

PERANCANGAN BOOST KONVERTER UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL

Khairunnisa¹, Edi Yohanes², Jazuli Fadil³
Politeknik Negeri Banjarmasin^{1,3}
khairunnisa@poliban.ac.id¹
Institut Teknologi Sepuluh Nopember²

ABSTRACT

This paper presents a simple control strategy for vertical axis wind turbines using permanent magnet synchronous generator (PMSG). The performance of a wind turbine is improvised using a DC-DC Boost converter using PID control. The objective of this DC-DC boost converter is to maintain the output voltage so that it has a constant value at the input when the changing wind speed or load changes. Dynamic wind speed affects the output voltage of the turbine generator as well as input voltage boost converter. PID control will make the performance of wind turbines able to work at wider wind speeds. Where the boost converter output will be feedback to produce the right PWM duty cycle and trigger the mosfet to maintain the voltage when the wind keeps changing. This system has suppressed the value of overshoot transient voltage converters and increased the efficiency of wind turbines.

Keywords: PMSG; Boost Converter; vertical axis wind turbine; variable speed wind turbine; PID

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan strategi kontrol sederhana turbin angin sumbu vertikal menggunakan permanent magnet synchronous generator (PMSG). Performa turbin angin di improvisasi menggunakan DC-DC Boost converter menggunakan kontrol PID. Objektif dari DC-DC boost converter ini adalah untuk mempertahankan tegangan keluaran agar memiliki nilai yang konstan pada masukan ketika kecepatan angin yang berubah-ubah atau beban yang berubah ubah. Kecepatan angin yang dinamis mempengaruhi keluaran tegangan dari generator turbin juga masukan tegangan boost converter. Kendali PID akan membuat kinerja turbin angin mampu bekerja pada kecepatan angin yang lebih lebar. Dimana keluaran boost converter akan menjadi umpan balik untuk menghasilkan duty cycle PWM yang tepat dan memicu mosfet dalam mempertahankan tegangan ketika angin terus berubah. Sistem ini telah menekan nilai overshoot transient tegangan konverter dan meningkatkan efisiensi turbin angin.

Kata Kunci: PMSG ; Konverter Boost ; turbin angin sumbu vertikal ; turbin angin sumbu variabel kecepatan ; PID

PENDAHULUAN

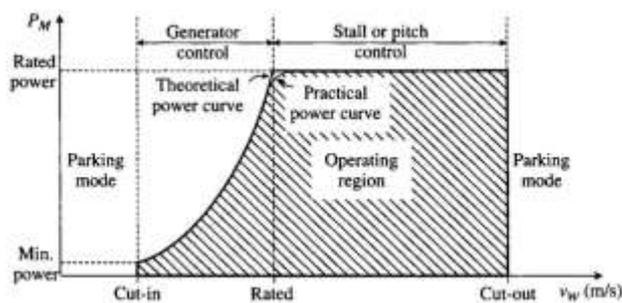
Konversi energi angin merupakan transformasi dari energi kinetik angin menjadi energi mekanik menggunakan rotor bilah turbin. Shaft rotor turbin terhubung dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. Sumber utama dari turbin angin ini adalah kecepatan angin yang menjadi kunci utama untuk menghasilkan

keluaran daya maksimum. Ada banyak kelebihan dari turbin angin dibandingkan dengan pembangkit konvensional seperti generator diesel dan pembangkit berbahan bakar fosil lainnya.

Kecepatan angin merupakan parameter penting dalam sistem konversi energi angin khususnya dalam merubah keluaran daya mekanik menjadi energi listrik. Metode kontrol untuk menghasilkan daya yang optimal dirancang agar turbin mampu beroperasi pada kecepatan angin yang lebih lebar dan aman saat beroperasi dalam semua kecepatan angin dan mampu melindungi turbin dari kecepatan angin yang sangat kencang.

