

KONTROL DAYA DENGAN VARIASI KECEPATAN PADA *DOUBLE-FED INDUCTION GENERATOR* UNTUK TURBIN ANGIN

Power Control with Speed Variation in Double - Fed Induction Generator for Wind Turbines

Abdul Natsir¹, Supryatna², Sabar Nababan³

ABSTRAK

Salah satu kelemahan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) adalah kecepatan angin yang terjadi tidak konstan, sehingga menimbulkan ketidakstabilan pada daya listrik yang dibangkitkan. Apabila penetrasi daya PLTB cukup besar dengan perubahan yang cepat, maka sangat kesulitan dalam pengaturan daya keluarannya. Dengan karakteristik penjejakan titik daya maksimum (MPPT) pada *Double-Fed Induction Generator* (DFIG), dapat diperoleh daya keluaran mekanis maksimum pada setiap kecepatan angin yang berbeda. Daya keluaran dari DFIG akan selalu mengikuti perubahan kecepatan angin, sehingga DFIG dapat langsung terhubung dan disinkronkan dengan grid PLN.

Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimen dan analisis dengan melakukan kontrol daya pada DFIG untuk kondisi operasi sub-sinkron dan operasi super-sinkron. Penelitian ini menggunakan modul DFIG di Laboratorium energi baru dan terbarukan.

Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah daya DFIG yang disuplai besarnya sama dengan penjumlahan daya yang diberikan ke grid dan LSC baik pada kondisi operasi sub-sinkron maupun operasi super-sinkron. Demikian juga dengan variasi kecepatan untuk daya DFIG konstan, penjumlahan daya grid dengan LSC sama dengan daya yang disuplai DFIG. Artinya perubahan kecepatan pada DFIG tidak mempengaruhi frekuensi sistem (frekuensi konstan).

Kata kunci: PLTB, DFIG, kontrol daya, dan kecepatan variabel

ABSTRACT

One disadvantage of a wind turbine power plant (WTP) is that the speed of wind is not constant, which causes instability in the generation of electric power. When the power penetration of the WTP is high and the power changes rapidly, it is very difficult to control the output power. By optimizing the characteristics of maximum power point tracking (MPPT) on DFIG, the maximum mechanical output power at every different wind speeds can be achieved. Output power of DFIG will always follow the changes of the wind speed, so that the DFIG can be directly connected and synchronized with the grid/PLN.

Method of the research includes experimental, verification and a comprehensive analysis of two operating conditions of DFIG power control i.e sub-synchronous and super-synchronous condition. This research utilizes DFIG module that available in the laboratory of new and renewable energy.

The results of the study are the supplied DFIG power is equal to the sum of power that is given to the grid and LSC in both operating conditions of the sub-synchronous and super-synchronous. Similarly, variation of speed for DFIG power is kept constant, the summation of power grid and LSC equals to the power that is supplied by DFIG. It means, that the changes of speed in DFIG does not influence the frequency of system (frequency of system is maintained in the same value).

Keywords: WTP, DFIG, power control, and variable speed

PENDAHULUAN

Di Indonesia, sebagian besar kebutuhan energi listrik masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil. Sehingga perlu dilakukan pengembangan teknologi pembangkit listrik dari energi terbarukan. PLTB merupakan salah satu jenis pembangkit listrik energi terbarukan. Pemanfaatannya

belum dilakukan secara maksimal, namun pembangunannya mengalami peningkatan yang sangat pesat baik di negara maju dan beberapa negara berkembang.

Pada PLTB, perubahan kecepatan angin yang terjadi setiap saat (tidak konstan) menimbulkan ketidakstabilan pada daya listrik yang dibangkitkan dan berpengaruh pada suplai daya ke sistem. Apabila penetrasi

¹ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

daya PLTB cukup besar dengan perubahan yang cepat, maka kesulitan dalam pengaturan daya keluarannya, juga akan terjadi gangguan tegangan pada terminal keluaran PLTB.

Double-Fed Induction Generator (DFIG) dengan kecepatan rotor generator berubah merupakan mesin induksi yang secara luas digunakan dalam industri tenaga angin di era modern ini. Dengan menggunakan karakteristik penjejakan titik daya maksimum (MPPT) dapat diperoleh daya keluaran mekanis maksimum pada setiap kecepatan angin yang berbeda. Daya keluaran dari DFIG akan selalu berubah-ubah mengikuti perubahan kecepatan angin. Kelebihan dari DFIG pada turbin angin adalah dimungkinkan amplitudo dan frekuensi tegangan keluaran dipertahankan pada nilai konstan, tanpa terpengaruh variasi kecepatan angin pada turbin angin. Karena itu, DFIG dapat langsung terhubung ke *grid*/PLN dan tetap disinkronkan sepanjang waktu dengan *grid*.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana mengontrol daya yang dibangkitkan PLTB menggunakan DFIG dengan variasi kecepatan angin yang tidak konstan. Pada penelitian ini, variasi kecepatan didapatkan dari servo motor sebagai *prime-mover* yang diatur kecepatan sesuai yang diinginkan. Eksperimen penelitian dilakukan pada modul peralatan Lucas-Nulle (NL) di laboratorium Energi Baru dan Terbarukan Fakultas Teknik Unram.

Beberapa peneliti telah melakukan studi, analisis dan pemodelan tentang DFIG pada PLTB dengan mengacu pada literature [1], [3], [4], [6] dan [7]. DFIG memiliki rotor yang terhubung ke *grid* melalui *variabel frequency AC/DC/AC converter (VFC)* dan stator yang terhubung ke *grid* secara langsung. Kelebihan-kelebihan DFIG adalah mampu mengontrol daya aktif dan reaktif generator, menghasilkan energi secara efisien, meningkatkan kualitas daya, dan meningkatkan performansi dinamik dari PLTB.

Disamping itu, telah dilakukan juga penelitian tentang *variabel speed wind turbine (VST)* dengan DFIG yang merujuk pada literatur (Aouzellag et. al, 2004), serta penelitian tentang pengembangan laboratorium yang terkait dengan DFIG sebagai sarana tutorial pembelajaran dan unit percobaan praktikum bagi mahasiswa (Hu, 2010).

Daya Angin. Daya angin seluruhnya yang dapat dikonversikan menjadi energy mekanik, yang dipengaruhi oleh factor koreksi (C_p)

besarnya sesuai persamaan: (Menurut *Betz Law*)

$$P_{tot} = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 C_p \dots\dots\dots(1)$$

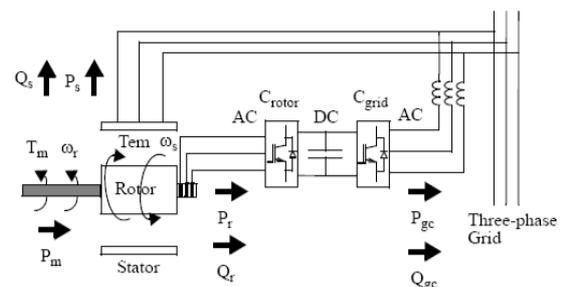
dengan:

- P_{tot} : Daya total angin (watt)
- v : Kecepatan angin yang melewati turbin (m/s)
- ρ : Massa jenis udara (kg/m^3)
- r : Radius dari blade turbin angin (m)
- C_p : Koefisien daya (constant)

Variabel Speed DFIG. *Variabel speed wind turbine (VST)* dengan DFIG merupakan salah satu dari tipe PLTB. DFIG memiliki rotor yang terhubung ke *grid* melalui *variabel frequency AC/DC/AC converter (VFC)* dan stator yang terhubung ke *grid* secara langsung. Kelebihan DFIG adalah mampu mengontrol daya aktif dan reaktif generator, menghasilkan energi secara efisien, meningkatkan kualitas daya, dan meningkatkan performansi dinamik saat terjadi gangguan seperti penurunan tegangan dan hubung singkat.

VFC berfungsi untuk menghasilkan daya listrik dengan frekuensi tetap dari stator generator dan mengatur tegangan slip ring (rotor) dari mesin induksi dalam magnitud dan sudut fasa. VFC hanya menggunakan sebagian (25-30%) dari seluruh daya total untuk mencapai kontrol penuh pada generator, sehingga produksi energinya lebih efisien dan harganya lebih murah.

Sistem pengaturan daya (*power regulation*) pada DFIG adalah: pertama, pengontrolan daya aktif dengan mengatur *blade pitch angle*, kecepatan putar dengan mengatur komponen *quadrature* dari arus rotor, dan daya reaktif dengan mengatur komponen *direct* pada arus rotor. Kedua, pengontrolan daya aktif dengan mengontrol komponen *quadrature* dari tegangan rotor, kecepatan putar dengan mengatur *blade pitch angle*, dan daya reaktif dengan mengatur tegangan rotor. Skematik dan aliran daya dari DFIG ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skematik dan aliran daya pada DFIG (Primadusi Ungu, 2010)

Output daya mekanik dan daya listrik stator pada persamaan (2) dan (3):

$$P_m = T_m \omega_r \dots\dots\dots(2)$$

$$P_s = T_{em} \omega_s \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan mekanik pada generator tanpa rugi-rugi:

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = T_m - T_{em} \dots\dots\dots(4)$$

Pada keadaan *steady-state*, saat kecepatan rotor adalah tetap.

$$\begin{aligned} T_m &= T_{em} \\ P_m &= P_s + P_r \\ P_r &= P_m - P_s \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Dengan memasukkan persamaan (2) dan (3) pada persamaan (5):

$$P_r = -sP_s \dots\dots\dots(6)$$

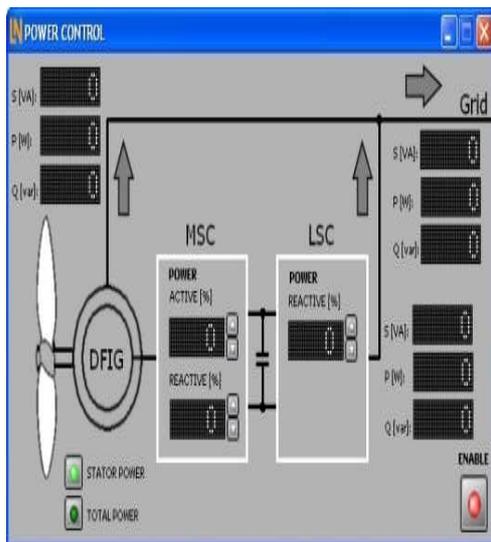
Dengan s adalah slip generator

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \dots\dots\dots(7)$$

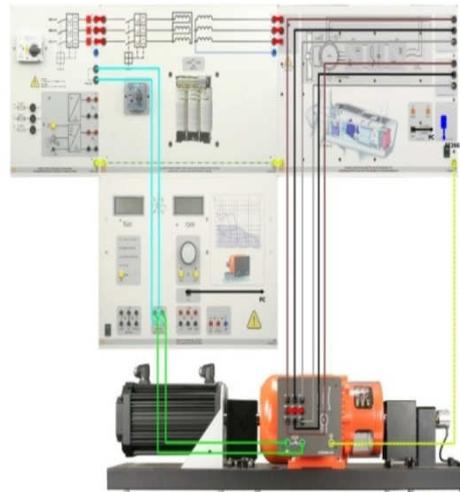
Nilai slip berada diantara 0 dan 1. P_r bernilai positif ketika kecepatan putaran rotor lebih besar daripada kecepatan sinkron atau slip negatif dan P_r bernilai negatif ketika kecepatan putaran rotor lebih kecil daripada kecepatan sinkron atau slip positif.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah eksperimen, verifikasi dan analisis. Setup eksperimen dan menu kontrol daya pada DFIG dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Setup eksperimen pada DFIG



Gambar 3. Menu kontrol daya pada DFIG

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian meliputi persiapan, studi literatur, merangkai setup eksperimen, pengukuran dan pengambilan data, analisis, dan membuat kesimpulan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen control daya dalam DFIG meliputi kondisi operasi sub-sinkron dan operasi super-sinkron. Parameter yang diubah dalam eksperimen adalah variasi daya DFIG dengan nilai dari 0W, 50W, 100W, 150W, 200W dan 300W dan variasi kecepatan dari 1200 rpm sampai 1450 rpm untuk operasi sub-sinkron serta kecepatan 1650 rpm sampai 1900 rpm untuk operasi super-sinkron.

Hasil pengukuran pada kondisi operasi sub-sinkron dan operasi super-sinkron disajikan pada tabel 1 – tabel 4

Tabel 1 Daya grid dan LSC dengan variasi daya DFIG pada operasi sub-sinkron

DFIG P (W)	0	50	100	150	200	300	400	500
Grid P(W)	-64	-4	60	119	178	295	411	529
LSC P(W)	-65	-54	-42	-32	-23	-5	11	26

Tabel 2 Daya grid dan LSC dengan variasi kecepatan pada operasi sub-sinkron

n (rpm)	1200	1250	1300	1350	1400	1450
Grid P(W)	219	234	247	263	278	296
LSC P(W)	-180	-165	-152	-137	-120	-107

Tabel 3 Daya grid dan LSC dengan variasi daya DFIG pada operasi super-sinkron

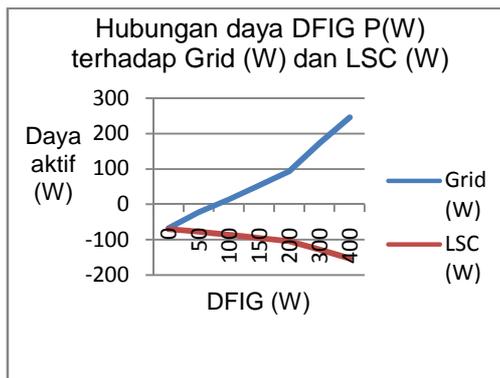
n (rpm)	1650	1700	1750	1800	1850	1900
DFIG P(W)	500	500	500	50	500	500
Grid P(W)	452	463	479	496	510	524
LSC P(W)	-53	-37	-22	-7	9	24

Tabel 4 Daya grid dan LSC dengan variasi kecepatan pada kondisi super-sinkron

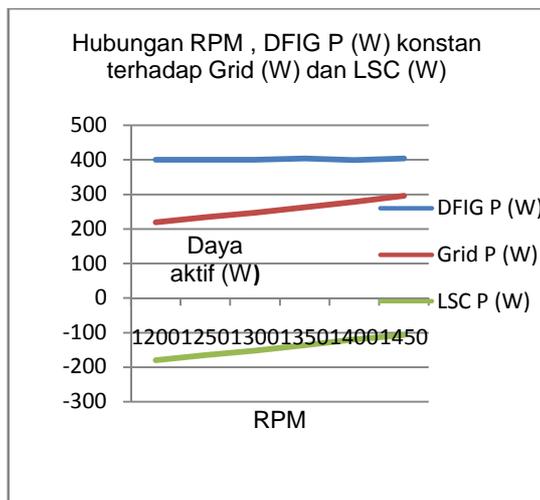
DFIG P(W)	0	50	100	150	200	300	400
Grid P(W)	-67	-22	14	54	94	173	246
LSC P(W)	-70	-77	-86	-95	-104	-128	-153

Mengacu pada table hasil pengukuran dapat digambarkan hubungan antara daya DFIG terhadap daya grid dan daya LSC, serta hubungan antara variasi kecepatan (rpm) terhadap daya DFIG, daya grid dan daya LSC baik pada kondisi operasi sub-sinkron dan operasi super-sinkron.

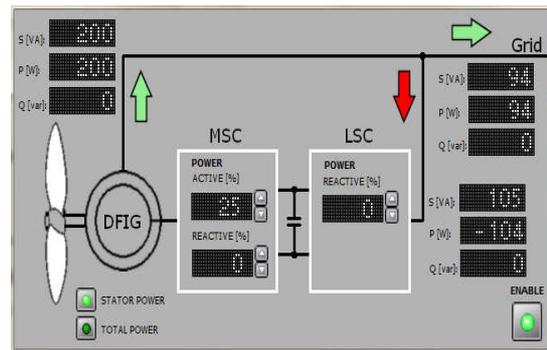
Grafik hubungan antara variasi daya DFIG dengan daya grid dan daya LSC dan hubungan antara variasi rpm (daya DFIG konstan) terhadap daya grid dan daya LSC pada operasi sub-sinkron ditunjukkan pada gambar 4. dan gambar 5. Aliran daya DFIG pada daya 200W dan kecepatan 1200 rpm ditunjukkan pada gambar 6. dan gambar 7.



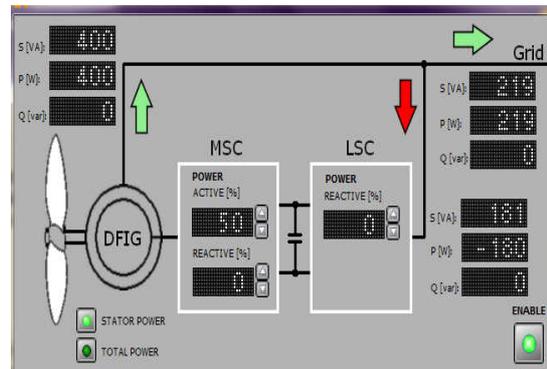
Gambar 4. Grafik hubungan variasi daya DFIG terhadap daya grid dan LSC



Gambar 5. Grafik hubungan antara variasi kecepatan dengan daya DFIG konstan terhadap daya grid dan LSC

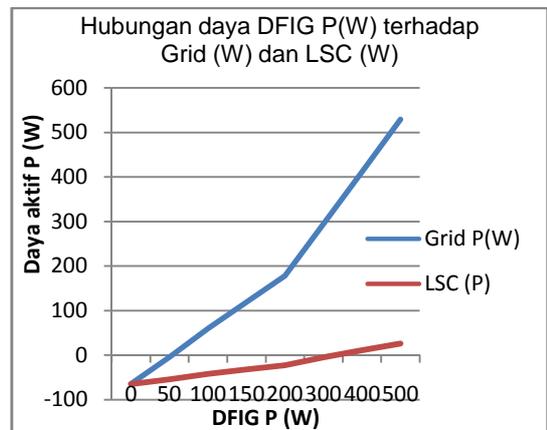


Gambar 6. Aliran daya DFIG pada daya 200W

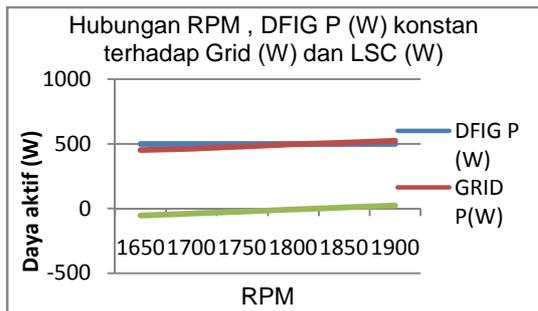


Gambar 7. Aliran daya DFIG pada kecepatan 1200 Rpm

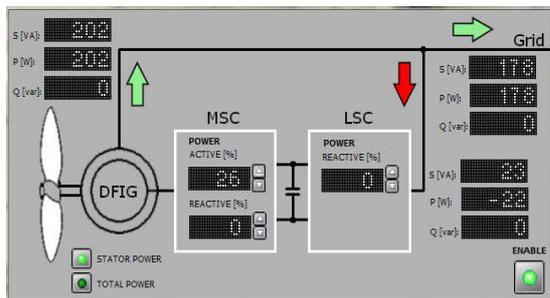
Sedangkan hubungan antara variasi daya DFIG dengan daya grid dan daya LSC dan hubungan antara variasi rpm (daya DFIG konstan) terhadap daya grid dan daya LSC pada operasi super-sinkron ditunjukkan pada gambar 8. dan gambar 9. Aliran daya DFIG pada daya 200W dan kecepatan 1650 rpm ditunjukkan pada gambar10. dan gambar11.



