

Modifikasi Variabel *Step Size* MPPT P&O pada Sistem Turbin Angin *Stand-Alone*

Ayu Fitriah Sapruddin¹, Danang Wijaya², Eka Firmansyah³

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan, 90245 Indonesia

^{2,3}Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2, Mlati, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281, Indonesia

*Email: afitriah12@poliupg.ac.id

ABSTRAK

Teknologi turbin angin tidak semaju dengan teknologi pembangkit listrik tenaga fosil sebab bahan penggerak utama turbin angin, dalam hal ini aliran angin sangat bergantung pada kondisi cuaca yang tidak dapat diukur dan tidak dapat diprediksi secara akurat. Intermittensi kecepatan angin sangat mempengaruhi pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik. Perubahan yang cepat dapat memberi dampak yang signifikan dalam proses ekstraksi daya keluaran oleh sistem turbin angin tersebut. Penelitian ini mendesain sistem turbin angin dengan menggunakan generator permanen magnet sinkron berkapasitas 5 kW yang dilengkapi *maximum power point tracking* (MPPT) untuk meningkatkan perolehan daya keluaran tersebut. Dari beberapa algoritme MPPT, algoritme *perturb and observe* (P&O) paling banyak digunakan salah satunya karena implementasinya yang mudah dan harganya yang ekonomis. Namun, kekurangan dari algoritme ini terdapat pada efisiensi dari performanya yang terbilang masih rendah sehingga perlu dilakukan modifikasi pada *step size* nya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritme P&O konvensional, MPPT mampu mencapai efisiensi sebesar 67,05% dan algoritme P&O modifikasi sebesar 82,25%. Dengan menggunakan MPPT P&O juga, baik konvensional dan modifikasi mampu merespon perubahan kecepatan angin, baik itu dari kecepatan tinggi ke rendah dan sebaliknya dimana waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi *steady state* yang baru adalah $\pm 0,1$ detik.

Kata kunci: Turbin Angin; *Maximum Power Point Tracking* (MPPT); *Perturb and Observe* (P&O); *Step size*.

ABSTRACT

Wind turbine technology is not as advanced as fossil power generation technology because the main driving material of wind turbines, in this case, wind flow is very dependent on weather conditions that cannot be measured and cannot be accurately predicted. Wind speed intermittence greatly affects the utilization of wind energy into electrical energy. Rapid changes can have a significant impact on the process of extracting output power by the wind turbine system. This research designs a wind turbine system using a 5 kW permanent magnet generator synchronous equipped with *maximum power point tracking* (MPPT) to increase the output power. There are some types of the MPPT algorithm, *perturb and observe* (P&O) algorithm is the most widely used one of them because of its easy implementation and economical price. However, the weakness of this algorithm lies in the efficiency of the performance which is still relatively low so it needs to be modified in its *step size*. The results showed that by using a conventional P&O algorithm, MPPT was able to achieve an efficiency of 67.05% and a modified P&O algorithm of 82.25%. Also by using MPPT P&O, both conventional and modification can respond to changes in wind speed, both from high to low speeds and vice versa where the time needed to reach the new *steady state* is ± 0.1 second.

Keywords: Wind turbine; *Maximum Power Point Tracking* (MPPT); *Perturb and Observe* (P&O); *step size*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi alternatif ini didukung baik oleh pemerintah Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan arah kebijakan energi nasional dan visi kementerian ESDM dalam meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) sebesar 25% dari total penggunaan energi nasional. Dari berbagai sumber EBT, pemanfaatan energi angin berada dalam skala yang paling rendah yaitu sebesar 3,07 MW atau 0,03% dari jumlah potensi yang ada (DESDM, 2006). Menurut hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), potensi energi angin di Indonesia umumnya memiliki kecepatan 5m/s. Beberapa wilayah seperti Sulawesi Selatan, Pantai Selatan Jawa, Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat memiliki kecepatan angin di atas 5m/s dimana potensi kecepatan angin 4-5 m/s dapat dimanfaatkan oleh turbin angin skala kecil 1-100 kW untuk membangkitkan energi listrik.

