

PENENTUAN UKURAN OPTIMUM KAPASITOR BANK DAN DUMMY LOAD PLTMH DENGAN GENERATOR INDUKSI

Andi Setiawan¹

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember
Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

ABSTRACT

Sebuah teknik penentuan ukuran kapasitor dan dummy load untuk sistem pembangkit listrik tenaga air yang menggunakan mesin induksi sebagai generator dilakukan dengan membuat model komponen dan sistem dalam Matlab dan menyusun skenario pembebanan dan pengaturan parameter sistem agar didapatkan ukuran kapasitor dan dummy load yang optimum sekaligus. Hasil simulasi sudah dapat memberikan informasi tentang ukuran semua ukuran komponen ini dan sekaligus menginformasikan batas daya aktif maksimum yang bisa ditanggung oleh generator. Dalam makalah ini skenario pembebanannya adalah pembebanan resistip murni sehingga belum diselidiki apakah metode ini juga bisa digunakan untuk menentukan ukuran komponen sistem yang didalamnya terdapat beban-beban induktip.

Keywords: Capacitor Bank, PLTMH, Asynchronous Generator

PENDAHULUAN

Dengan kemajuan pola pikir masyarakat dan kesadaran untuk melakukan konservasi energi pemanfaatan pembangkit listrik skala kecil dengan sumber energi terbarukan dari alam menjadi sebuah kecenderungan. Sebagai contoh adalah pembangkit listrik dengan tenaga air berskala kecil.

Fakta yang lain yang berhubungan dengan hal ini adalah kecenderungan pemanfaatan mesin induksi (asinkron) sebagai generator sebagai pasangan dari turbin-turbin dengan skala mikro dan piko. **Error! Reference source not found.** Alasannya jelas sekali karena mesin ini memiliki desain yang kokoh dan relatif tidak memerlukan perawatan dibandingkan dengan mesin sinkron. Alasan lain adalah harganya yang juga jauh lebih murah dibandingkan dengan mesin sinkron magnet permanen yang sangat umum digunakan sebagai pasangan turbin kecil pada era pengembangan dan ketika aplikasinya masih banyak bertujuan untuk riset.

Mesin induksi kebanyakan dirancang secara default untuk diaplikasikan sebagai motor penggerak dan bukan sebagai generator. Untuk mengoperasikannya sebagai generator, mesin induksi perlu dirangkaikan dengan peralatan lain yang berfungsi untuk mencatu daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban. Biasanya hal ini disiasati dengan menambahkan kapasitor bank atau generator ini dioperasikan secara paralel dengan generator lain atau bahkan grid agar daya reaktif yang dibutuhkan beban bisa dicatu dari sumber ini.

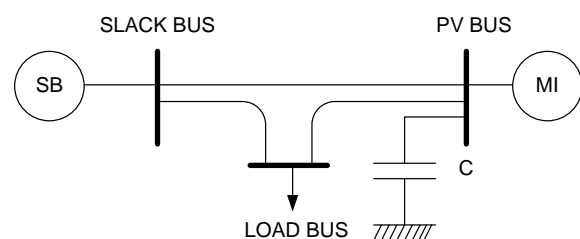
Dalam artikel ini disajikan sebuah metode untuk menentukan besarnya kapasitor yang dibutuhkan pada sebuah pembangkit listrik tenaga air berskala mikro, dan karena berbagai macam pertimbangan desain dan ekonomisnya, pada pembangkit semacam ini lebih dipilih untuk membuang daya lebih dibandingkan

dengan berinvestasi pada peralatan pengendali pada sisi input daya mekanisnya. Kenyataan ini menyebabkan penggunaan beban semu (dummy load) menjadi pilihan pada pembangkit yang tidak dihubungkan dengan grid. Penentuan besar daya dummy load ini juga sekaligus dilakukan bersamaan dengan penentuan besar kapasitor yang diperlukan.

Untuk menyederhanakan pembahasan dan membuat pemodelan ini dapat diverifikasi nantinya, maka semua spesifikasi, lingkungan dan ukuran sistem dibuat dengan berdasar pada sebuah desain sistem kasus yang tipikal. Pemodelan ini didasarkan pada sistem tenaga listrik pikohidro yang merupakan kerjasama antara Universitas Jember dengan Pondok Pesantren Mahfilud Duror

METODOLOGI PENELITIAN

Metode ini secara umum adalah perhitungan aliran daya pada sistem dengan jumlah bus yang sedikit. Sebenarnya bisa saja dibangun dengan dua bus namun pemodelan dengan menggunakan software Matlab akan lebih mudah jika dimodelkan dengan beberapa bus tambahan. Dipilih Matlab sebagai alat bantu analisis karena pada Matlab sudah disediakan model mesin induksi yang dapat disimulasikan sebagai generator induksi dengan memberikan input torsi negatif [10].



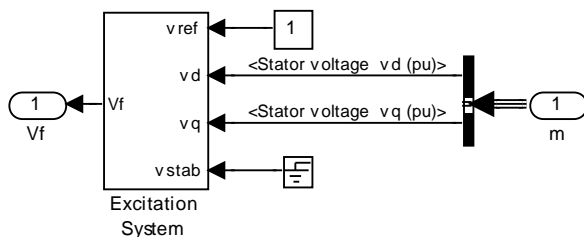
Gambar 1. Model Loadflow untuk Sistem

Gambar 1 menunjukkan model loadflow untuk mewakili metode perhitungan kapasitor dan dummy load yang digunakan.

Pembuatan Model Komponen

Untuk implementasinya dalam software Matlab, slack bus dibangun dengan sebuah bus dengan sebuah generator sinkron yang ukurannya jauh lebih besar dari beban yang ada pada LOAD BUS dan generator yang ada pada PV BUS.

Generator sinkron ini diberi input daya nyata dengan bilangan yang sangat kecil untuk mewakili daya nyata nol. Artinya generator atau slack bus ini tidak akan mencatu daya nyata. Sebaliknya generator pada slack bus ini nantinya akan menyerap semua daya nyata berlebih yang dihasilkan dari generator induksi jika tidak digunakan oleh beban. Jika hal ini terjadi maka pada saat itu generator sinkron atau slack bus mewakili sebuah bus yang akan menyerap semua daya nyata yang tidak diperlukan oleh beban, atau dengan kata lain slack bus ini berfungsi sebagai dummy load.



Gambar 2. Sistem Penguatan Generator Slack Bus

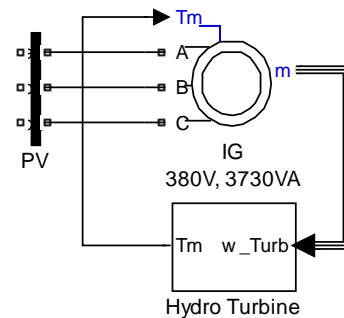
Di samping itu, dengan menempatkan sebuah sistem penguatan generator sinkron seperti dalam Gambar 2[10]di mana terlihat di sana bahwa tegangan pada bus akan berusaha dipertahankan pada nilai 1 p.u, maka yang bisa dilakukan adalah dengan mencatu daya reaktif dan dikarenakan load bus berisi beban-beban resistip dan induktip dan juga mesin induksi pasti bersifat induktip, maka daya reaktif yang dicatu dari slack bus adalah daya reaktif kapasitip. Saat inilah slack bus dan generator sinkron berperan memodelkan kondensator sinkron yang berarti bersifat seperti kapasitor.

Bus tempat generator induksi bersifat seperti PV bus karena pada generator ini ditempatkan prime mover berupa tubin air yang akan menghasilkan daya mekanik relatip tetap dengan asumsi atau setidaknya-tidaknya daya nyata yang akan dihasilkan pada bus ini tidak tergantung pada jumlah beban melainkan tergantung pada kapasitas dari mesin dan daya mekanik turbin.

Dengan membuat model peralatan kendali dengan umpan balik seperti terlihat dalam Gambar 3 akan dimungkinkan untuk menjaga daya nyata generator sekaligus juga menjaga menjaga tegangan pada bus sesuai dengan yang dijadwalkan. Dengan demikian bus generator induksi ini bisa dikatakan berperilaku sebagai PV bus.

Pemodelan generator induksi dalam Gambar 3 didasarkan pada generator sebenarnya yang merupakan

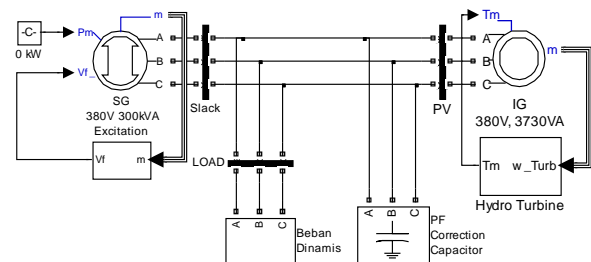
motor induksi tiga fasa dengan kapasitas 5 HP, 220/380V yang dianggap setara dengan generator dengan 3730VA.



Gambar 3. Rangkaian Turbin Generator Model PLTMH

Pemodelan komponen yang terakhir adalah pemodelan beban dinamis yang akan berubah dengan jangkah tertentu sesuai dengan waktu simulasi. Beban-beban ini nantinya yang akan menentukan batas kemampuan beban daya nyata atau daya aktif yang akan mampu dipikul oleh generator dengan nilai kapasitor yang sudah ditentukan lewat perhitungan ini juga.

Pembuatan Model Sistem



Gambar 4. Model Sistem PLTMH

Gambar 4 memperlihatkan model sistem PLTMH berikut sistem pengukuran yang dibuat untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam menentukan ukuran dari kapasitor dan dummy load.

Dari gambar tersebut terlihat adanya komponen tambahan berupa kapasitor dengan nilai yang tetap yang juga dimodelkan sebagai shunt capacitor dalam Gambar 1. Nilai kapasitor ini dibuat cukup kecil karena dan hanya berkontribusi pada perbaikan faktor daya pada sistem yang sebenarnya dan sama sekali tidak bisa diharapkan untuk membuat generator induksi menghasilkan tegangan yang cukup untuk memikul beban.

Dalam model sistem ini nilai kapasitor PF ditetapkan sebagai 200 Var dan nilai beban dinamis dibuat dengan nilai awal 500 watt dan dinaikkan secara bertahap dengan penambahan daya 250 watt.

Dalam simulasi dilakukan pengukuran parameter-parameter jaringan yang harus bernilai sesuai dengan yang sudah ditetapkan untuk memastikan agar sistem berjalan sesuai dengan performa standarnya.

Pengukuran tegangan dilakukan pada PV bus dan slack bus untuk memastikan bahwa tegangan-

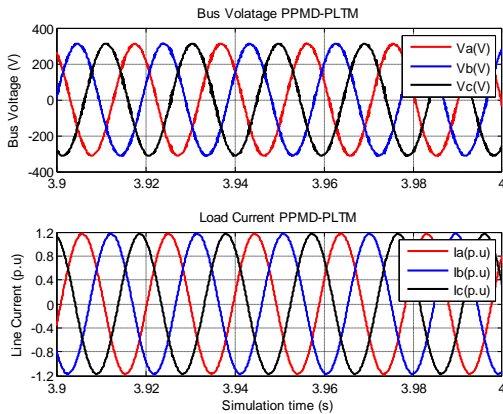
tegangan ini sesuai dengan yang ditetapkan. Nilai tegangan pada kedua bus ini ditetapkan sebagai 1 p.u.

Sedangkan pengukuran frekuensi dilakukan pada bus generator induksi (PV bus) sedangkan pada load bus dan slack bus frekuensi dapat diamati secara visual dengan mengamati bentuk tegangan sinusoida keluaran dari bus-bus tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini disajikan hasil-hasil simulasi dari sistem yang sudah disusun seperti dalam Gambar 4 dan disimulasikan dengan waktu simulasi 4 detik.

Penambahan beban dilakukan setiap 0.5 detik dengan besar penambahan beban daya aktif murni sebesar 250W.



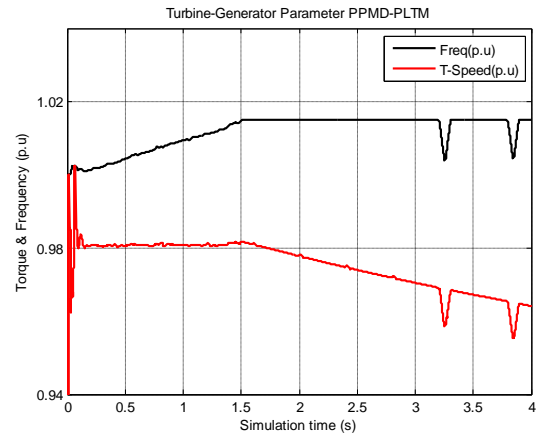
Gambar 5. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada PV Bus

Pengamatan Parameter Jaringan

Gambar 5 menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan arus pada PV bus. Dengan mengamati gambar ini dapat dilihat bahwa frekuensi yang menjadi parameter penting untuk pengoperasian generator dan beban-beban yang lain sudah memenuhi syarat yaitu 50Hz. Sedangkan besaran rms tegangan yang diukur dari fase ke netral adalah $310/\sqrt{2} = 220V$. Hal ini menunjukkan bahwa dalam pengoperasian dengan menggunakan skenario pembebanan ini sistem dapat beroperasi dengan tetap mempertahankan parameter utamanya yaitu tegangan dan frekuensi.

Nilai tegangan dan frekuensi dalam sistem ini sangat dipengaruhi oleh kerja pengaturan putaran dan torsi pada rangkaian turbin generator induksi. Inilah perilaku generator induksi yang tidak bisa mengatur langsung daya reaktif yang dihasilkan sehingga sistem pengaturan yang berhubungan dengan langsung dengan mesin ini hanyalah pengaturan putaran untuk menghasilkan frekuensi di dekat nilai frekuensi sinkron.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara torsi dan frekuensi atau kecepatan putaran generator yang dihasilkan. Dalam gambar ini terlihat bahwa nilai frekuensi dibatasi pada 1.015 p.u dengan kata lain putaran generator dibatasi pada 1.5% di atas putaran sinkron.



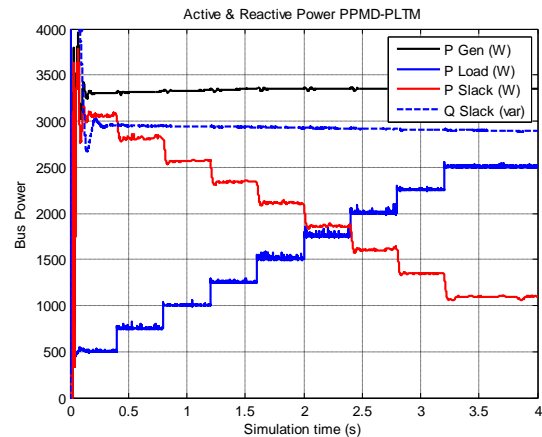
Gambar 6. Kerja Pengaturan Turbin-Generator untuk Mempertahankan Frekuensi.

Penentuan Ukuran Komponen Kapasitor dan Dummy Load

Selanjutnya ditunjukkan hasil simulasi yang menunjukkan hubungan antara daya-daya pada masing-masing komponen pendukung sistem dalam Gambar 7.

Terlihat dalam grafik daya ini bahwa daya yang dihasilkan dari generator induksi (PGen) cenderung tetap. Hal ini sesuai dengan skenario pengaturan yang ada bahwa semua daya mekanik yang dihasilkan dari hydro turbin harus disalurkan ke sumbu putar generator yang terkopel pada turbin ini.

Perubahan daya pada beban yang ditunjukkan dengan grafik Pload berwarna biru dikompensasi dengan pemnyaluran daya pada slack bus yang ditunjukkan dengan grafik Pslack yang berwarna merah.



Gambar 7. Hubungan Daya pada Komponen Sistem.

Ada beberapa hal yang bisa disimpulkan dengan mengamati hasil simulasi yang ditunjukkan dalam Gambar 7. Pertama adalah besaran daya reaktif yang harus disediakan pada sistem untuk menjamin agar sistem selalu dapat menyediakan semua kebutuhan daya reaktif sistem. Besar daya reaktif ini ditunjukkan dengan garis grafik Qslack yang dalam simulasi ini berarti besar daya reaktif yang diberikan oleh generator pada slack bus. Besaran var dari reaktif ini nantinya yang akan digantikan dengan besarnya var kapasitor yang akan diinstal pada sistem.

Besaran nilai ini tentunya juga tergantung pada besar kebutuhan daya reaktif beban-beban yang diinstal pada bus beban. Dalam percobaan ini digunakan beban-beban resistif sehingga semua nilai daya reaktif ini adalah mewakili nilai kapasitor yang diperlukan untuk pembangkitan tegangan generator. Dari grafik Qslack terlihat bahwa besar kapasitor yang diperlukan dengan asumsi bahasa semua beban adalah beban-beban resistif ataupun beban-beban dengan faktor daya yang mendekati unity adalah 3-3.5 kvar.

Selanjutnya, dengan mengamati grafik Pslack yang berwarna merah yang nilainya merupakan selisih dari daya beban terhadap daya generator bisa disimpulkan besaran daya dummy load yang harus disediakan. Ukuran dummy load ditetapkan sebesar 2kW yang merupakan daerah persilangan grafik Pload dan Pslack. Nilai ini sekaligus merupakan nilai batas daya aktif maksimum dari beban yang bisa dipikul oleh sistem.

Dalam simulasi ini sistem masih dapat menanggung beban daya aktif lebih besar dari 2kW karena adanya slack bus yang secara teoritis dapat menyerap dan menarik beban aktif dan reaktif.

Jadi dari simulasi ini dapat ditentukan tiga besaran yaitu; daya reaktif kapasitor, daya aktif dummy load dan batas daya aktif beban.

KESIMPULAN

Penentuan ukuran kapasitor, dummy load dan batas daya beban sistem pembangkit listrik dengan menggunakan mesin induksi sebagai generator telah disimulasikan dan menghasilkan informasi yang dibutuhkan.

Besar kapasitor dalam simulasi ini mendekati besaran kVA yang ditetapkan dari spesifikasi nilai daya mekanik motor induksi (HP). Dalam simulasi ini besar daya reaktif dari kapasitor yang harus disediakan adalah 3-3.5kvar yang mendekati nilai kVA generator yaitu 3730 kVA.

Nilai kapasitor ini harus ditambah jika diasumsikan beban-beban yang akan diinstal adalah beban-beban induktif dan nilai besaran daya induktif ini juga harus dikompensasi dengan besaran kapasitor yang diinstal.

Besaran daya dummy load adalah sebesar nilai daya aktif beban maksimum yang bisa ditanggung oleh generator. Dalam simulasi ini besar daya aktif maksimum beban dan dummy load adalah sebesar 2kW.

Semua besaran komponen yang dihasilkan dengan cara ini akan sesuai dengan kenyataan jika pada implementasinya bisa dibangun sistem turbin-generator yang bisa melakukan pengaturan putaran untuk mempertahankan parameter jaringan dengan tidak mengurangi daya mekanik turbinnya.

SARAN

Dalam simulasi ini penyelidikan hanya dilakukan dengan menggunakan beban-beban resistif dan memerlukan data yang lebih jauh tentang beban untuk dapat melakukan simulasi pembebanan dengan memasukkan nilai reaktif dari beban.

Pengujian yang lebih baik akan dapat dilakukan

dengan melakukan verifikasi pada sistem yang sebenarnya dan mendapatkan karakteristik pengaturan pada turbin-generator sehingga dapat dimodelkan dengan lebih tepat dan pemodelan serta simulasi sistem secara keseluruhan dapat menghasilkan informasi yang lebih sesuai dengan perilaku sistem yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. F. Iov, A. D. Hansen, P. Sørensen, and F. Blaabjerg, "Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink. General Overview and Description of the Model," tech. rep., Aalborg University, 2004
- [2]. G. Raina and O. P. Malik, "Wind Energy Conversion Using A Self-Excited Induction Generator," IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS -102, no. 12, 1983, pp. 3933-3936.
- [3]. K. Subramanian*, K. K. Ray Venkat and S. Aravind, "Experimental Based Capacitance Calculation of Induction Motor: As Wind Power Generator", Chennai and Dr.MGR University Second International Conference on Sustainable Energy and Intelligent System, July 2011
- [4]. K. Subramanian, K. K. Ray, Evaluation of Capacitance Requirements for Constant Voltage Operation of a Self-Excited Induction Generator in Stand Alone Mode, International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.MO.S.), Vol. 4, N. 6, December 2011
- [5]. Malik N. H., Al-Bahrani, A.H., Influence of the terminal capacitor on the performance characteristics of a self-excited induction generator," IEE Proc., Vol.137, pt. C, No.2, 1990, pp 168-173.
- [6]. Marco Araújo, "Circuit Analysis and MATLAB Simulation of Chua Oscillator", International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), Vol.2, n3, 2009, pp 254-258.
- [7]. Murthy, S.S., