

Analisis dan Simulasi Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik Menggunakan Metode *Feedback Linearization Control*

Isti Rizkiani, Kamiran, dan Subchan

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: subchan@matematika.its.ac.id

Abstrak—Energi angin merupakan salah satu energi alternatif selain dari minyak bumi dan batu bara. Generator merupakan komponen terpenting sistem konversi energi angin karena dapat mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Pada tulisan ini, model dari *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) yang merupakan model non linear ditransformasikan ke sistem linear dengan menggunakan metode *feedback linearization control*. Langkah pertama yang dilakukan adalah menganalisis model PMSG dengan menurunkan model matematis sistem fisis. Selanjutnya, setelah dilakukan linearisasi, diperoleh nilai k_1 , k_2 , dan k_3 yang memenuhi dengan menggunakan kriteria kestabilan Routh Hurwitz. Dengan nilai k_1 , k_2 , dan k_3 tersebut, dilakukan simulasi dan analisis kestabilan sistem dan error kecepatan generator. Selain itu, dengan memvariasikan parameter kecepatan angin dan kecepatan rotor, dilakukan simulasi dan analisis untuk menentukan daya yang dihasilkan dari sistem konversi energi angin.

Kata Kunci—*feedback linearization control*, kriteria kestabilan Routh Hurwitz, sistem konversi energi angin.

I. PENDAHULUAN

SAAAT ini energi menjadi masalah penting karena telah terjadi peningkatan konsumsi energi yang sangat signifikan. Namun peningkatan konsumsi energi tersebut menjadi permasalahan ketika persediaannya semakin langka dan terbatas.

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Karena bergerak, angin memiliki energi kinetik. Untuk dapat memanfaatkan energi angin, maka energi angin harus dikonversikan terlebih dahulu ke dalam bentuk energi lain yang sesuai dengan kebutuhan dengan menggunakan turbin angin. Oleh karena itu, turbin angin sering disebut sistem konversi energi angin (SKEA) [1]. Untuk menghasilkan energi listrik dari energi angin, maka energi angin diubah menjadi energi mekanik oleh kincir angin dalam bentuk putaran poros dan selanjutnya dengan menggunakan *permanent magnet synchronous generator* (PMSG), energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

Sistem konversi energi angin merupakan sistem non linear. Sehingga dalam tulisan ini, digunakan metode *feedback linearization control* untuk mengatasi ketidaklinearan tersebut melalui perubahan variabel dan input kendali yang sesuai sehingga dapat diketahui daya maksimal. Kemudian dilakukan

simulasi hasil dari analisis konversi energi angin menjadi energi listrik.

II. MODEL SKEA

Dalam tulisan ini, digunakan jenis generator PMSG sehingga putaran turbin memiliki putaran yang relatif lebih rendah dengan konversi bahwa $1 \frac{rad}{s} = \frac{60}{2\pi} rpm$.

Diberikan model non linear PMSG berdasarkan sistem konversi energi angin [2] seperti berikut:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ \Omega_h \end{bmatrix} \\ \bar{f}(x) &= \begin{bmatrix} \frac{1}{L_d + L_s} (-Rx_1 + p(L_q + L_s)x_2x_3) \\ \frac{1}{L_q + L_s} (-Rx_2 - p(L_d + L_s)x_1x_3 + p\Phi_m x_3) \\ \frac{1}{J} (d_1v^2 + d_2vx_3 + d_3x_3^2 - p\Phi_m x_2) \end{bmatrix} \\ \bar{g}(x) &= \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_d + L_s} x_1 \\ -\frac{1}{L_q + L_s} x_2 \\ 0 \end{bmatrix} \\ u &= R_s \\ y &= h(x) = x_3 = \Omega_h \end{aligned} \tag{1}$$

dengan:

i_d, i_q adalah arus listrik (d, q) (A), L_d, L_q adalah induktansi (d, q) (H), Ω_h adalah kecepatan rotasi generator (rad/s), L_s adalah induktansi stator (H), R adalah hambatan (Ω), R_s adalah hambatan stator (Ω), p adalah banyak pasangan kutub, Φ_m adalah fluks yang konstan karena magnet permanen, J adalah inersia (kgm^2), dan v adalah kecepatan angin (m/s).

