

**PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM PENGONTROLAN TEGANGAN
DAN FREKUENSI GENERATOR INDUKSI TIPE DOUBLY FED
APLIKASI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN**

1).Novizon 2) Uyung Gatot S Dinata.
Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

Simulasi ini menghasilkan suatu keluaran berupa tegangan, arus, daya, dan kecepatan angin per detik. Hasil dari keluaran simulasi ini dapat digunakan untuk menganalisa karakteristik suatu turbin angin yang sedang dirancang ataupun turbin angin yang akan dipasang di suatu daerah yang telah diketahui kecepatan angin rata-ratanya. Masing-masing bagian dibangun dalam bentuk blok-blok tersendiri dan data-data dari bagian tersebut dapat dimasukkan secara terpisah dari sistem. Persamaan rotor turbin yang diperoleh dari literatur dikonversikan kedalam bahasa matlab/simulink sehingga diperoleh satu blok rotor turbin dimana data-datanya dimasukan melalui dialog box yang lebih dikenal dengan grafik user interface (GUI) yang merupakan fasilitas dari matlab simulink. Demikian juga untuk bagian-bagian yang lain seperti : transmisi mekanik (gear box), generator, pengaturan tegangan dan frekuensi, beban dan kapasitor. Setelah semua blok terbentuk dan telah diuji sesuai dengan karakteristik masing-masing, maka selanjutnya blok-blok tersebut dirangkai sesuai dengan turbin angin sesungguhnya dan simulasi turbin angin siap dijalankan. Hasil simulasi menunjukkan tegangan yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan yang berarti pengaturan tegangan frekuensi bekerja dengan baik.

1. Latar Belakang

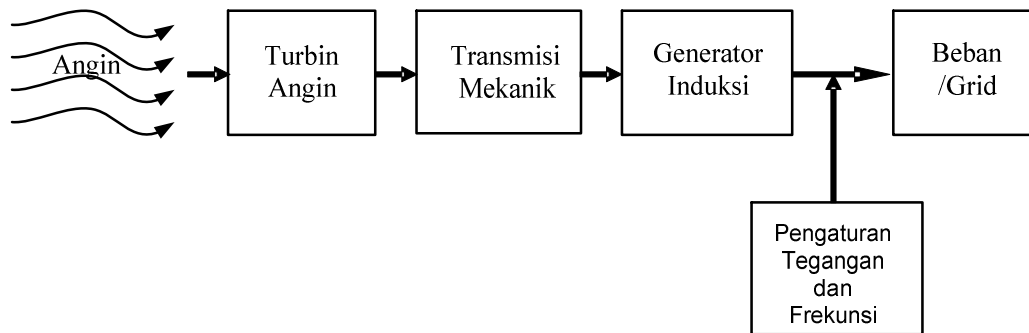
Generator induksi dengan tipe rotor sangkar sangat laus digunakan untuk turbin angin karena konstruksi yang sederhana dan bebas perawatan. Tegangan terminal generator induksi akan bervariasi dengan perubahan kecepatan angin, oleh karena itu generator induksi yang diaplikasikan untuk turbin angin harus diatur tegangannya.

Pada penelitian ini pengaturan tegangan terminal stator dari generator induksi menggunakan statik dan varibel var kapasitor. Pembangkit listrik tenaga angin menggunakan teknologi yang kompleks yang terdiri dari bagian mekanik dan bagian elektrik. Untuk menganalisis performansi dari turbin angin perlu dibangun prototipe dari turbin angin tersebut. Permasalahan yang dihadapi adalah besarnya biaya yang dibutuhkan untuk membangun prototipe tersebut. Disamping itu kekhawatiran akan

gagalnya prototipe tersebut bekerja, sesuai dengan tujuan yang diharapkan, sehingga menderita kerugian yang besar.

