

## KONTROL SISTEM TURBIN ANGIN DENGAN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR TERHUBUNG KE GRID

Ratna Ika Putri<sup>1)</sup>, Ika Noer Syamsiana<sup>2)</sup>, dan Muhammad Rifai<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta 9, Malang, 65141  
E-mail: ratna.ika@polinema.ac.id

### Abstract

*The wind turbine system is needed to convert wind energy into electrical energy. Wind energy is a renewable energy that has considerable potential in Indonesia with unlimited availability. However, the electric energy produced is highly dependent on fluctuating wind speeds, so it requires control of the wind turbine system. This paper will present a wind turbine control connected to the grid, which consists of MPPT control and inverter control. MPPT control uses the perturb & observe (P&O) method based on measurements of converter current and voltage. The MPPT will track the maximum power point through the duty cycle setting sent to the boost converter. Meanwhile, inverter control uses PI control to maintain the DC link voltage through a pulse width modulation (PWM) signal setting sent to the inverter. Based on the simulation results, MPPT can find the maximum power point by producing the optimal duty cycle at a value of 0.7 and detecting wind speed changes. In addition, the DC link voltage can be maintained constant at 400 V by the inverter control even though there is a change in wind speed with a steady-state error of 4.75%.*

**Keywords:** wind turbine, grid, PMSG, control

### Abstrak

Sistem turbin angin dibutuhkan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi cukup besar di Indonesia dengan ketersediaan yang tidak terbatas. Namun energi listrik yang dihasilkan sangat tergantung pada kecepatan angin yang fluktuatif, sehingga diperlukan kontrol pada sistem turbin angin. Pada paper ini akan menyajikan kontrol turbin angin yang terhubung ke grid, dimana terdiri dari kontrol MPPT dan kontrol inverter. Kontrol MPPT menggunakan metode perturb & observe (P&O) berdasarkan pengukuran arus dan tegangan konverter. MPPT akan mencari titik daya maksimum melalui pengaturan *duty cycle* yang dikirim ke konverter boost. Sedangkan kontrol inverter menggunakan kontrol PI untuk mempertahankan tegangan DC link melalui pengaturan sinyal *pulse width modulation* (PWM) yang dikirim ke inverter. Berdasarkan hasil simulasi, MPPT dapat mencari titik daya maksimum dengan menghasilkan *duty cycle* optimal pada nilai 0,7 dan mendeteksi adanya perubahan angin. Selain itu, tegangan dc link dapat dipertahankan konstan sebesar 400 V oleh kontrol inverter walaupun terjadi perubahan kecepatan angin dengan *error steady state* sebesar 4,75%.

**Kata Kunci:** Turbin Angin, Grid, PMSG, Kontrol

## PENDAHULUAN

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan dengan ketersediaan yang tidak terbatas sehingga pemanfaatannya sebagai pengganti energi fosil semakin berkembang dengan pesat. Indonesia memiliki potensi energi angin yang cukup

besardan belum termanfaatkan secara maksimal. Namun, kecepatan angin di berbagai wilayah Indonesia tidak merata. Kecepatan angin di daerah Indonesia Timur yaitu kepulauan maluku dan papua lebih tinggi dibandingkan wilayah Indonesia lainnya, tentunya hal ini memberikan kesempatan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) lebih besar untuk meningkatkan elektrifikasi daerah tersebut, dimana daerah tersebut memiliki nilai elektrifikasi lebih rendah pula dibanding wilayah lain. Indonesia memiliki potensi angin yang cukup besar di daerah pesisir pantai selatan pulau sumatera, jawa dan wilayah timur Indonesia, dengan kecepatan angin rata-rata di atas 5m/s hingga 8m/s (ESDM, 2017)

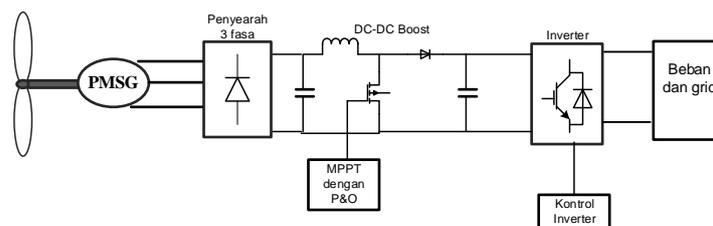
Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi listrik membutuhkan sistem turbin angin. *Variable speed wind turbine* (VSWT) merupakan jenis sistem turbin angin yang banyak digunakan. Dibandingkan dengan *fixed speed wind turbine* (FSWT), VSWT memiliki efisiensi dan performansi yang lebih baik karena dapat menghasilkan energi listrik yang besar. Energi listrik yang dihasilkan dari sistem turbin angin sangat tergantung pada kecepatan angin yang selalu berfluktuasi (Patel, 2015) sehingga diperlukan kontroler untuk dapat menghasilkan energi listrik yang sesuai dengan beban dan memiliki efisiensi yang baik. Untuk dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi, turbin angin membutuhkan kontrol *maximum power point tracking* (MPPT).

Metode MPPT untuk turbin angin terbagi menjadi dua yaitu metode yang membutuhkan pengukuran kecepatan angin dan karakteristik turbin dan metode yang menggunakan parameter elektrik dari sistem. Metode dengan pengukuran turbin angin dan karakteristik turbin terdiri dari metode *tip speed ratio* (TSR), metode kontrol torsi optimal (OTC) dan *power feedback control*. Metode ini sederhana namun membutuhkan pengukuran yang presisi sehingga meningkatkan biaya sistem (Behera, 2015)(Nasiri, 2014). Metode yang menggunakan parameter elektrik yaitu metode *perturb & Observe* , logika fuzzy, dan *swarm intelligent* (Daili, 2015)(Mahdi, 2011)(Behera, 2015). Metode dengan menggunakan kecerdasan buatan, seperti fuzzy, neural network memiliki performansi yang baik namun membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama dan meningkatkan kompleksitas desain kontroler. Metode P&O tidak membutuhkan pengukuran kecepatan angin dan karakteristik turbin, sederhana dan mudah diimplementasikan (Nasiri, 2014).

Pada artikel ini akan dibahas mengenai kontrol sistem turbin angin dengan menggunakan PMSG yang terhubung dengan grid. Kontrol pada sistem turbin angin terdiri dari MPPT dengan metode P&O dan kontrol inverter. MPPT dengan metode P&O akan menghasilkan *duty cycle* sinyal PWM yang dikirim ke konverter boost sehingga sistem turbin angin dapat bekerja pada titik daya maksimum. Penentuan *duty cycle* pada MPPT berdasarkan tegangan dan arus konverter. Sedangkan kontrol inverter akan mempertahankan tegangan DC link melalui pengaturan *duty cycle* sinyal PWM yang dikirim ke inverter sehingga tegangan dan arus yang pada grid dan beban akan konstan walaupun terjadi perubahan kecepatan angin.

## METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem turbin angin terhubung ke grid, yang terdiri dari turbin angin dan PMSG, penyearah 3 fasa, konverter Boost, inverter, kontrol MPPT dengan metode perturb, kontrol inverter dan beban yang terhubung ke grid. Turbin angin dan PMSG akan menangkap energi angin dan mengkonversi menjadi energi listrik tiga fasa. Penyearah 3 fasa akan mengkonversi tegangan 3 fasa menjadi tegangan searah (DC). Rangkaian konverter boost akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi berdasarkan pengaturan *duty cycle*. Rangkaian inverter akan mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC yang sesuai dengan kebutuhan grid dan beban AC.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Turbin Angin Terhubung Ke grid

### Kontrol MPPT dengan Metode Perturb & Observe (P&O)

Untuk dapat menghasilkan daya maksimum maka sistem turbin angin harus beroperasi pada titik daya maksimum sehingga dibutuhkan MPPT untuk mencari titik daya maksimum pada suatu kecepatan angin tertentu. Titik daya maksimum pada sistem turbin angin dapat dicapai melalui pengaturan *duty cycle* pada konverter boost. Metode P&O disebut juga dengan metode hill climbing search (HCS) merupakan salah satu algoritma yang banyak digunakan secara luas untuk mengekstrak daya maksimum

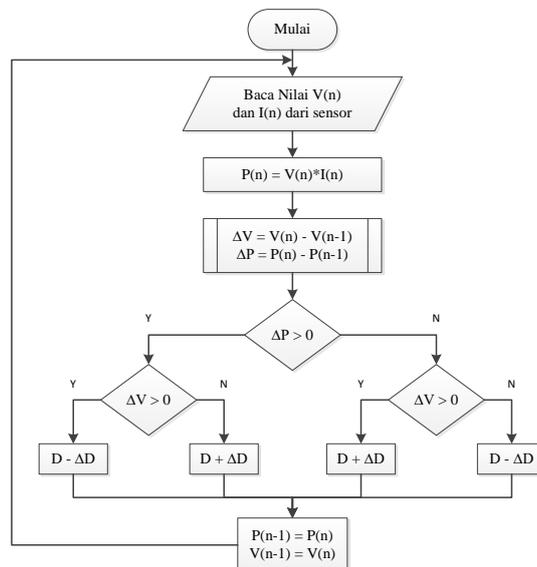
pada turbin angin terhadap variasi kecepatan angin. Kelebihan metode ini adalah struktur yang sederhana, mudah diimplementasikan, parameter yang dibutuhkan sedikit dan memiliki performansi yang baik terhadap variasi parameter fisik (Kumar, 2016).