Untuk saat ini, teknologi turbin angin tidak semaju dengan teknologi pembangkit listrik tenaga fosil. Hal ini disebabkan oleh kondisi angin yang memanfaatkan aliran angin sangat bergantung pada cuaca yang merupakan parameter sulit untuk diukur secara akurat karena intermitensinya dan tidak dapat diprediksi (Yukio dkk, 2001). Daya yang dihasilkan turbin angin sangat bergantung pada kecepatan angin. Kecepatan angin yang berubah-ubah dari waktu ke waktu menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi pemanfaatan energi angin untuk menjadi energi listrik. Perubahan kecepatan angin yang cepat dapat mempengaruhi proses ekstraksi daya oleh sistem turbin angin.

Terdapat beberapa cara untuk meningkatkan proses ekstraksi daya tersebut. Berdasarkan beberapa hasil penelitian sebelumnya, untuk mengoptimalkan daya keluaran dari turbin angin, sistem turbin angin perlu dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracking* atau MPPT. Teknologi MPPT merupakan metode yang bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem dengan menelusuri titik daya maksimum (MPP) dalam kondisi kecepatan angin yang berubah-ubah.

Pengembangan algoritme MPPT pada sistem turbin angin sudah banyak dilakukan. Diantaranya dari segi konsep, kompleksitas, jumlah sensor yang digunakan, harga dan performa yang berbeda agar mencapai berbagai tujuan termasuk akurasi pelacakan dan respon yang cepat pada MPP yang dipengaruhi oleh perubahan kecepatan angin. Beberapa algoritme yang paling banyak dipakai yaitu *Perturb and Observe (P&O)*, *Hill Climbing Search*, *Current Sweep*, *Incremental Conductance*, *Constant Voltage*, algoritme komputasi seperti *Particle Swarm Optimization*, *Ant Colony Algorithm*, dan beberapa algoritme yang dimodifikasi juga telah dikembangkan. Dari beberapa algoritme

tersebut, algoritme P&O merupakan algoritme yang paling sering digunakan karena implementasinya yang mudah dan harganya yang lebih ekonomis (Mamatha, 2015). Namun, kekurangan dari algoritme ini dapat dilihat ketika titik kerja tidak mencapai atau melewati titik MPP pada kondisi steady state dan respon pelacakannya yang kurang tepat pada saat terjadi perubahan kecepatan angin.

Sistem kerja MPPT ketika menetapkan nilai *step size* yang besar maka sistem dapat melacak titik MPP dengan respon yang cepat tetapi terjadi selisih daya yang besar di sekitar titik MPP. Sedangkan, ketika menetapkan nilai *step size* yang kecil maka pelacakan titik MPP lebih lambat tetapi dapat menurunkan selisih dayanya (Coelho dkk, 2010).

Fokus utama penelitian ini adalah melakukan modifikasi variabel *step size* MPPT pada algoritme P&O yang dirancang melalui simulasi *Power Simulator* (PSIM) untuk mengatasi kekurangan algoritme P&O konvensional yang diterapkan pada sistem turbin angin. Ketika titik daya maksimum berubah karena perubahan kecepatan angin, maka *step size* secara otomatis akan berubah berdasarkan titik operasi. Selanjutnya, jika titik operasi jauh dari titik maksimum maka *step size* dapat dinaikkan atau diturunkan agar dapat mencapai pelacakan yang cepat dan tepat. Variasi nilai *step size* ini juga bertujuan untuk mengurangi osilasi yang terjadi di sekitar titik daya maksimum dan mengarahkan respon yang lebih cepat untuk mencapai titik MPP.

METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur yang berkaitan dengan sistem turbin angin, *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG), MPPT, P&O, dan konverter DC-DC. Setelah itu, dilakukan juga pengumpulan data karakteristik angin dan beberapa parameter yang berkaitan sebagai dasar dalam perancangan sistem turbin angin untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik.

2. Pemodelan

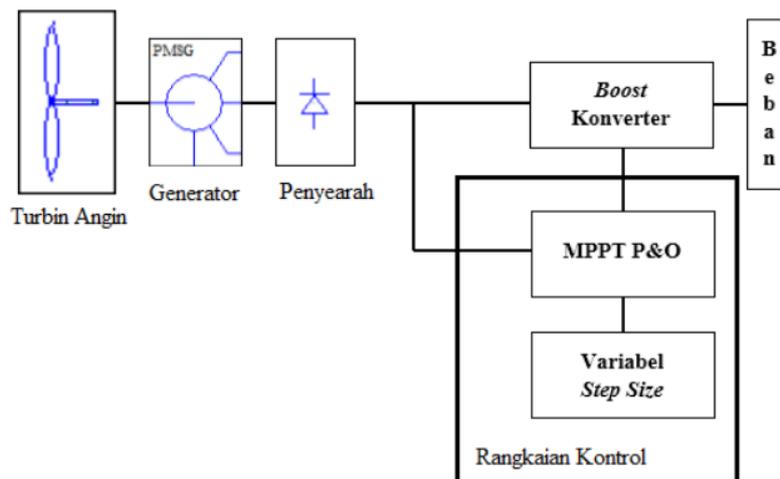
Data spesifikasi turbin angin yang telah diperoleh, digunakan untuk membuat pemodelan sistem turbin angin dengan mengacu pada variasi kecepatan angin. Pada tahap ini juga dilakukan perancangan MPPT dengan berpedoman pada karakteristik angin yang menjadi

masuk ke sistem sehingga proses ekstraksi daya dapat berlangsung secara maksimal dan mampu memberikan respon yang baik dalam keadaan dinamis

3. Analisis Hasil Simulasi

Sistem yang telah dimodelkan selanjutnya diuji berdasarkan data kecepatan angin dan dilakukan pengamatan terhadapnya. Proses perancangan MPPT disebut berhasil apabila nilai C_p dari sistem turbin angin telah bernilai diantara 0,35 - 0,5. Langkah terakhir pada penelitian ini yaitu dengan melakukan analisis terhadap sistem secara keseluruhan, dalam hal ini meliputi pengaruh parameter angin terhadap keluaran sistem, efisiensi, dan performa sistem dalam kondisi dinamis. Kemudian melakukan penarikan kesimpulan.

Blok diagram sistem turbin angin secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1. Blok diagram tersebut terdiri atas turbin angin, generator PMSG, penyearah, MPPT, konverter *boost* dan beban. Penelitian ini berfokus pada rangkaian kontrol MPPT, khususnya variabel *step size* untuk mengetahui pengaruh *step size* terhadap efisiensi daya keluaran dari turbin angin. Turbin angin berfungsi untuk mengkonversi energi angin menjadi energi mekanis. Kemudian melalui PMSG mengubah energi mekanis tersebut menjadi energi listrik. Spesifikasi turbin angin dan PMSG ini disesuaikan dengan masukan dari turbin angin dalam hal ini kecepatan angin. Untuk memaksimalkan daya keluaran sistem ini. Pemodelan ini menggunakan Power Simulator 9.0 (PSIM) untuk memvalidasi rangkaian yang diusulkan tersebut



Gambar 1. Sistem Turbin Angin 5 kW yang diusulkan

Setelah menentukan karakteristik angin serta spesifikasi turbin angin yang digunakan, kemudian dilakukan pemodelan sistem pada PSIM. Sistem turbin angin dimodelkan dengan konfigurasi turbin

angin yang terkopel dengan PMSG, selanjutnya listrik keluaran PMSG disearahkan oleh penyearah. Kemudian dilakukan verifikasi pemodelan tadi, apakah model telah bekerja sesuai dengan dasar teori atau belum. Proses verifikasi dilakukan dengan mengamati pengaruh kecepatan angin terhadap daya keluaran. Pada dasarnya semakin besar kecepatan angin sebagai masukan maka kecepatan rotor juga akan semakin besar. Dengan demikian daya keluaran dari sistem turbin juga akan semakin besar. Jika daya keluaran telah menunjukkan pola yang proporsional sesuai dengan karakteristik turbin maka pemodelan dikatakan sesuai. Parameter turbin angin dan PMSG yang digunakan dalam simulasi ini diambil dari (Zammit dkk, 2017) dapat dilihat pada Tabel 1.

