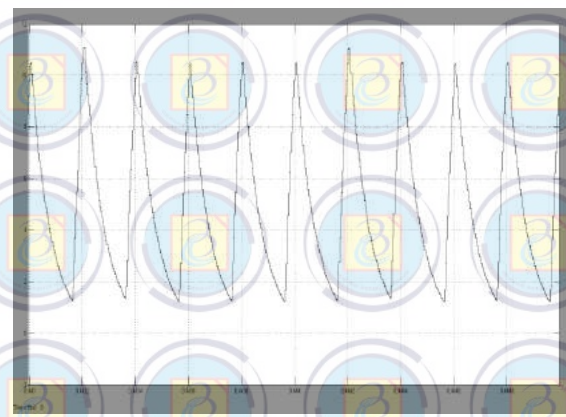


Gambar 6. Pemodelan Blok MPPT-P&O

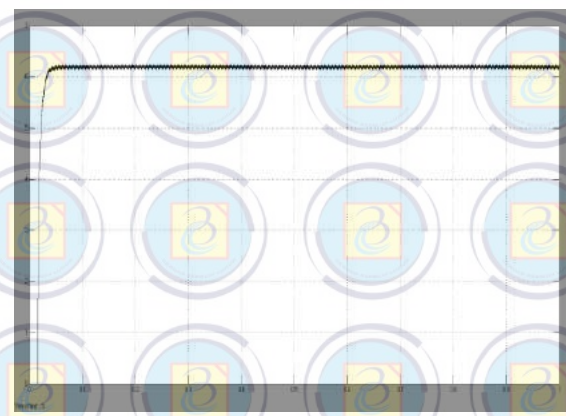
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian *Buck Boost Converter*

Pengujian *buck boost converter* dilakukan untuk menunjukkan *buck boost converter* dapat menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran (sesuai dengan karakteristik *buck boost converter*). Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan masukan maksimal dari pengujian turbin angin tanpa MPPT pada saat kecepatan angin 5,4 m/s sebesar 2,3 Volt, dengan nilai *duty cycle* yang bervariasi (20 – 80)% dengan nilai hambatan sebesar 5 Ohm., maka didapatkan grafik tegangan dan daya keluaran *buck boost converter* ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Sedangkan hasil pengujian dari simulasi ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 7. Grafik Tegangan Keluaran Buck Boost Converter



Gambar 8. Grafik Daya Keluaran Buck Boost Converter

Tabel 3. Hasil Pengujian Buck Boost Converter

Duty cycle (%)	Vin (Volt)	Vout (Volt)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
20	2,3	0,033	0,0127	0,0008	6,29
30	2,3	0,16	0,035	0,005	14,28
40	2,3	0,86	0,19	0,09	47,36
50	2,3	1,92	0,57	0,35	61,40
60	2,3	3,52	1,41	1,02	72,34
80	2,3	9,76	8,81	6,19	75,30

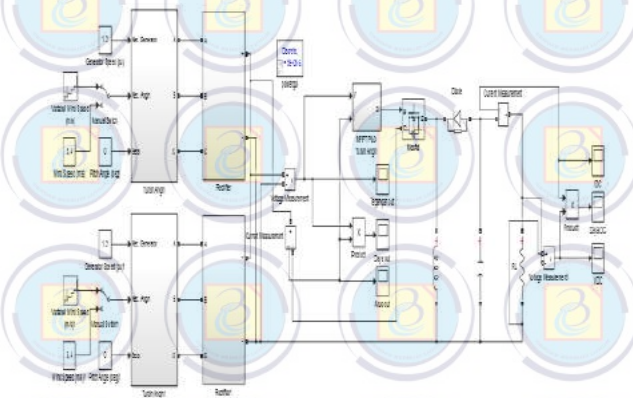
Dari Hasil pengujian pada Tabel 3. *Buck boost converter* dapat bekerja dengan baik. Tegangan keluaran dari *buck boost converter* dapat dinaikkan dan diturunkan dengan mengatur nilai *duty cycle*. Efisiensi dari *buck boost converter* juga ditampilkan pada hasil pengujian. Idealnya *buck boost converter* memiliki daya keluaran yang hampir sama dengan daya masukan, namun setiap komponen *buck boost converter* itu sendiri memiliki rugi-rugi yang menyebabkan efisiensinya berkurang. Pada pengujian dengan memberikan tegangan 2,3 Volt dengan nilai *duty cycle* sebesar 60%, besar efisiensi sebesar 72, 34%. Hal ini terjadi dikarenakan induktor mengalami saturasi, sehingga menyebabkan tegangan dan arus keluaran menjadi tidak stabil.