III. FEEDBACK LINEARIZATION CONTROL

Metode *feedback linearization control* dapat diterapkan ke sistem non linear dalam bentuk:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u \tag{2}$$

$$y = h(x) \tag{3}$$

dengan $x \in \mathfrak{R}^n$ adalah vektor keadaan, u adalah input, dan y adalah output.

Untuk memahami sistem (2) dan (3), digunakan turunan Lie dengan menggunakan aturan rantai.

Definisi 1 [2]: Turunan Lie didefinisikan sebagai hasil kali $\frac{\partial h(x)}{\partial x}$ dengan $f(x)$ atau secara umum ditulis:

$$L_f h(x) = \frac{\partial h(x)}{\partial x} f(x)$$

dengan $L_f h(x)$ diartikan sebagai turunan fungsi h atas vektor f .

Elemen dari turunan Lie adalah:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial h_i}{\partial x_i} f_i(x)$$

Definisi 2 [2]: Yang dimaksud dengan $L_f^n h(x)$ adalah:

$$L_f^n h(x) = \frac{\partial (L_f^{n-1} h(x))}{\partial x} f(x)$$

dengan $L_f^n h(x)$ diartikan sebagai turunan ke- n fungsi h atas vektor f .

Sistem non linear (2) dan (3) mempunyai derajat relatif n , $\forall x$ dipersekitaran x_0 jika [3]:

$$L_g L_f^{n-1} h(x) = 0 \text{ dan } L_g L_f^n h(x) \neq 0$$

Diasumsikan bahwa derajat relatif sistem adalah n . Dalam kasus ini, setelah mendifferensialkan output ke- n diperoleh:

$$\begin{cases} y = h(x) \\ \dot{y} = L_f h(x) \\ \ddot{y} = L_f^2 h(x) \\ \vdots \\ y^{(n-1)} = L_f^{n-1} h(x) \end{cases}$$

$$y^{(n)} = L_f^n h(x) + L_g L_f^{n-1} h(x)u$$

Transformasi variabel yang didefinisikan oleh $z = \phi(x)$ [3] mengakibatkan sistem menjadi bentuk normal dan secara umum ditulis:

$$\bar{z} = \begin{bmatrix} \phi_1(x) \\ \phi_2(x) \\ \phi_3(x) \\ \vdots \\ \phi_n(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \\ \ddot{y} \\ \vdots \\ y^{(n-1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(x) \\ L_f h(x) \\ L_f^2 h(x) \\ \vdots \\ L_f^{n-1} h(x) \end{bmatrix}$$

$$z_i = \phi_i(x) = L_f^{i-1} h(x), i = 1, 2, \dots, n$$

Transformasi ini mengakibatkan sistem non linear (2) dan (3) menjadi sistem linear dan terkontrol:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 = z_3 \\ \vdots \\ \dot{z}_{n-1} = z_n \\ \dot{z}_n = u_v \\ y = z_1 \end{cases}$$

Dengan demikian, dari sistem non linear menjadi sistem linear:

$$\dot{z} = Az + Bu \tag{4}$$

$$y = Cz + Du \tag{5}$$

Jika diberikan (4) dan (5), maka dapat ditentukan kestabilan dari suatu sistem tersebut dengan menggunakan kriteria kestabilan Routh-Hurwitz melalui polinomial karakteristik untuk mencari nilai k agar sistem stabil. Untuk mendapatkan nilai karakteristik tersebut adalah sebagai berikut [4]:

$$\det(\lambda I - A) = 0$$

dengan:

λ = nilai karakteristik

I = matriks identitas

A = matriks ordo $n \times n$ bernilai real

IV. PEMBAHASAN

Model PMSG (1) didasarkan pada persamaan (d, q) [2]. Persamaan yang digunakan untuk membangun model PMSG ini terdiri dari persamaan tegangan untuk masing-masing sumbu d dan q , persamaan torsi magnet listrik, dan torsi mekanik.