Metode P&O bekerja berdasarkan pada perubahan variabel kontrol dalam ukuran yang kecil dan mengamati perubahan fungsi target hingga slope mencapai nol. Titik daya maksimum (MPP) akan dicapai bila  $\frac{dP_{dc}}{dV_{dc}} = 0$ , dimana

$$dP_{dc} = P_{dc}(n) - P_{dc}(n-1) \tag{1}$$

$$dV_{dc} = V_{dc}(n) - V_{dc}(n-1) \tag{2}$$

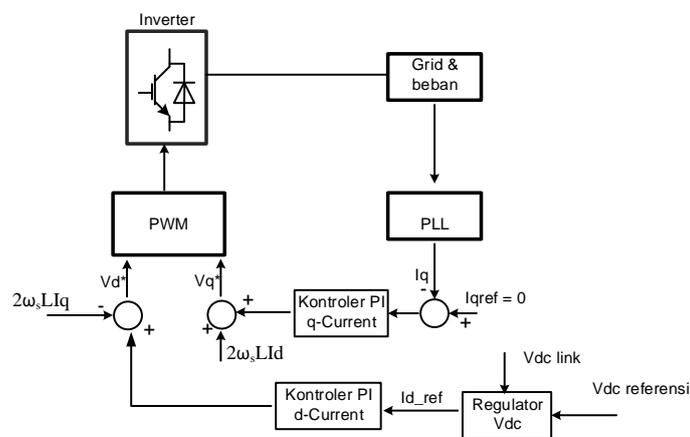
Diagram alir metode P&O seperti ditunjukkan pada Gambar 2, dimana metode P&O mengamati setiap perubahan  $P_{dc}$ ,  $V_{dc}$ , dan slope  $\frac{dP_{dc}}{dV_{dc}}$  untuk menghasilkan *duty cycle* dengan perubahan *duty cycle* atau *step size* ( $\Delta D$ ) berupa nilai konstanta yang tetap. Jika nilai  $\frac{dP_{dc}}{dV_{dc}} > 0$  maka titik operasi berada disebelah kiri MPP sehingga kecepatan PMSG harus dinaikkan dengan menurunkan *duty cycle* ( $D$ ) sebesar  $\Delta D$ . Demikian pula sebaliknya, jika nilai  $\frac{dP_{dc}}{dV_{dc}} < 0$  maka titik operasi berada disebelah kanan MPP sehingga kecepatan PMSG harus diturunkan dengan menaikkan nilai  $D$ . Nilai *step size* ( $\Delta D$ ) yang digunakan sebesar 0.01.



Gambar 2. Diagram Alir Metode P&O

### Kontrol Inverter

Kontrol inverter berfungsi untuk mempertahankan tegangan DC link konstan sebesar 400V sehingga inverter dapat menghasilkan tegangan dan arus AC sesuai kebutuhan grid dan beban, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pengaturan tegangan DC link melalui pengaturan *duty cycle* sinyal PWM yang dikirim ke inverter. Kontrol inverter akan mengirim sinyal PWM ke inverter yang terhubung ke grid dan beban. Kontrol inverter terdiri dari *phase locked loop* (PLL), regulator tegangan DC link, kontroler arus sumbu d dan sumbu q. Semua kontroler pada kontrol inverter ini menggunakan kontrol propotional integrator (PI)



Gambar 3. Kontrol Inverter

Regulator tegangan DC akan menghasilkan Idref berdasarkan selisih antara tegangan DC link referensi (Vdc link ref) dan Vdc link. Besarnya parameter kontroler PI untuk regulator Vdc yaitu  $K_p = 4$  dan  $K_i = 0.01$ . Keluaran dari regulator tegangan akan menjadi Id referensi untuk kontrol arus sumbu d. Sedangkan arus referensi sumbu q ( $i_{qref}$ ) ditentukan sebesar nol untuk mendapatkan *unity power factor* (Ratna, 2016). Keluaran sistem kontrol untuk pengontrolan arus sumbu d ( $U_{pid}$ ) dan sumbu q ( $U_{piq}$ ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, dapat dipresentasikan dengan persamaan

$$v_d = U_{pid} - 2\omega_s L i_q + v_{dg} \tag{3}$$

$$v_q = U_{piq} + 2\omega_s L i_d + v_{qg} \tag{4}$$

Berdasarkan persamaan di atas dapat ditentukan persamaan fungsi alih perubahan keluaran kontrol PI dan arus sumbu d dan q dalam fungsi laplace dinyatakan dengan,

$$H(s) = \frac{I_d(s)}{U_{pid}(s)} = \frac{I_q(s)}{U_{piq}(s)} = \frac{1/R}{(\frac{L}{R})s + 1} \tag{5}$$