B. Pengujian Implementasi MPPT-P&O

Pada penelitian ini, untuk mengetahui hasil Implementasi sistem MPPT untuk dua turbin angin pada kondisi kecepatan angin rendah menggunakan metode *perturb & observe*. Pengujian ini dilakukan dengan dua konfigurasi, yaitu sistem tanpa MPPT dan dilengkapi MPPT, dengan memberikan kecepatan angin dan beban yang bervariasi. Simulasi ini dilakukan dengan menghubungkan dua turbin angin dengan hambatan yang nilainya berubah, mulai dari 5 Ohm sampai dengan 30 Ohm. Pengujian dan analisis dilakukan dengan enam laju angin, yang didapatkan dari hasil pengujian potensi energi angin di Universitas Budi Luhur area *Rooftop* Unit 7, Lantai 6 diantaranya 3.3 m/s, 3.7 m/s, 4 m/s, 4.2 m/s, 4.4 m/s, dan 5,4 m/s. Bentuk sistem dua turbin angin tanpa MPPT dan dilengkapi MPPT ditunjukkan pada Gambar 7. dan Gambar 8. Serta hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4 sampai dengan Tabel 9.



Gambar 7. Pemodelan Dua Turbin Angin Tanpa MPPT



Gambar 8. Pemodelan Dua Turbin Angin Dilengkapi MPPT

Tabel 4. Daya Beban Saat Kecepatan Angin 3,3m/s

RL (Ω)	Tanpa MPPT			MPPT P&O		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5	0,15	0,03	0,004	0,3	0,06	0,018
10	0,16	0,01	0,0025	0,38	0,03	0,011
15	0,17	0,01	0,0018	0,44	0,02	0,008
20	0,17	0,008	0,0013	0,48	0,02	0,009
25	0,17	0,007	0,0011	0,51	0,02	0,0102
30	0,17	0,005	0,0008	0,5	0,02	0,01

Tabel 5. Daya beban Saat Kecepatan Angin 3,7m/s

RL (Ω)	Tanpa MPPT			MPPT P&O		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5	0,48	0,09	0,046	1,19	0,23	0,27
10	0,52	0,05	0,026	1,65	0,16	0,26
15	0,53	0,03	0,0185	1,92	0,12	0,23
20	0,54	0,02	0,0145	2,05	0,1	0,2
25	0,54	0,02	0,0108	2,15	0,08	0,17
30	0,55	0,01	0,0099	2,28	0,07	0,15

Tabel 6. Daya Beban Saat Kecepatan Angin 4m/s

RL (Ω)	Tanpa MPPT			MPPT P&O		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5	0,75	0,15	0,11	1,9	0,38	0,72
10	0,81	0,08	0,06	2,7	0,27	0,72
15	0,83	0,05	0,04	3	0,2	0,6

20	0,84	0,04	0,03	3,3	0,16	0,52
25	0,85	0,03	0,02	3,5	0,14	0,49
30	0,86	0,02	0,01	3,65	0,12	0,43

Tabel 7. Daya Beban Saat Kecepatan Angin 4.2m/s

RL (Ω)	Tanpa MPPT			MPPT P&O		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5	0,95	0,19	0,18	2,37	0,47	1,11
10	1,02	0,1	0,1	3,35	0,33	1,1
15	1,05	0,07	0,07	3,8	0,25	0,95
20	1,06	0,05	0,05	4,1	0,2	0,82
25	1,07	0,04	0,04	4,4	0,17	0,74
30	1,08	0,03	0,03	4,5	0,15	0,67

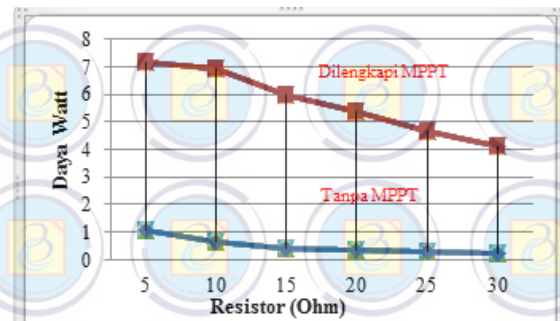
Tabel 8. Daya Beban Saat Kecepatan Angin 4.4m/s

RL (Ω)	Tanpa MPPT			MPPT P&O		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5	1,15	0,23	0,26	2,92	0,58	1,69
10	1,24	0,12	0,14	4,12	0,4	1,64
15	1,27	0,08	0,1	4,69	0,31	1,45
20	1,29	0,06	0,07	5,05	0,25	1,26
25	1,3	0,05	0,06	5,32	0,21	1,11
30	1,3	0,04	0,05	5,5	0,18	0,99

Tabel 9. Daya Beban Saat Kecepatan Angin 5.4m/s

RL (Ω)	Tanpa MPPT			MPPT P&O		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5	2,3	0,46	1,05	5,98	1,2	7,17
10	2,5	0,25	0,62	8,35	0,83	6,93
15	2,55	0,27	0,43	9,5	0,63	5,98
20	2,58	0,13	0,33	10,2	0,53	5,4
25	2,61	0,1	0,26	10,8	0,43	4,64
30	2,62	0,08	0,2	11,3	0,37	4,14

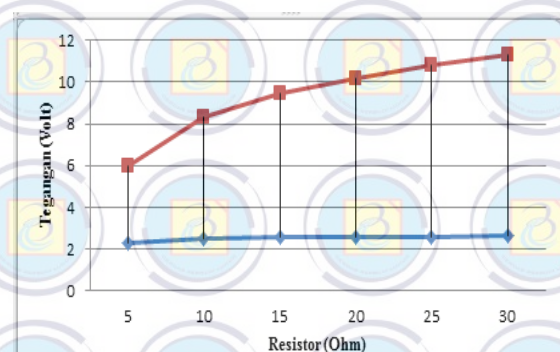
Berdasarkan Tabel 4 sampai dengan Tabel 9 dengan mengambil salah satu sampel data pada beban 10 Ohm pada saat kondisi kecepatan angin 4 m/s, 4.2 m/s, 4.4 m/s, dan 5.4 m/s, menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan pada sistem turbin angin tanpa MPPT yaitu sebesar 0,16 Volt sampai 2,5 Volt dan sistem dua turbin angin yang dilengkapi MPPT yaitu sebesar 0,38 Volt sampai 8,35 Volt Serta daya maksimal yang didapatkan dari hasil pengujian dua turbin angin tanpa dan dilengkapi MPPT yaitu sebesar 1,05 Watt dan 7,17 Watt yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Daya Maksimal saat kecepatan 5,4 m/s Tanpa dan Dilengkapi MPPT

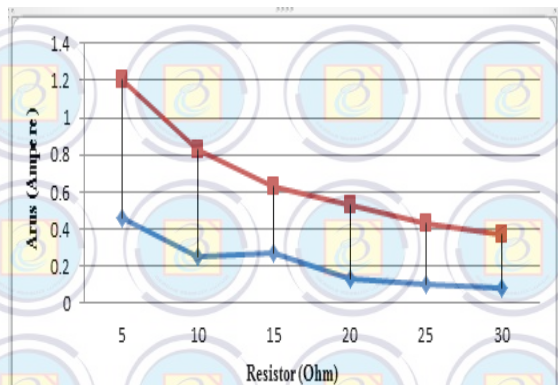
Jika dilihat pada Tabel 9. Saat kecepatan angin 5,4 m/s untuk setiap beban dapat menghasilkan tegangan rata – rata pada dua turbin angin tanpa MPPT yaitu 2,52 Volt dan pada dua turbin angin yang dilengkapi MPPT yaitu sebesar 9,35 Volt.

Dengan mengambil sampel data dari pengujian sistem dua turbin angin tanpa MPPT pada saat kecepatan angin pada saat kecepatan angin 5,4 m/s dengan beban yang bervariasi, maka dapat dilihat perbandingan nilai tegangan, arus, dan daya yang ditunjukkan pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



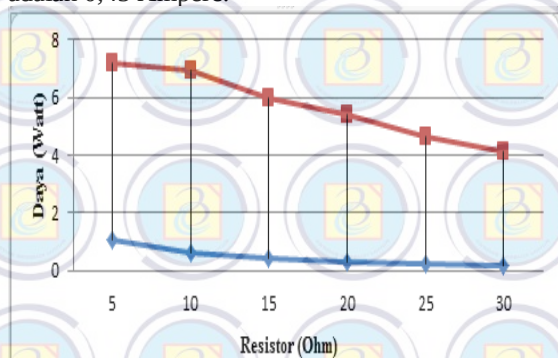
Gambar 10. Perbandingan Nilai Tegangan pada Dua Turbin Angin Tanpa dan Dilengkapi MPPT

Berdasarkan Gambar 10. Perbandingan nilai tegangan pada dua turbin angin tanpa MPPT dan dilengkapi MPPT, dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai resistor maka semakin besar nilai tegangan yang dihasilkan. Dengan rata - rata selisih tegangannya adalah 6,82 Volt.