2. Teori

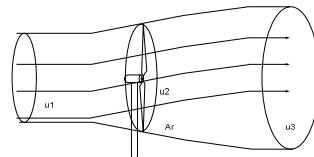
Blok utama turbin angin terdiri dari : turbin, transmisi mekanik, dan generator, untuk dapat menghasilkan tegangan, arus dan daya maka perlu peralatan lainnya seperti kapasitor, beban dan pengatur tegangan dan frekuensi disamping angin sendiri sebagai sumber energinya. Pada penelitian ini semua komponen yang dibutuhkan oleh turbin angin termasuk sumber daya sendiri dimodelkan dalam bentuk blok-blok model sehingga ketika digabungkan dapat dijalan sebagai suatu turbin angin. Blok diagram turbin angin dapat digambarkan sebagai adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Blok Diagram Turbin Angin

2.1 Turbin Angin.

Angin akan menghasilkan daya mekanis bila ditempatkan baling-baling (propeler) yang memotong aliran angin tersebut seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2. Aliran angin pada turbin angin.

$$P_{\text{angin}} = A_r \frac{\rho}{2} (u_1^2 - u_3^2) \cdot u_2$$

daya yang dihasilkan oleh angin tergantung dari luas area baling-baling (A_r) dan kecepatan angin u_1 , u_2 dan u_3 . Selanjutnya dari suatu penurunan rumus diatas maka didapat :

$$P_{\text{angin}} = \frac{\rho}{2} c_p (\lambda, \theta) A_r \cdot u_{\text{angin}}^3$$

dimana: ρ = kerapatan udara (kg m /det)

$C_p(\lambda, \theta_{\text{pitch}})$ = karakteristik turbin

A_r = luas sapuan propeler rotor (m²)

u_{angin} = kecepatan angin (m/det)

$$\text{dan } \lambda = \frac{\omega R}{u}$$

Dengan R = jari-jari propeler (sudu-sudu) $T_t = \frac{P_{\text{angin}}}{\omega} = \frac{1}{2\omega} \rho A u^3 C_p$

Saat $\omega = 0$, maka C_p harus infinitif, untuk model ini maka C_p diganti dengan tabel C_p , dan

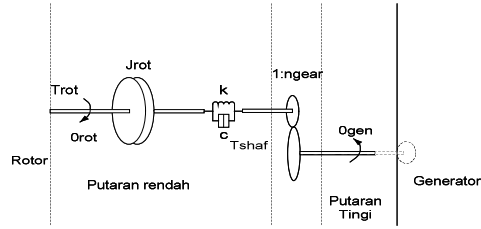
torsi menjadi : $T_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 u^2 C_p$

2.2 Transmisi Mekanik.

Sumbu rotor menghasilkan putaran yang rendah sementara generator membutuhkan putaran yang tinggi untuk dapat menghasilkan tegangan, arus dan daya. Untuk mengkonversikan putaran rendah ke dalam putaran tinggi dapat digunakan gearbox.

Gearbox atau transmisi mekanik adalah salah satu bagian struktur dinamis dari turbin angin yang memberikan kontribusi yang besar untuk interaksi dengan sistem atau grid yang berfungsi mengkonversikan torsi rotor menjadi torsi sumbu putaran rendah dimana melalui gearbox torsi diturunkan menjadi torsi sumbu putaran tinggi .

Transmisi mekanik ini adalah tipe “two mass ” yang dihubungkan dengan sumbu putaran rendah yang fleksibel yang dimodelkan dengan faktor kekakuan dan damping koefisien. “Two mass” maksudnya adalah berhubungan dengan turbin rotor inersia, yang memrepresentasikan hub dan sudu, dan generator inersia yang merepresentasikan inersia generator induksi dengan ratio gearbox 1: n. Gambar struktur transmisi mekanik adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Struktur Transmisi Mekanik