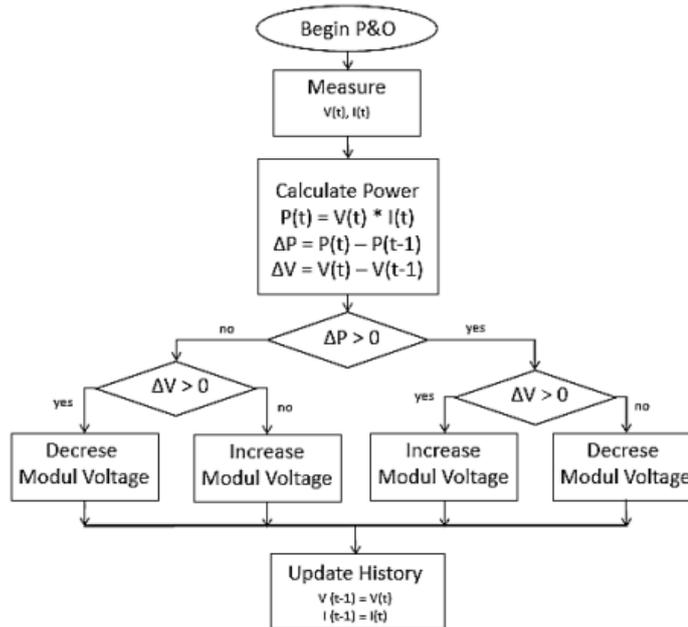
Tabel 1. Parameter turbin angin dan PMSG 5 kW

Spesifikasi @ $v = 12 \text{ m/s}$ dan $\beta = 0^0$	
Nominal output power	5000W
Base wind speed	12 m/s
Stator resistance	1,95 Ω
d-axis inductance	1,9 mH
q-axis inductance	1,9 mH
Number of pole pairs	4
Rated speed	1500 rpm
Inertia	1 kg/m ²

Berdasarkan parameter di atas, maka telah dibuat pemodelan sistem turbin angin dengan menggunakan PSIM pada kondisi kecepatan angin (v) senilai 12 m/s dengan sudut blade (β) senilai 0^0 . Dari hasil simulasi, diperoleh nilai daya maksimum turbin angin sebesar 5019,43 W sebagaimana telah sesuai dengan kapasitas turbin generator. Nilai tegangan dc keluaran dari penyearah kemudian dijadikan dasar dalam melakukan pemodelan konverter *boost*.

1. Algoritme P&O Konvensional

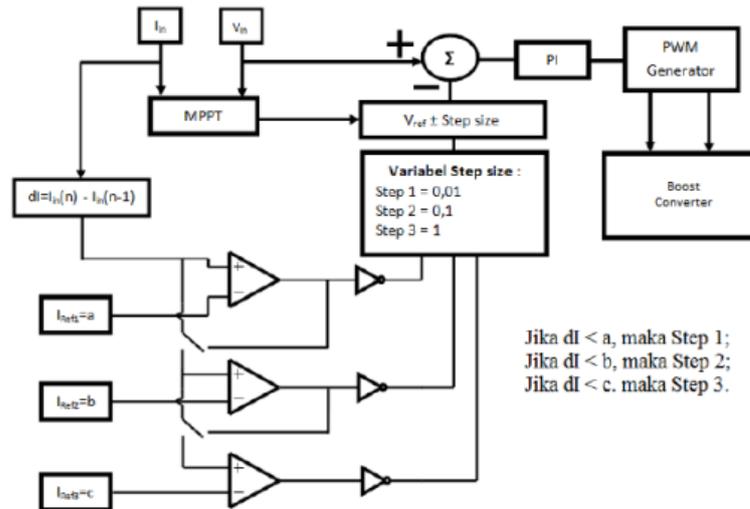
Setelah membuat pemodelan sistem turbin angin dengan menggunakan konverter *boost* pada algoritme P&O konvensional dengan *step size* tetap dapat dilihat pada Gambar 2. Mulanya, sistem akan membaca nilai tegangan (V_{out}) dan nilai arus keluaran (I_{out}) dari turbin angin, lalu menghitung perkalian antara arus dan tegangan untuk mengetahui nilai daya keluaran turbin. Hasil perkalian tadi digunakan sebagai dasar evaluasi untuk menentukan nilai *duty cycle* agar daya keluaran sistem turbin angin maksimal.



Gambar 2. Alur diagram P&O secara umum (Elsabet dkk, 2016)

2. Algoritme P&O Modifikasi

Model kontrol dari sistem dengan variable *step size* dapat dilihat pada Gambar 3.5. Mengacu pada penelitian (Kolewora, 2018), hal pertama yang dilakukan yaitu mengatur nilai arus referensi (I_{ref}) yaitu a, b dan c pada kondisi *step* 1, 2, dan 3. Kemudian menghitung perubahan arus (ΔI) yang terjadi pada perubahan kecepatan angin. Jika perubahan arus yang terjadi lebih kecil dari arus referensi a ($\Delta I < a$), maka dilakukan *step* 1 yaitu mengatur nilai *step size* sebesar 0,01, kemudian jika ($\Delta I < b$), maka dilakukan *step* 2 yaitu mengatur nilai *step size* sebesar 0,1 dan kemudian jika ($\Delta I < c$), maka dilakukan *step* 3 yaitu mengatur nilai *step size* sebesar 1. Adapun algoritme P&O berdasarkan modifikasi variabel *step size*, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. MPPT P&O modifikasi

Model rangkaian ini bersifat otomatisasi dimana dengan menggunakan perubahan arus (dl) yang diperoleh dari sistem turbin angin terhadap perubahan kecepatan angin. Perubahan ini dapat ditunjukkan pada persamaan (1).

$$dl = I_{in}(n) - I_{in}(n - 1) \tag{1}$$

Kemudian nilai dl dibandingkan dengan nilai arus referensi (I_{ref}) yang ditentukan dari persamaan (2).

$$set I_{ref} \begin{cases} a = 1 \\ b = 2 \\ c = 3 \end{cases} \tag{2}$$

Kemudian mengatur nilai $step\ size$ (SS) yang akan digunakan seperti pada persamaan (3) berikut.

$$set SS = \begin{cases} SS1 = 0,01 \\ SS2 = 0,1 \\ SS3 = 0,3 \end{cases} \tag{3}$$

Selanjutnya pengambilan keputusan untuk memilih nilai $step\ size$ yang sesuai dengan perubahan arus (dl) yang diperoleh dari turbin angin dan dibandingkan dengan nilai arus referensi (I_{ref}) yang sudah diatur pada persamaan (2). Adapun pengambilan keputusan dapat dinyatakan dalam persamaan (3), (4), dan (5) berikut.

$$\text{Jika } dl < a, \text{ maka step 1 ON} \tag{3}$$

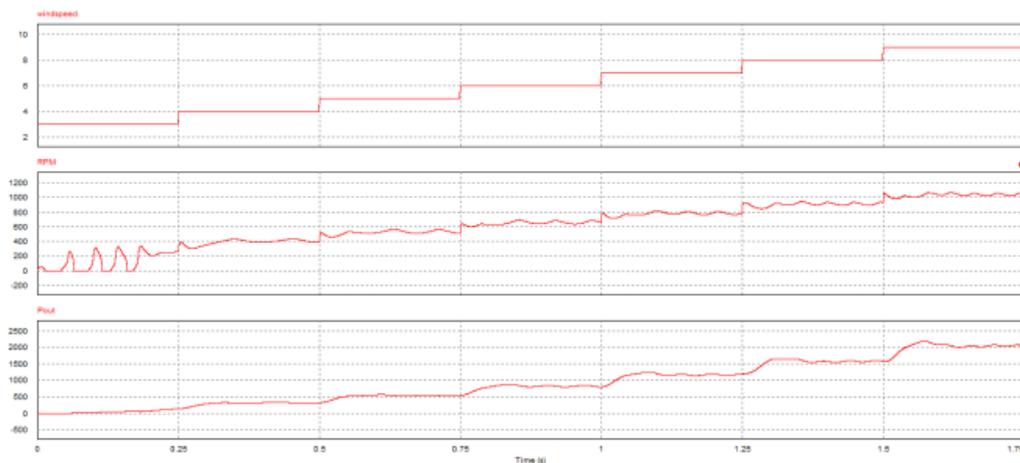
$$\text{Jika } dl < b, \text{ maka step 2 ON} \tag{4}$$

$$\text{Jika } dl < c, \text{ maka step 3 ON} \tag{5}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah membuat pemodelan seperti terlihat pada Gambar 1, langkah berikutnya adalah melakukan verifikasi terhadap sistem turbin angin dengan mengamati karakteristik daya keluaran dan kecepatan rotor terhadap perubahan kecepatan angin. Dimana semakin besar kecepatan angin maka nilai tegangan akan semakin besar sehingga daya keluaran turbin pun semakin besar pula. Dan pada setiap kecepatan angin tersebut, terdapat titik tertentu dimana daya keluaran akan mencapai nilai maksimal.

Dari hasil verifikasi, diperoleh informasi bahwa pada setiap kecepatan angin terdapat suatu titik dimana daya keluaran akan maksimal. Hal ini sesuai dengan karakteristik dasar turbin sebagaimana disampaikan pada (Jiang dkk, 2009), (Chen dkk, 2009), (Urtasun dkk, 2014). Selanjutnya, titik tersebutlah yang akan dilacak oleh algoritme MPPT P&O sehingga daya yang dihasilkan oleh sistem turbin angin dapat maksimal.



Gambar 4. Hasil kurva putaran rotor dan tegangan terhadap perubahan kecepatan angin

1. Analisis Sistem Turbin Angin

a. Hasil Pemodelan Turbin Angin tanpa Menggunakan MPPT

Berdasarkan gambar 1. dilakukan simulasi untuk mengetahui besaran nilai tegangan, arus dan daya keluaran sistem turbin angin yang tidak menggunakan MPPT. Simulasi ini dilakukan dengan nilai kecepatan angin yang berubah-ubah sedangkan beban bernilai tetap. Tabel 2 adalah hasil simulasi yang dihasilkan.

Tabel 2 Hasil simulasi sistem tanpa menggunakan MPPT

Kecepatan Angin (m/s)	Pturbin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
3	33,46	5,06	15,12
4	117,94	7,95	6,74
5	242,91	83,48	34,37

6	654,40	166,61	25,46
7	1101,47	697,30	63,31
8	1652,30	1077,08	65,19
9	2314,32	1512,11	65,34
10	3095,24	2069,52	66,86
11	3998,34	2675,71	66,92
12	5019,43	3363,87	67,02
13	6173,95	4135,28	66,98
14	7856,49	4708,78	59,93
15	10451,46	4721,98	45,18

b. Hasil Simulasi Efisiensi Sistem Turbin Angin dengan MPPT P&O Konvensional dan Modifikasi

Pada pengujian efisiensi daya keluaran sistem turbin angin terhadap setiap perubahan kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui keberhasilan sistem secara menyeluruh dalam memperbaiki efisiensi disetiap perubahan kecepatan angin. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur daya output disetiap perubahan kecepatan angin yaitu dari 3-15 m/s tetapi waktu pengujian dan perubahan kecepatan angin yang digunakan sama dengan pengujian sebelumnya agar berkesinambungan dengan hasil pengujian efisiensi daya output. Pengujian dilakukan dengan membandingkan daya output (Pout) pada sistem modifikasi dengan sistem konvensional pada setiap perubahan kecepatan angin. Diperoleh kurva daya output seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 (a) dan (b).