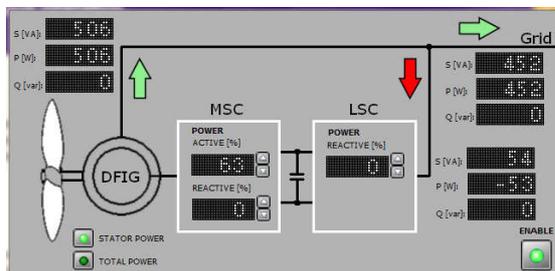
Gambar 8. Grafik hubungan variasi daya DFIG terhadap daya grid dan LSC



Gambar 9. Grafik hubungan variasi kecepatan dengan daya DFIG konstan terhadap daya grid dan LSC



Gambar 10. Aliran daya DFIG dengan daya 200W pada operasi super-sinkron



Gambar 11. Aliran daya DFIG dengan kecepatan 1650 rpm

Kontrol daya DFIG pada kondisi operasi sub-sinkron dan operasi super-sinkron, daya DFIG yang disuplai merupakan penjumlahan daya grid dan daya LSC. Demikian juga, dengan variasi kecepatan (rpm) yang diberikan dan daya DFIG yang konstan, maka penjumlahan daya grid dan daya LSC akan tetap sama dengan daya DFIG. Artinya perubahan kecepatan tidak menyebabkan perbedaan daya DFIG dengan daya grid dan LSC, dengan kata lain bahwa frekuensi tetap konstan 50 Hz.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah:

1. Daya DFIG yang disuplai besarnya sama dengan penjumlahan daya yang diberikan ke grid dan LSC, untuk control daya pada

kondisi operasi sub-sinkron maupun operasi super-sinkron.

2. Variasi kecepatan pada DFIG dengan daya konstan, tidak berpengaruh terhadap daya DFIG. Artinya perubahan kecepatan pada DFIG tidak menyebabkan perubahan frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Singh,Er.P.Tiwari,2014,“Modelling, Simulation and Analysis of Doubly Fed Induction Generator for Wind Turbines”, IJIREICE Vol. 2, Issue 5, India.
- D.Aouzellag, K. Ghedamsi, E. M. Berkou, 2004, “Power Control of a Variable Speed Wind Turbine Driving a DFIG”, Electrical Engineering Department, A.Mira University, Bejaïa, Algeria.
- Dwi Sanjaya,2012,“Perancangan Kendali Daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu DFIG Berbasis KendaliV ektordan PSO, Skripsi, Universitas Indonesia.
- D.SrinivasaRao, T.Ajaykumar, 2012, “Grid Connected DFIG with Efficient Rotor Power Flow Control under Sub & Super Synchronous Modes of Operation”, International Electrical Engineering Journal (IEEJ) Vol. 3 No. 2, pp. 776-783, India.
- M. Pattnaik, 2008, “Study of Double Fed Induction Generator for Variable Speed Wind Energy Conversion Systems”, Special Issue of International Journal of Power System Operation and Energy Management, 2231 – 4407, Volume - 1, Issue-3, India.
- PrimadusiUngu, 2010, “Pengembangan Simulasi dan Uji Kinerja Pengendali PI Sistem Kendali Dayapada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu”, Skripsi, Universitas Indonesia.
- Sidarjanto, M. H. Purnomo, A. Soeprijanto, 2011, “Studi Penggunaan Referensi Daya Listrik Konstan Pada Model Phasor Doubly Fed Induction Generator”, Tesis, ITS Surabaya.
- Zhouxing Hu, 2010, “Development of Laboratory Double Fed Induction Generator for Wind Energy Research”, Electrical Engineering Department, WhicitaState University.