Persamaan yang digunakan

$$\theta_{rot} = \omega_{rot}$$

$$\theta_k = \omega_{rot} - \frac{\omega_{gen}}{n_{gear}} \quad [rad / det]$$

$$\omega_{rot} = (T_{rot} - T_{shaf}) / J_{rot} \quad [rad / det^2]$$

$$T_{shaf} = c \left(\omega_{rot} - \frac{\omega_{gen}}{n_{gear}} \right) + k \theta_k \quad [Nm]$$

$$P_t = \omega_{gen} \frac{T_{shaf}}{n_{gear}} \quad [Watt]$$

dimana

$$c = 2 \xi \sqrt{k \cdot J_{rot}}$$

$$\xi = \frac{\delta_s}{\sqrt{\delta_s + 4 \pi^2}}$$

$$\delta_s = \ln \left(\frac{a(t)}{a(t + t_p)} \right)$$

Dari persamaan diatas dibentuk persamaan model sehingga dapat dimasukan kedalam bentuk format Matlab/ Simulink.

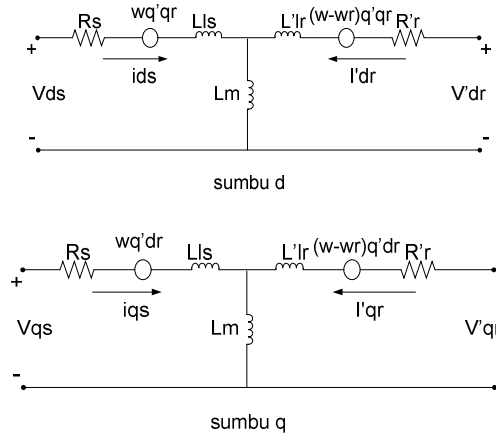
$$\frac{d\omega_{gen}}{dt} = \frac{-D_s \omega_{gen} - K_s \theta_{gen} + D_s \omega_{rot} K_g + K_s K_g \omega_{rot} + K_g^2 T_{gen}}{J_{gen} K_g^2}$$

$$\frac{d\omega_{rot}}{dt} = \frac{D_s \omega_{gen}}{K_g} + \frac{K_s \theta_{gen}}{K_g} - \frac{T_{rot}}{J_{rot}} - D_s \omega_{rot} - K_s \theta_{rot}$$

2.3 Generator Induksi

Model generator induksi didasarkan pada persamaan d-q. Input dari generator ini direpresentasikan dengan energi mekanik berupa torsi dan outputnya direpresentasikan dengan energi listrik berupa tegangan, arus dan daya. Persamaan yang digunakan untuk

membangun model ini terdiri dari persamaan tegangan untuk masing-masing sumbu d dan q dan persamaan torsi mekanik. Generator induksi dalam model ini adalah generator induksi tipe rotor sangkar. Rangkaian ekivalen untuk sumbu d dan q seperti gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Ekivalen Generator Induksi sumbu d dan q

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

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} + \omega \varphi_{ds} \qquad V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \omega \varphi_{qs}$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{qr} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{dr}$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{dr} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{qr}$$

$$T_e = 1,5 p (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds})$$

dimana :

$$\varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \qquad \varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr} \qquad \varphi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs}$$

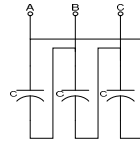
$$\varphi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{qs} \qquad L_s = L_{ls} + L_m \qquad L'_r = L'_{lr} + L_m$$

Persamaan sistem mekanik adalah : $\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{2J} (T_e - T_m)$ $\frac{d}{dt} \theta_m = \omega_m$

2.4 Kapasitor Konstan

Generator induksi memerlukan kapasitor sebagai eksitasi. Kapasitor tiga fasa hubungan delta dirangkai paralel ke stator. Setelah generator induksi dieksitasi untuk pertama kali

maka kapasitor akan mempertahankan eksitasi tersebut sehingga tegangan dapat dipertahankan.



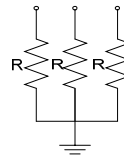
Gambar 5 . Rangkaian Kapasitor Statik

Besar kapasitor statik yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$|E_\phi| = X_c |I_{\phi g}| \quad X_c = \frac{|E_\phi|}{|I_{\phi g}|} \quad \text{dimana, } |E_\phi| = X_m I_{n1} = \left[\left(\frac{V_{n1}^2}{3I_{n1}^2} - r_1^2 \right)^{1/2} - x_1 \right] I_{n1}$$

2.5. Beban

Beban dapat berupa tahanan (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C) atau gabungan dua atau tiga elemen tersebut. Pada penelitian ini untuk melihat karakteristik daya dari turbin angin digunakan beban tahanan murni (R) yang terhubung bintang ditanahkan.

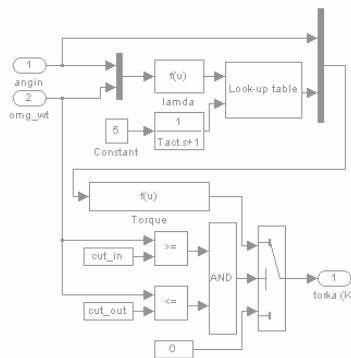


Gambar 6. Rangkaian Beban

3. Metode Penelitian

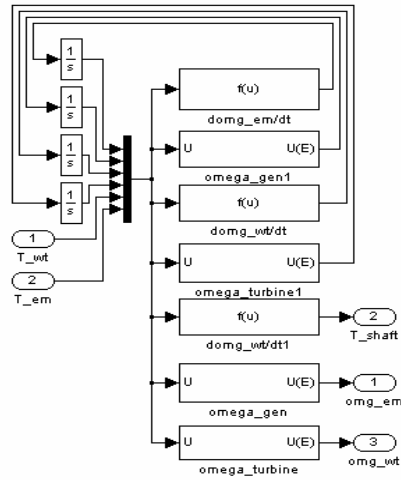
Dalam penelitian ini digunakan metode simulasi dengan membangun model-model yang diturunkan dari persamaan matematis dari masing masing komponen turbin angin dan pengaturannya.

3.1 Rangkaian Model Rotor Turbin



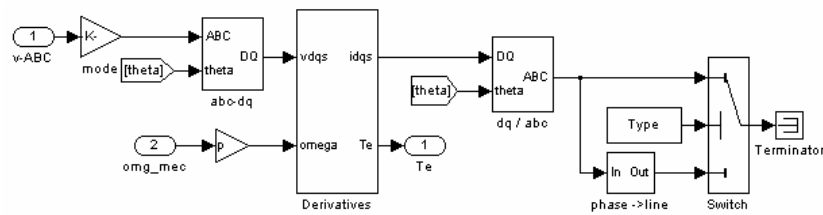
Gambar 7. Rangkaian Model Rotor Turbin

2.2 Rangkaian Model Transmisi Mekanik



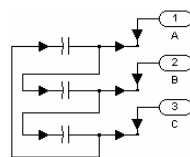
Gambar 8. Rangkaian Model Transmisi Mekanik

2.3 Rangkaian Model Generator



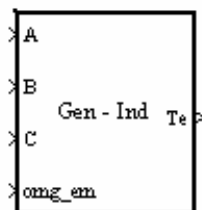
Gambar 9. Rangkaian Model Generator

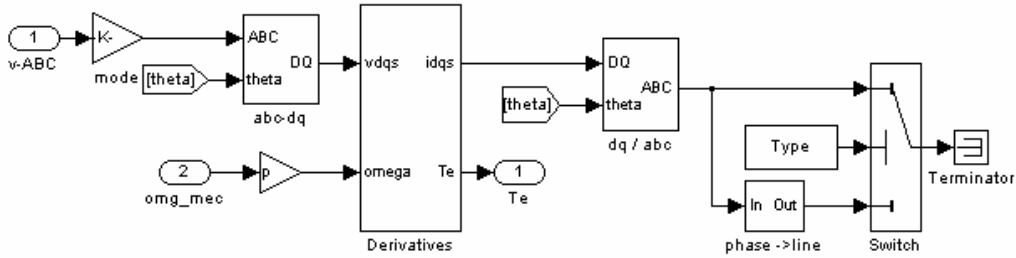
2.4 Rangkaian Model Kapasitor



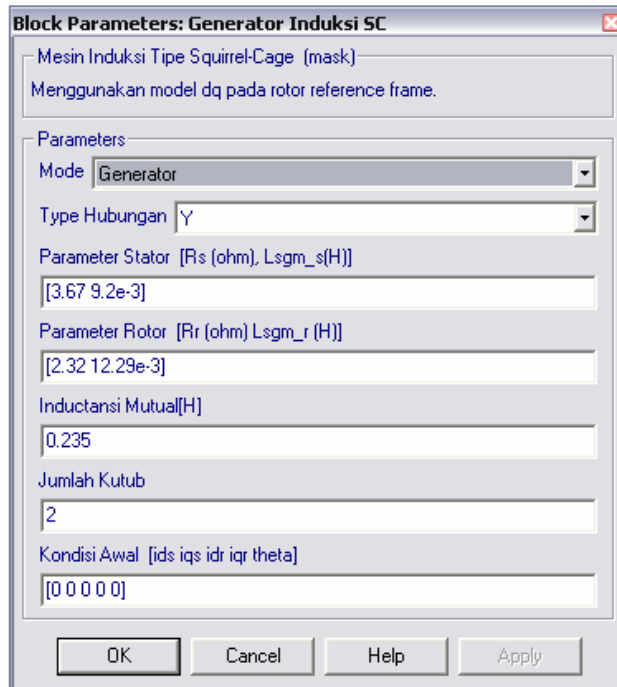
Gambar 10. Rangkaian Model Kapasitor

2.7. Rangkaian Model Pengatur Tegangan dan Frekuensi



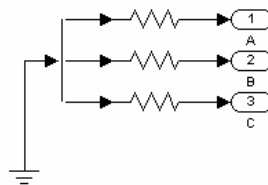


Gambar 12. Simulink Blok Model Generator Induksi



Gambar 13. GUI Model Generator Induksi

2.8 Rangkain Model Beban

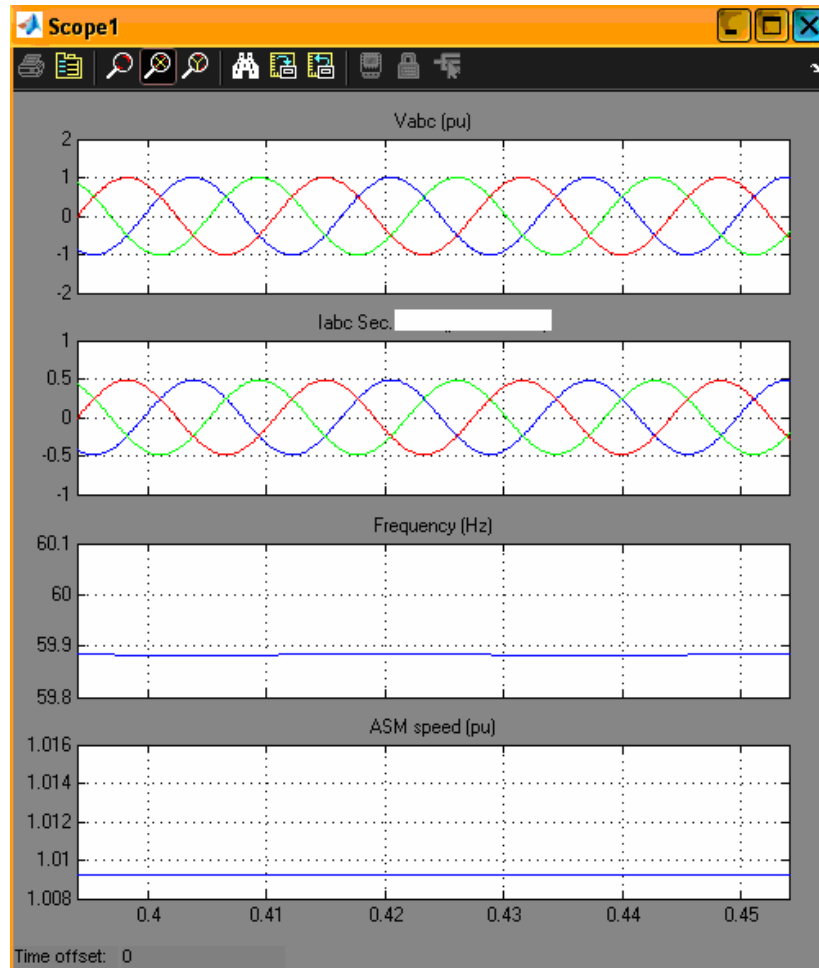


Gambar 11. Rangkain Model Beban

4. Hasil Simulasi dan Analisa

Dengan memasukan data turbin angin maka simulasi yang dijalankan menghasilkan grafik-grafik sebagai berikut :

4.1 Hasil Simulasi



4.2 Analisa

Tegangan keluaran dari hasil simulasi dengan kecepatan angin rata-rata 10 m/det menghasilkan tegangan sebesar 1 per unit volt peak to peak. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi dapat menggambarkan nilai yang benar dan pengaturan tegangan bekerja dengan baik.

Frekuensi terhadap waktu menunjukkan kecenderungan yang tetap pada nilai 60 Hz sesuai dengan nilai yang diharapkan. Ini menunjukkan bahwa pengaturan frekuensi juga bekerja dengan baik.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dengan dan analisis turbin angin yang digunakan dapat disimpulkan bahwa :

1. Bagian-bagian turbin angin yang dibangun berupa blok-blok bekerja sesuai dengan spesifikasinya.
2. Dengan angin rata-rata 10m/detik diperoleh kerja turbin yang sesuai atau dengan kata lain turbin bekerja dalam ratingnya.

5.2 Saran