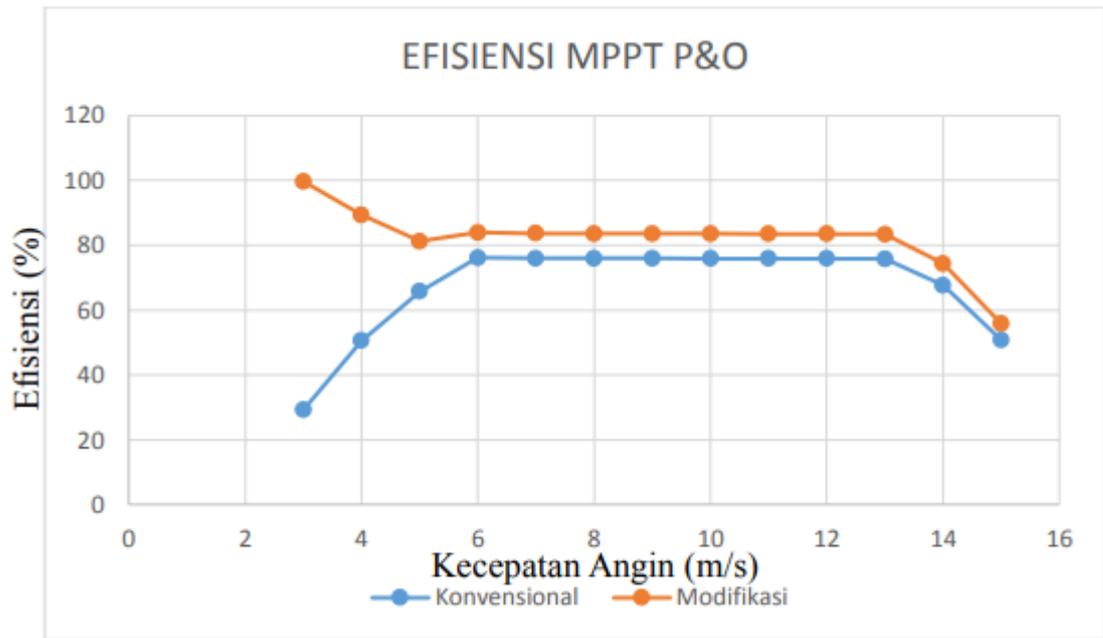
Tabel 3 (a) P&O Modifikasi

Kecepatan Angin (m/s)	Pturbun (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
3	33,46	33,35	99,67
4	117,94	105,38	89,35
5	242,91	197,26	81,21
6	654,40	549,63	83,99
7	1101,47	921,62	83,67
8	1652,30	1381,34	83,62
9	2314,32	1934,59	83,59
10	3095,24	2585,76	83,54
11	3998,34	3337,48	83,47
12	5019,43	4190,91	83,50
13	6173,95	5147,64	83,38
14	7856,49	5843,86	74,38
15	10451,46	5847,79	55,95

Tabel 3 (b) P&O Konvensional

Kecepatan Angin (m/s)	Pturbun (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
3	33,46	9,77	29,20
4	117,94	59,60	50,53
5	242,91	159,84	65,80
6	654,40	498,41	76,16
7	1101,47	836,82	75,97

8	1652,30	1255,11	75,96
9	2314,32	1757,94	75,96
10	3095,24	2349,85	75,92
11	3998,34	3033,22	75,86
12	5019,43	3810,09	75,91
13	6173,95	4679,68	75,80
14	7856,49	5314,90	67,64
15	10451,46	5318,37	50,89



Gambar 5. Kurva perbandingan efisiensi MPPT P&O konvensional dan modifikasi

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari hasil pengujian dan pengamatan pada sistem turbin angin dengan modifikasi algoritme P&O dengan menggunakan konverter boost, maka diperoleh kesimpulan bahwa efisiensi daya output pada rangkaian P&O modifikasi lebih baik hasilnya jika dibandingkan dengan daya output rangkaian P&O konvensional. Persentase efisiensi yang dihasilkan sebesar 82,25% untuk algoritme modifikasi sedangkan 67,05% untuk algoritme konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah berperan dalam penelitian, baik dalam bentuk dukungan, konsultasi, hingga pada tahap dipublikasikannya tulisannya ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Urtasun, P. Sanchis and L. Marroyo. (2014). Small Wind Turbine Sensorless MPPT: Robustness Analysis and Lossless Approach. *IEEE Transactions on Industry Applications* vol. 50, no. 6, pp. 4113-4121.
- DESDM. (2006). "Blueprint Pengelolaan Energi 2006 -2025," Jakarta.
- D. Zammit, C. S. Staines, A. Micallae, M. Apap, J. Licari. (2017). Incremental Current Based MPPT for a PMSG Micro Wind Turbine in a GridConnected DC Microgrid. *9th International Conference on Applied Energy, ICAE2017*, 2017.
- Elbaset, A.A., Ali, H., Abd-El Sattar, M. and Khaled, M. (2016). Implementation of a modified perturb and observe maximum power point tracking algorithm for photovoltaic system using an embedded microcontroller, *IET Renewable Power Generation* 10(4), pp.551-560.
- G. Mamatha. (2015). Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation for PV Applications. *IJCSIT*, vol. 6, no. 2, pp. 1884–1887.
- J. M. G. a. F. B. Zhe Chen. (2009). A Review of the State of the Art of Power Electronics for Wind Turbines, p. 17.
- R. F. Coelho, F. M. Concer, and D. C. Martins. (2010). A MPPT approach based on temperature measurements applied in PV systems. *IEEE Int. Conf. Sustain. Energy Technol. ICSET 2010*.
- T. Yukio, S. Kenichi, S. Atsushi, I. Yoshiharu, F. Kunio, I. Ryukichi, H. Kazuki. (2001). Simultaneous measurements of wind speed profiles at two sites using Doppler sodars. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 89 325–335.
- Y. Jiang, M. F. Rong and L. Y. Hua. (2009). Variable speed constant frequency tidal current energy generation and control strategy for maximum power point tracking and grid connection.
- Y. M. Kolewora. (2018). Modifikasi Variabel Step Size MPPT dari Algoritma P&O pada Interleaved Flyback 250W. *Universitas Gadjah Mada*.