Ada dua tipe turbin angin berdasarkan orientasi putaran turbin yaitu *horizontal axis wind turbine* (HAWT) dan *vertical axis wind turbine* (VAWT). Saat ini teknologi kedua turbin ini terus dikembangkan untuk mencapai efisiensi yang lebih baik dari desain bilah dan kontrol elektronik dalam menghadapi kecepatan angin yang dinamis. Berdasarkan teori Betz limit untuk HAWT memiliki efisiensi yang lebih baik dari VAWT, namun VAWT juga memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah mampu beroperasi pada semua arah angin, kemudian generator dapat ditempatkan lebih dekat ke tanah. VAWT ini sangat tepat untuk diterapkan untuk aplikasi *stand alone*.

Untuk keluaran daya yang konstan turbin angin membutuhkan kontroler yang mampu meningkatkan efisiensinya. Permanen magnet generator (PMSG) dan converter daya banyak digunakan pada sistem konversi energi angin dalam transformasi daya mekanik menjadi daya listrik. Ada beberapa topologi converter yang digunakan pada turbin angin, diantaranya adalah DC-DC boost converter, Buck konverter, buck boost converter dan banyak varian lainnya dari konverter yang telah dikembangkan para peneliti.



Gambar 1. Kurva daya mekanik vs kecepatan angin (Bin wu 2011)

METODE PENELITIAN

Desain Sistem

Turbin angin sumbu vertikal atau VAWT berputar berdasarkan sumbu putar yang tegak lurus dengan tanah. Generator terhubung dengan hub atau as bilah rotor untuk merubah daya mekanik menjadi daya listrik. Daya yang dihasilkan tergantung dari kecepatan angin yang memutar turbin untuk menghasilkan energi kinetik dengan persamaan sebagai berikut :

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Berikut ini daya P menunjukkan besarnya massa jenis energi angin yang dihasilkan dari pergerakan angin yang akan melewati *swept area* atau luas sapuan bilah A yaitu

$$P = \frac{Energy}{Time} = \frac{1}{2} \left(\frac{Energy}{Time} \right) v^2 \quad (2)$$

Kecepatan Massa jenis udara yang melintasi swept area A merupakan hasil produk dari massa jenis udara ρ dan kecepatan v berikut ini

$$m = \rho \cdot A \cdot v \quad (3)$$

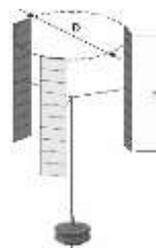
Kemudian kekuatan kecepatan angin yang melalui swept area bisa di representasikan sebagai berikut :

$$P_{available} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

Dimana $P_{available}$ adalah daya yang tersedia di angin dalam *watt* dengan masa jenis udara ρ in kg/m^3 , v^3 adalah kecepatan angin dalam m/s . A adalah swept area yang dibentuk dari sapuan bilah yang melintasi udara. Untuk VAWT dengan tipe *straight blade*, *swept area* adalah hasil perkalian dari diameter turbin dan tinggi bilah dalam meter persegi. Yaitu

$$A = h \cdot D \quad (5)$$

Dimana D adalah diameter turbin dan h adalah tinggi bilah turbin dalam m .



Gambar 2. VAWT swept area

Transformasi energi kinetik menjadi energi mekanik yang dikonversi menggunakan VAWT dapat di ekspresikan sebagai berikut

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p(\theta, \lambda) \quad (7)$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p(\theta, \lambda)}{\omega_m} \quad (8)$$

Dimana $C_p(\theta, \lambda)$ adalah permorma koefisien bilah dan fungsi dari sudut pitch θ juga tip speed ratio atau rasio kecepatan ujung bilah λ , Persamaan 7 digunakan untuk menghitung daya turbin [8]. Tip speed ratio adalah rasio antara kecepatan ujung bilah dan kecepatan angin [4]. T_m adalah torsi mekanik dari turbin dalam $N.m$ dan ω_m adalah kecepatan sudut mekanik turbin dalam rad/s [9]. Tip speed ratio bisa di ekspresikan sebagai berikut

$$\lambda = \frac{r\omega}{v_w} \quad (9)$$

dimana r adalah jari-jari turbin, v_w adalah kecepatan angin dan ω adalah kecepatan putar turbin [10]. Kecepatan sudut mekanik dapat di representasikan sebagai berikut

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_e - T_m - B \cdot \omega_m \quad (10)$$

Dimana J adalah kombinasi inersia dari turbin angin dan rotor $kg.m^2$, T_e adalah torsi elektromagnetik ($N.m$), dan B adalah friksi rotor ($N.m.s/rad$).

Berdasarkan beberapa persamaan diatas bisa disimpulkan bahwa ada empat parameter utama yang mempengaruhi keluaran daya mekanik turbin, yaitu kecepatan angin, swept area, massa jenis udara dan C_p . Untuk efisiensi swept area tergantung dari fabrikasi atau desainnya sedangkan massa jenis udara adalah nilai yang konstan. Keluaran daya mekanik juga dipengaruhi oleh kecepatan rotor turbin. Untuk keluaran daya mekanik turbin yang maksimum pada kecepatan angin yang maksimum hanya berada pada pada kecepatan rotor yang optimal yaitu nilai C_p maksimum dengan *tip speed ratio* optimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk arus induktor naik secara linier dari I_1 sampai I_2 dengan waktu t_1 adalah sebagai berikut

$$V_s = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad (11)$$

Kemudian jika arus pada induktor menurun secara linier dari I_2 ke I_1 dengan waktu t_2 Maka :

$$V_s - V_0 = -L \frac{\Delta I}{t_2} \quad (12)$$

$\Delta I = I_2 - I_1$ adalah ripple arus induktor sebesar

$$\Delta I = \frac{V_s t_1}{L} = \frac{(V_0 - V_s) t_2}{L} \quad (13)$$

$t_1 = DT$ dan $t_2 = (1 - D)T$ maka besar tegangan adalah,

$$V_o = V_s \frac{T}{t_2} = \frac{V_s}{1-D} \quad (14)$$

$$1 - D = \frac{V_s}{V_o} \quad (15)$$

Sehingga besarnya tegangan keluaran tersebut bergantung pada siklus kerja D . Jika konverter boost adalah rangkaian ideal, maka

$$V_s I_s = V_o I_o = \frac{V_o I_o}{1-D} \quad (16)$$

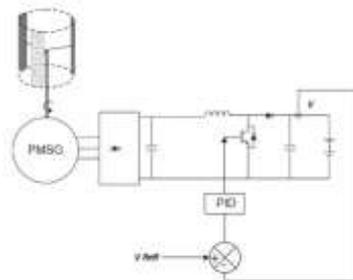
Dengan input arus sebesar

$$I_s = \frac{I_o}{1-D} \quad (17)$$

Sehingga $I_o < I_s$, dengan faktor $(1-D)$

Periode T switching yaitu

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_s} + \frac{\Delta I \cdot L}{V_o - V_s} = \frac{\Delta I \cdot L \cdot V_o}{V_s(V_o - V_s)} \quad (18)$$



Gambar 3. Diagram Boost konverter

Untuk nilai riak arus puncak ke puncak yaitu

$$\Delta I = \frac{V_s(V_o - V_s)}{f \cdot L \cdot V_o} = \frac{V_s \cdot D}{f \cdot L} \quad (19)$$

Saat saklar ON, arus pada kapasitor mengalir ke beban selama $t = t_1$. Besarnya arus kapasitor selama t_1 adalah $I_c = I_o$. Besarnya riak tegangan puncak ke puncak pada kapasitor yaitu

$$\begin{aligned} \Delta V_c &= v_c - v_c(t = 0) = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt \\ &= \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_o dt = \frac{I_o \cdot t_1}{C} \end{aligned} \quad (20)$$

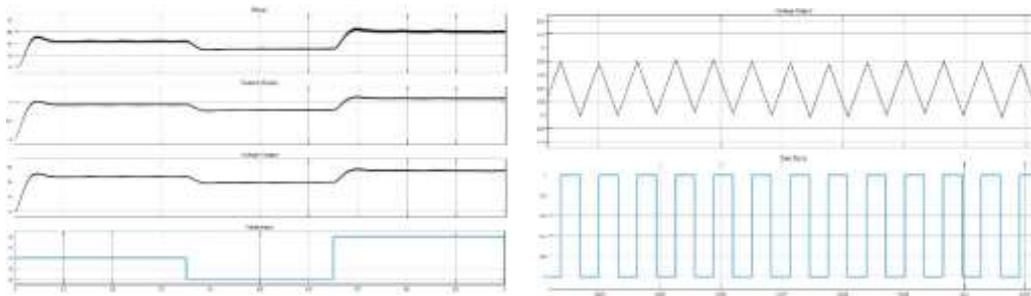
Dengan $t_1 = \frac{(V_o - V_s)}{V_o \cdot f}$