Saran yang diajukan untuk pengembangan lebih lanjut simulasi pembangkit listrik tenaga angin ini adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk bisa menggunakan kecepatan angin yang diambil langsung dari alam. Atau pengukuran langsung di lokasi penelitian sehingga karakteristik turbin angin yang real untuk suatu lokasi.

6. Daftar Pustaka

- [1]. Sørensen P., Anca Hansen, et al, Simulation of Interaction between Wind Farm and Power System, Risø-R Laboratory, 2001
- [2]. Heier, S. 1998, Grid Integration of Wind Energy Conversion System, John Willey & Son.
- [3]. McPherson, G., R.D. Laramore, An Introduction to Electrical Machines And Transformers, John Willey & Son.
- [4]. IEC 61400-21. Ed.1: Wind turbine generator systems – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines. Final Draft International Standard 88/144/FDIS International Electrotechnical Commission, IEC 2001-07-01.
- [5]. P. Sørensen, A.D. Hansen, L. Janosi, J. Bech, B. Bak-Jensen. Simulation of interaction between wind farm and power system. Risø-R-1281(EN) (2001).
- [6]. V.Akhmatov, H.Knudsen, A.H.Nielsen. Advanced simulation of windmills in the electric power system. Electrical Power and Energy Systems

22, p.421-434. Elsevier 2000.

- [7]. F. Iov. Analysis of full and reduced order models for squirrel cage and wound rotor induction machine. Internal note. Aalborg, DK, 2001
- [8]. T.J. Larsen, M.H. Hansen, & F. Iov, Generator dynamics in aeroelastic analysis and simulations. (Risø-R-1395(EN) , DK, 2003.
- [9]. John Olav G Tande et all, “Dynamic model of windfarm for power system studies-status by IEA Wind R&D Annex 21”, EWEC’04,22-25 November 2004,London,U