Persamaan tegangan untuk masing-masing sumbu d dan q adalah sebagai berikut:

$$u_d = Ri_d + L_d \frac{d}{dt} i_d - L_q i_q \omega_s$$

$$u_q = Ri_q + L_q \frac{d}{dt} i_q + (L_d i_d + \Phi_m) \omega_s$$

dengan:

u_d, u_q adalah tegangan stator (d, q) (V), R adalah hambatan (Ω), i_d, i_q adalah arus listrik (d, q) (A), L_d, L_q adalah induktansi (d, q) (H), Φ_d, Φ_q adalah fluks (d, q) (Wb), Φ_m adalah fluks yang konstan karena magnet permanen (Wb), ω_s adalah getaran stator (rad/s).

Persamaan torsi magnet listrik yang ditulis Γ_G diperoleh seperti berikut:

$$\Gamma_G = p(\Phi_d i_q - \Phi_q i_d)$$

dengan p adalah banyaknya pasangan kutub. Jika magnet permanen dipasang dipermukaan rotor maka $L_d = L_q$ dan torsi magnet listrik menjadi:

$$\Gamma_G = p\Phi_m i_q$$

Torsi mekanik (Γ_{mec}) diperoleh sebagai berikut:

$$\Gamma_{mec} = d_1 v^2 + d_2 v \Omega_h + d_3 \Omega_h^2$$

Sehingga PMSG berdasarkan model sistem konversi energi angin dapat ditulis seperti (1).

Untuk menentukan derajat relatif dari sistem, akan dihitung turunan Lie seperti berikut:

$$L_f h(x) = \frac{1}{J} (d_1 v^2 + d_2 v x_3 + d_3 x_3^2 - d_4 x_2)$$

dengan: $d_4 = p\Phi_m$

$$L_g L_f h(x) = -\frac{1}{J} d_4 a_3 x_2$$

dengan: $a_3 = -\frac{1}{L_q + L_s}$

Ketika $L_g L_f^n h(x) \neq 0$, derajat relatif sistem adalah $n = 2$.

Sistem akan diubah ke bentuk normal melalui transformasi variabel yang memenuhi kondisi *diffeomorphism*:

$$\frac{\partial z_3}{\partial x_1} g_1(x) + \frac{\partial z_3}{\partial x_2} g_2(x) + \frac{\partial z_3}{\partial x_3} g_3(x) = 0$$

Kondisi ini memenuhi $z_3 = a_3 \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$. Transformasi variabel dari

sistem menuju linearisasi parsial adalah:

$$\bar{z} = \begin{bmatrix} x_3 \\ \frac{1}{J} (d_1 v^2 + d_2 v x_3 + d_3 x_3^2 - d_4 x_2) \\ a_3 \frac{x_1}{x_2} \end{bmatrix}$$

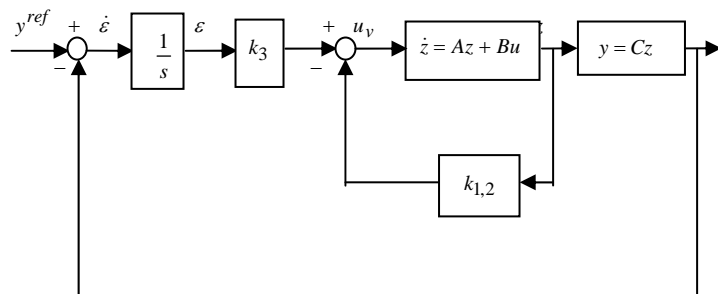
$$u = \frac{1}{L_g L_f h(x)} (-L_f^2 h(x) + u_v)$$

dengan:

$$L_f^2 h(x) = -\frac{1}{J} d_4 \frac{1}{L_q + L_s} (-R x_2 - p(L_d + L_s) x_1 x_3 + p\Phi_m x_3 + (\frac{1}{J} (d_2 v + 2d_3 x_3)) (\frac{1}{J} (d_1 v_2 + d_2 v x_3 + d_3 x_3^2 - p\Phi_m x_2)))$$

$$L_g L_f h(x) = -\frac{1}{J} d_4 a_3 x_2$$

Untuk memastikan *zero error*, sebuah integrator ditambahkan dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1:



Gambar. 1. State Feedback Control [2]

Model linearnya:

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

dan input u sebagai berikut:

$$u = -\begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} + k_3 \cdot \varepsilon$$

dengan:

$$\varepsilon = y^{ref} - y = y^{ref} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

Sistem linear menjadi:

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{\varepsilon} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot u + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot y^{ref}$$

Input kendali u_v , diperoleh seperti berikut:

$$u_v = -\begin{bmatrix} k_1 & k_2 & -k_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \varepsilon \end{bmatrix}$$

Jadi, sistem loop tertutup:

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{\varepsilon} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & -k_3 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \varepsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} y^{ref}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \varepsilon \end{bmatrix}$$

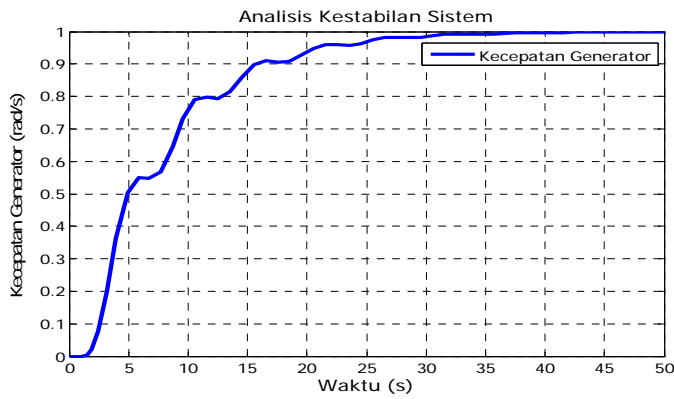
Dengan menggunakan kriteria kestabilan Routh Hurwitz, diperoleh nilai k_1, k_2 , dan k_3 :

$$\begin{cases} k_2 > 0 \\ k_3 > 0 \\ \frac{k_2 k_1 - k_3}{k_2} > 0 \Rightarrow k_1 > \frac{k_3}{k_2} \end{cases}$$

V. SIMULASIDAN ANALISIS

Diuji berbagai macam nilai k_1, k_2 , dan k_3 yang memenuhi kriteria kestabilan Routh Hurwitz untuk menunjukkan bahwa sistem tersebut stabil seperti berikut:

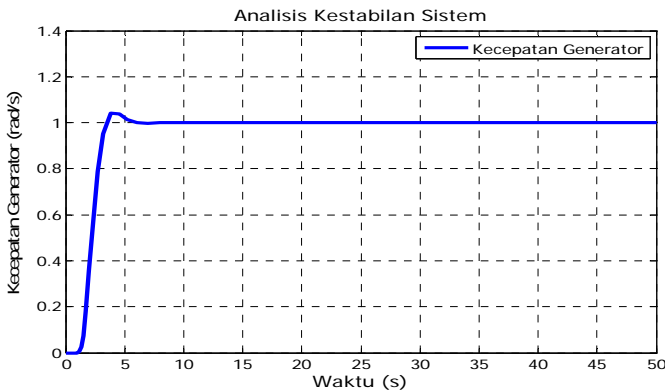
- Untuk $k_1 = 1,4; k_2 = 0,4; k_3 = 0,2$:



Gambar 2. Analisis Kestabilan untuk $k_1 = 1,4; k_2 = 0,4; k_3 = 0,2$

Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat bahwa mulai detik ke-36,5 hingga detik ke-50, kecepatan generator konvergen menuju mendekati 1 sehingga sistem tersebut dapat dikatakan stabil.

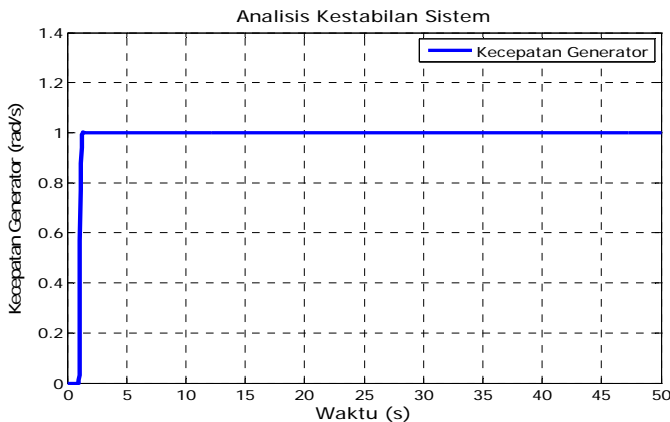
- Untuk $k_1 = 8,2; k_2 = 4,7; k_3 = 6,9$:



Gambar 3. Analisis Kestabilan Sistem untuk $k_1 = 8,2; k_2 = 4,7; k_3 = 6,9$

Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat bahwa mulai detik ke-6 hingga detik ke-50, kecepatan generator konvergen menuju 1 sehingga sistem tersebut dapat dikatakan stabil.

- Untuk $k_1 = 4000; k_2 = 136; k_3 = 40000$:



Gambar 4. Analisis Kestabilan Sistem untuk $k_1 = 4000; k_2 = 136; k_3 = 40000$

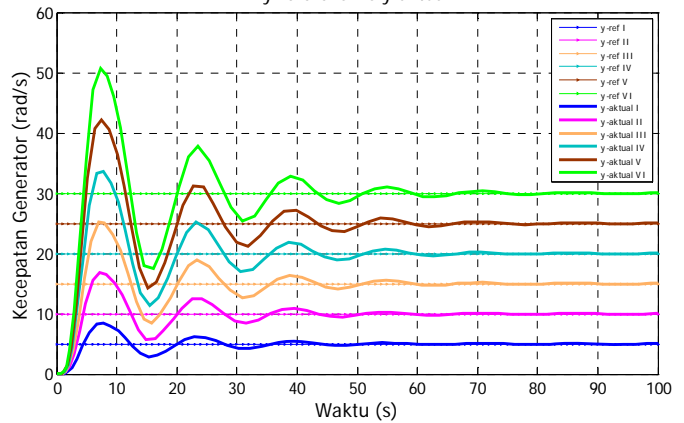
Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat bahwa mulai detik ke-1,3 hingga detik ke-50, kecepatan generator konvergen menuju 1 sehingga sistem tersebut dapat dikatakan stabil.

Selanjutnya, dengan berbagai macam nilai k_1, k_2 , dan k_3 yang telah diuji bahwa sistem tersebut stabil, akan dianalisis error kecepatan generator. Error dari kecepatan generator didefinisikan sebagai selisih antara keluaran aktual (y -aktual) dengan keluaran yang diharapkan (y -ref).

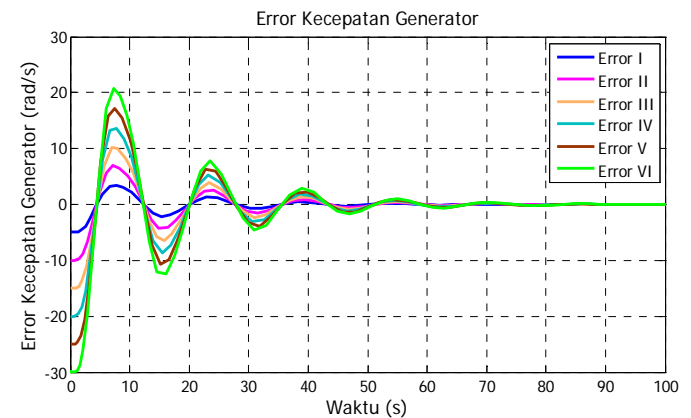
Pada tulisan ini, dianalisis beberapa nilai y -ref untuk dibandingkan dengan nilai y -aktual, pada sistem yang stabil dengan nilai k_1, k_2 , dan k_3 sebelumnya sehingga diperoleh nilai error kecepatan generator untuk mengetahui keakuratan sistem dengan:

- y -ref I = 5 rad/s , y -ref II = 10 rad/s ,
- y -ref III = 15 rad/s , y -ref IV = 20 rad/s ,
- y -ref V = 25 rad/s , y -ref VI = 30 rad/s .

- Untuk $k_1 = 1,4; k_2 = 0,4; k_3 = 0,2$:
y-referensi vs y-aktual



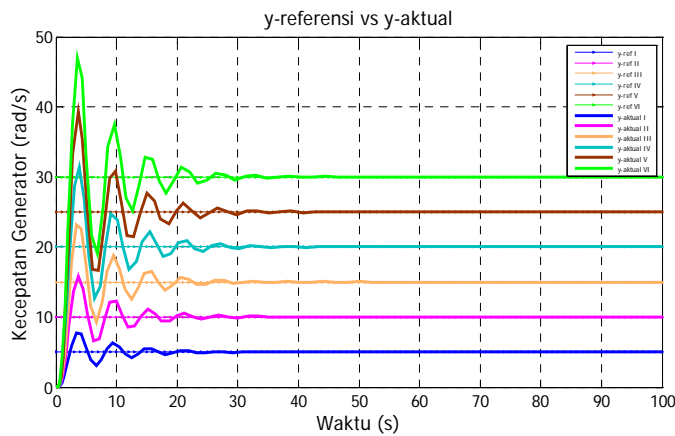
Gambar 5. y-referensi vs y-aktual untuk $k_1 = 1,4; k_2 = 0,4; k_3 = 0,2$



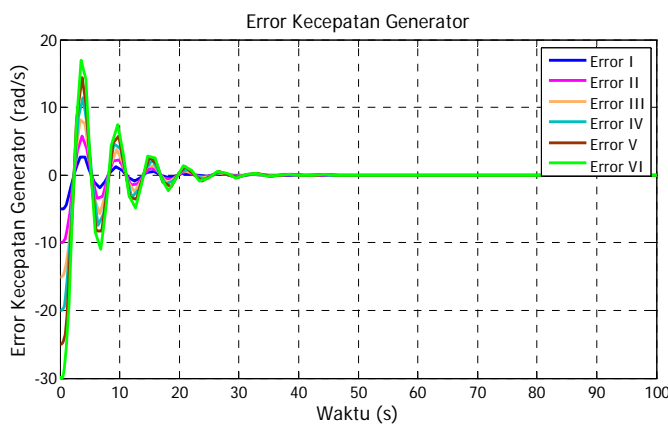
Gambar 6. Error Kecepatan Generator untuk $k_1 = 1,4; k_2 = 0,4; k_3 = 0,2$

Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat bahwa mulai detik ke-0 hingga detik ke-46,88, kecepatan generator masih mempunyai error yang besar, kemudian error kecepatan generator semakin mengecil tepat mulai detik ke-75 hingga detik ke-100.