Gambar 11. Perbandingan Nilai Arus Pada Dua Turbin Angin Tanpa dan Dilengkapi MPPT

Berdasarkan Gambar 11. Perbandingan nilai arus pada dua turbin angin tanpa MPPT dan dilengkapi MPPT, dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai resistor maka semakin kecil nilai arus yang dihasilkan. Dengan rata - rata selisih arusnya adalah 0,45 Ampere.



Gambar 12. Perbandingan Nilai Daya Pada Dua Turbin Angin Tanpa dan Dilengkapi MPPT

Berdasarkan Gambar 12. Perbandingan nilai daya pada dua turbin angin tanpa MPPT dan dilengkapi MPPT, dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai resistor maka semakin kecil nilai daya yang dihasilkan. Dengan rata - rata selisih dayanya adalah 5,22 Watt.

Berdasarkan pengujian dua turbin angin tanpa MPPT dan dua turbin angin dengan MPPT dapat dianalisa dari hasil pengujian bahwa potensi energi angin yang ada di Universitas Budi Luhur area Rooftop unit 7 lantai 6, Dengan melakukan pengujian menggunakan sistem MPPT berdasarkan algoritma *perturb & observe*. Perolehan daya maksimal yang didapat tanpa MPPT dan dilengkapi MPPT adalah 1,05 Watt dan 7,17 Watt. Dengan itu jika ingin menghasilkan daya sebesar 15 Watt jika di instalasi di Universitas Budi Luhur area Rooftop unit 7 lantai 6, maka dibutuhkan sekiranya sebanyak 4 buah turbin angin.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian simulasi sistem MPPT untuk dua turbin angin kapasitas 300 Watt pada kondisi kecepatan angin rendah menggunakan

metode *Perturb & Observe* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pada pengujian *Buck Boost Converter* dengan memberikan tegangan masukan 2,3 Volt DC dengan nilai *duty cycle* 80%, maka didapatkan tegangan keluaran maksimal sebesar 9,76 Volt dengan daya keluaran sebesar 6,19 Watt, Serta nilai efisiensi pada *Buck Boost Converter* sebesar 75,30%.
- Pada pengujian *Buck Boost Converter* , didapat rata - rata efisiensi pada rangkaian *Buck Boost Converter* sebesar 46,16 %.
- Pada pengujian dua turbin angin tanpa MPPT dan dilengkapi MPPT pada kondisi nilai beban 10 Ohm dengan kecepatan angin 4 m/s, 4.2 m/s, 4.4 m/s, dan 5,4 m/s, didapatkan data rata - rata selisih tegangan, arus, dan dayanya sebesar 6,82 Volt 0,45 Ampere 5,22 Watt.
- Pada pengujian sistem MPPT untuk dua turbin angin kapasitas 300 Watt pada kondisi kecepatan angin rendah menggunakan metode *perturb & observe*, Perolehan daya maksimal yang didapat tanpa sistem MPPT dan dilengkapi MPPT adalah 1,05 Watt dan 7,17 Watt. Dengan itu jika ingin menghasilkan daya sebesar 15 Watt jika di instalasi di Universitas Budi Luhur area Rooftop unit 7 lantai 6, maka dibutuhkan sebanyak 4 buah turbin angin.

REFERENSI

- [1] M. Otong and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," vol. 5, no. 2, 2016.
- [2] D. A. Ernadi, M. Pujiatara, and M. H. Purnomo, "Desain Maximum Power Point Tracking untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin," vol. 3539, no. 2, 2016.
- [3] N. A. Hidayatullah and H. N. K. Ningrum, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," vol. 1, no. 1, pp. 7–12, 2016.
- [4] A. Harumwidiah and A. Kurniawan, "SIMULASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN DOUBLY FED INDUCTION GENERATOR (DFIG) DENGAN BACK-TO-BACK CONVERTER," no. 2, 2016.
- [5] R. I. Putri, M. Rifa'i, M. Pujiatara, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, "FUZZY MPPT CONTROLLER FOR SMALL SCALE STAND ALONE PMSG WIND TURBINE," vol. 12, no. 1, pp. 188–193, 2017.