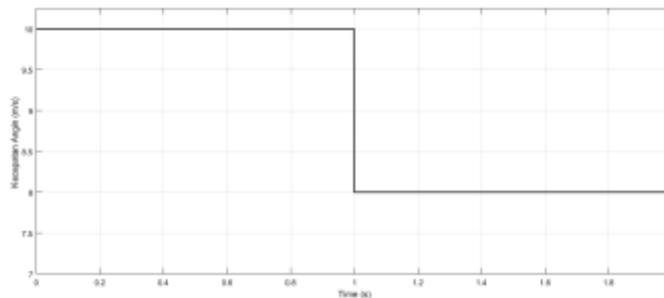
Dengan menggunakan kontrol PI, fungsi alih sistem dapat dinyatakan dengan

$$H(s) = \frac{I(s)}{I^*(s)} = \frac{\left(\frac{1}{R}\right)K_p\left(s + \frac{1}{T_i}\right)}{s\left(\left(\frac{L}{R}\right)s + 1\right) + \left(\frac{1}{R}\right)K_p\left(s + \frac{1}{T_i}\right)} \quad (6)$$

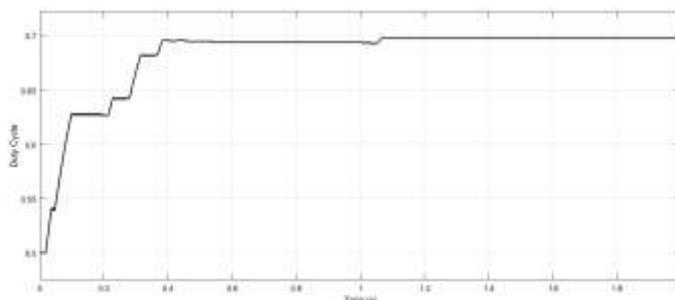
Dimana  $K_p$  merupakan penguatan proposional,  $T_i$  merupakan penguatan integrator, dan  $I^*$  merupakan arus referensi dalam transformasi laplace. Dengan menggunakan nilai resistansi filter ( $R$ ) sebesar  $0.2\Omega$  dan induktansi sebesar  $8mH$  maka dengan menggunakan persamaan dapat ditentukan nilai  $K_p = 0.15$  dan  $K_i = 6.6$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

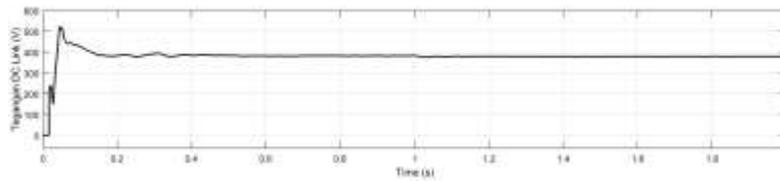
Kontrol sistem turbin angin yang telah didesain diuji performansinya dengan memberikan perubahan kecepatan angin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kecepatan angin mengalami perubahan dari  $10m/s$  menjadi  $8m/s$ . Walaupun kecepatan angin mengalami perubahan, namun metode P&O dapat mengenali perubahan tersebut dan mencari *duty cycle* yang optimal untuk setiap kecepatan angin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada kecepatan angin  $10m/s$ , *duty cycle* optimal yang dicapai sebesar  $0.69$  dengan waktu pencarian selama  $0.5s$ . Pada saat terjadi perubahan kecepatan angin menjadi  $8m/s$ , MPPT akan mencari *duty cycle* yang optimal dan dicapai pada nilai  $0.7$  dengan lama pencarian sebesar  $0.1 s$ .