Sehingga ripple tegangan yang dihasilkan

$$\Delta V_c = \frac{I_o (V_o - V_s)}{V_o \cdot f \cdot C} = \frac{I_o \cdot t_1}{f \cdot C} \quad (21)$$

Tabel 1. Parameter Boost Converter

No	Parameter	Value
1	Input Voltage	12 Volt
2	Output Voltage	24 Volt
3	Rated Power	500 Watt
4	Duty Cycle	0.5
5	Kp	0,001
6	Ki	0,0055



Gambar 4. Konsep DC-DC converter pada turbin angin vertikal

Gambar 4 menunjukkan ripple tegangan adalah 0.8 volt dengan duty cycle 50%. Untuk frekuensi adalah 10 kHz. Sistem secara keseluruhan menunjukkan untuk boost converter dengan kontrol PI mampu memperbaiki nilai *overshoot*.

KESIMPULAN

Converter yang terbentuk berhasil meningkatkan efisiensi turbin dengan mempertahankan tegangan pada kondisi angin yang dinamis, namun perlu beberapa perbaikan untuk menekan *over shoot* pada transient tegangan keluaran boost converter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Banjarmasin dan Kementerian Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi atas dukungan pendanaan dan kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adel Merabet, John Kerr, "Power Electronics Circuit for Speed Control of Experimental Wind Turbine ", 24th International Conference on Microelectronics (ICM), 2012

- Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro. "Power Conversion and Control of Wind Energy Systems", IEEE Press on Power Engineering, 2011
- Mirza Fuad Adnan, Mohammad Abdul Moin Oninda "Design and Simulation of a DC-DC Boost Converter with PID Controller for enhanced Performance", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN:2278-0180 Vol 6, 2017
- Vladimir Lazarov, Daniel Roye "New Control Strategy for Variable Speed Wind Turbine with DC-DC converters", 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2010
- Adel Merabet, John Kerr, "Power Electronics Circuit for Speed Control of Experimental Wind Turbine ", 24th International Conference on Microelectronics (ICM), 2012
- Fu-qing CHEN, Jin-ming YANG, "Fuzzy PID Controller Used in Yaw System of Wind Turbine ", International Conference on Power Electronics Systems and Applications 2009
- Md Maruf Hossain, Mohd. Hasan Ali "Future Research Direction For Wind Turbine Generator System" Renewable and Sustainable Energy Review, Elsevier, pp 481-489, 2015
- Hiren Tala, Sandip patel "Simulations of Small Scale Straight Blade Darrieus Wind Turbine Using Latest CAE Techniques to get Optimum Power Output". International Journal of Advance Foundation and Research in Science & Engineering (IJAFRSE), Vol 1, Issue 5, 2014
- Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro. "Power Conversion and Control of Wind Energy Systems", IEEE Press on Power Engineering, 2011
- Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro. "Power Conversion and Control of Wind Energy Systems", IEEE Press on Power Engineering, 2011
- Subbaiah. V.Pasupulati, Jack Wallace, Mark Dawson, "Variable Length Blades Wind Turbine, IEEE, 2005
- Mustahib Imraan, Rajnish N.Sharma, Richard G.J Flay, "Wind Tunnel Testing of a Wind Turbine With Telescopic Blades; The influence of Blade Extension, Energy, Elsevier, pp 22-32, 2013
- Dipesh Kumar, Kalyan Chatterjee "A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems", Renewable and Sustainable Energy Review, Elsevier, pp 957-970, 2016
- Dr.K.G.Upadhaya, Dr.M.M.Tripathi, Amit Verma, "Design of Adjustable Blade Wind Turbine for Constant Generated Power", IEEE, Power India International Conference, 2014