- Untuk $k_1 = 8,2; k_2 = 4,7; k_3 = 6,9$:



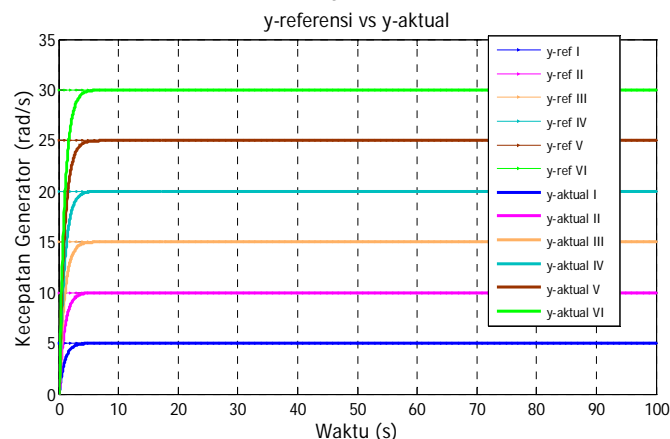
Gambar 7. y -referensi vs y -aktual untuk $k_1 = 8,2; k_2 = 4,7; k_3 = 6,9$



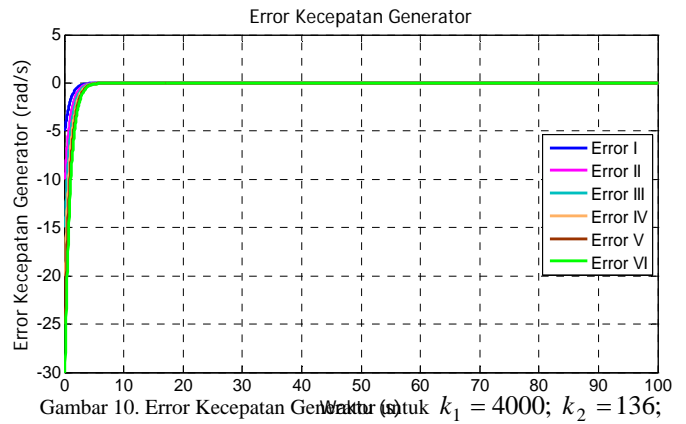
Gambar 8. Error Kecepatan Generator untuk $k_1 = 8,2; k_2 = 4,7; k_3 = 6,9$

Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat bahwa mulai detik ke-0 hingga detik ke- 29,5, kecepatan generator masih mempunyai error yang besar, kemudian error kecepatan generator semakin mengecil tepat mulai detik ke- 36 hingga detik ke-100.

- Untuk $k_1 = 4000; k_2 = 136; k_3 = 40000$:



Gambar 9. y -referensi vs y -aktual untuk $k_1 = 4000; k_2 = 136; k_3 = 40000$



Gambar 10. Error Kecepatan Generator untuk $k_1 = 4000; k_2 = 136; k_3 = 40000$

Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat bahwa mulai detik ke-0 hingga detik ke-3,6, kecepatan generator masih mempunyai error yang besar, kemudian error kecepatan generator semakin mengecil tepat mulai detik ke-5,6 hingga detik ke-100.

Indonesia memiliki karakteristik angin rata-rata yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan negara-negara pengguna sistem konversi energi angin seperti Finlandia dan Amerika Serikat. Daerah di Indonesia umumnya memiliki kecepatan angin antara $3m/s$ sampai $7m/s$. Jika turbin angin ini diterapkan di wilayah Indonesia yang memiliki potensi angin yang cukup, maka kebutuhan akan turbin angin disesuaikan dengan besarnya daya yang dihasilkan dari masing-masing turbin angin.

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah sistem konversi energi angin (turbin angin) dihasilkan oleh jari-jari rotor (r) adalah sebagai berikut [5]:

$$P_{wt} = \frac{1}{2} \rho \Pi r^2 v^3 C_p (\lambda)$$

Pada Tugas Akhir ini, digunakan C_p maksimum = 0,47 dan jari-jari rotor (r) = 2,5m sehingga:

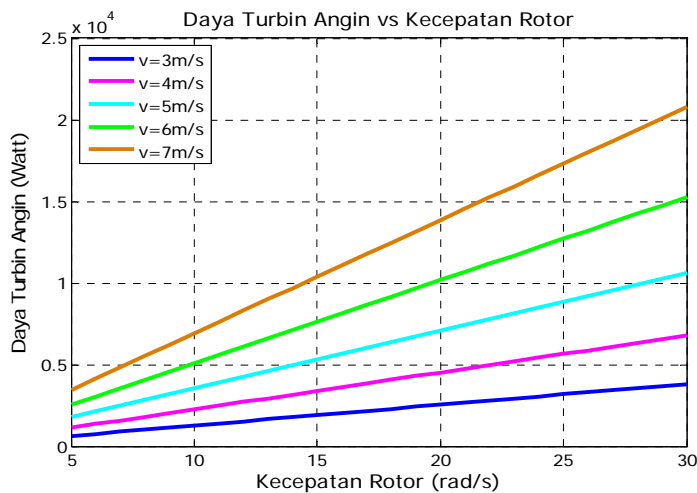
$$P_{wt} = \frac{1}{2} \rho \Pi r^3 v^2 \Omega_1 (0,47) = 0,235 \rho \Pi r^3 v^2 \Omega_1$$

dengan kecepatan angin (v) = $3m/s$ sampai $7m/s$ dan kecepatan rotor $\Omega_1 = 5rad/s$ sampai $30rad/s$.

Pada Gambar 11, terlihat bahwa semakin besar kecepatan rotor dengan kecepatan angin antara $3m/s$ sampai $7m/s$, maka semakin besar pula daya yang dihasilkan dari turbin angin seperti yang terlihat pada Tabel 1:

Tabel. 1.
Daya Turbin Angin vs Kecepatan Rotor

Kecepatan Rotor	Kecepatan Angin	Daya yang Dihasilkan
$30rad/s$	$3m/s$	3,82kW.
$30rad/s$	$4m/s$	6,79kW.
$30rad/s$	$5m/s$	10,60kW.
$30rad/s$	$6m/s$	15,25kW.
$30rad/s$	$7m/s$	20,78kW.



Gambar 11. Grafik Daya Turbin Angin vs Kecepatan Rotor

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis dan simulasi konversi energi angin menjadi energi listrik diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi terlihat bahwa untuk nilai k_1, k_2 , dan k_3 yang memenuhi kriteria kestabilan Routh Hurwitz, sistem akan stabil.
2. Dari hasil simulasi nilai k_1, k_2 , dan k_3 yang diubah berturut-turut terlihat bahwa sistem yang paling stabil dan memiliki keakuratan sistem yang baik adalah sistem untuk $k_1 = 4000; k_2 = 136; k_3 = 40000$, dan sistem yang memiliki performansi yang baik adalah sistem untuk $k_1 = 1,4; k_2 = 0,4; k_3 = 0,2$.
3. Semakin tinggi kecepatan angin dan kecepatan rotor maka akan menghasilkan daya yang semakin besar.

Saran yang penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya, sistem konversi energi angin dapat dikaji dengan menggunakan metode *sliding mode control*, *PI control*, *QFT robust control*, ataupun *On-Off control*.
2. Untuk penelitian selanjutnya, penentuan daya maksimal yang dihasilkan dari turbin angin yang lebih optimal dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Khulaifah, "Optimisasi Penempatan Turbin Angin di Area Ladang Angin Menggunakan Algoritma Genetika". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Tugas Akhir D3 Jurusan Teknik Elektro (2009).
- [2] I. Munteanu, A. I. Bratcu, N. A. Cutulius, dan E. Ceangã, *Optimal Control of Wind Energy Systems*. Jerman : Springer (2008).
- [3] W. J. Jemai, H. Jerbi, dan M. N. Abdelkrim, "Synthesis of An Approximate Feedback Nonlinear Control Based on Optimization Method," *WSEAS Transactions on Systems and Control*, Vol 5 (2010) 646-655.
- [4] E. Hendricks, *Linear System Control*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer (2008).
- [5] A. Muhammad dan F. Hartono, "Pembuatan Kode Desain dan Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H," *Jurnal Teknologi Dirgantara.*, Vol. 7, No.2 (2009) 93-100.