Gambar 4. Perubahan Kecepatan Angin

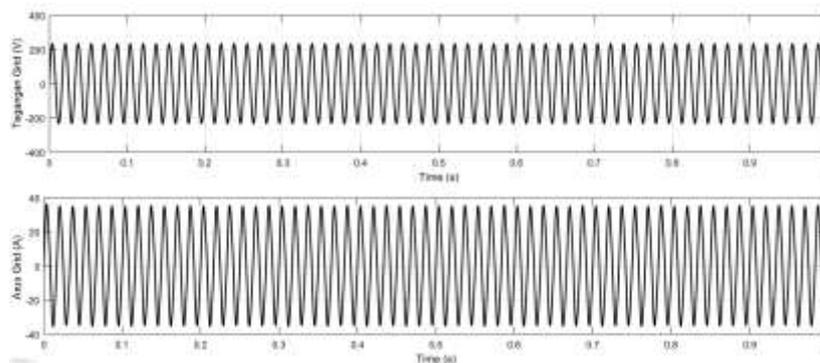


Gambar 5. *Duty cycle* Yang Dihasilkan MPPT dengan Perubahan Kecepatan Angin



Gambar 6. Tegangan DC link Pada Kondisi Kecepatan Angin Berubah

Kontrol inverter juga dapat bekerja dengan baik walaupun terjadi perubahan kecepatan angin. Tegangan DC link dapat dipertahankan konstan sebesar 400V walaupun terjadi perubahan kecepatan angin, Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 8, respon tegangan DC link memiliki maximum overshoot sebesar 28,7% dan error steady state sebesar 4,75% atau sebesar 19V. Sedangkan tegangan dan arus grid dapat dicapai sesuai dengan kebutuhan beban. Tegangan dan arus keluaran grid dapat dipertahankan konstan walaupun terjadi perubahan kecepatan angin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tegangan dan Arus Grid Pada Kondisi Kecepatan Angin Berubah

## KESIMPULAN

Kontrol sistem konversi energi angin terhubung ke grid telah dijabarkan pada artikel ini. Energi listrik yang dihasilkan oleh energi angin sangat tergantung pada kecepatan angin sehingga menghasilkan energi listrik yang berfluktuasi. Oleh karena itu untuk mendapatkan daya dan energi listrik yang sesuai dengan kebutuhan beban dan grid dibutuhkan suatu kontroler. Pada artikel ini sistem konversi energi angin menggunakan PMSG dan terhubung dengan grid dan beban. Pada sistem ini terdapat MPPT dengan menggunakan metode P&O untuk mencari titik daya maksimum dari sistem turbin angin dan kontrol inverter menggunakan kontroler PI untuk mempertahankan tegangan DC link sehingga tegangan AC yang dihasilkan inverter

menghasilkan tegangan dan arus yang sesuai dengan grid dan beban. Berdasarkan hasil pengujian, MPPT dapat mencari titik daya maksimum dengan menghasilkan duty cycle untuk konverter boost yang sesuai. Demikian pula kontroler PI dapat mempertahankan tegangan DV link konstan sebesar 400 V walaupun terjadi perubahan angin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kementrian ESDM, "Indonesia\_Energy\_Outlook\_2013.pdf." [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id> [Accessed: 30-Apr-2017].
- Wu Bin, Lang Y., Zargari N., Kouro S. (2011). Power Conversion And Control of Wind Energy System. IEEE Press. John Wiley & Sons Publication.
- D. Kumar and K. Chatterjee. (2016). A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems. *Renewable Sustainable Energy Review.*, vol. 55, pp. 957–970.
- V. Patel, A. Kumar, K. Chatterje, and V. Patel. (2015). A review: Maximum power extraction method in wind turbine system using different algorithm. in 2015 *International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO)*. pp. 1–6.
- S. Behera, S. Sahoo, and B. B. Pati. (2015). A review on optimization algorithms and application to wind energy integration to grid. *Renewable Sustainable Energy Review* vol. 48, pp. 214–227.
- Y. Daili, J.-P. Gaubert, and L. Rahmani. (2015). Implementation of a new maximum power point tracking control strategy for small wind energy conversion systems without mechanical sensors. *Energy Conversion Management*. vol. 97, pp. 298–306.
- M. Nasiri, J. Milimonfared, and S. H. Fathi. (2014). Modeling, analysis and comparison of TSR and OTC methods for MPPT and power smoothing in permanent magnet synchronous generator-based wind turbines. *Energy Conversion Management*. vol. 86, pp. 892–900.
- A. J. Mahdi, W. H. Tang, and Q. H. Wu. (2011). Estimation of tip speed ratio using an adaptive perturbation and observation method for wind turbine generator systems. in *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)* pp. 1–6..

Ratna Ika Putri, Margo Pujiantara, Ardyono Priyadi, Mauridhi Hery Purnomo. (2016). Optimum Control Strategy of Grid Connected PMSG Wind Turbine Based on Energy Storage System. *2016 Internatinal Seminar On Intelligent Technology And Its Application (ISITIA)*, pp: 623 - 628, Lombok, Indonesia.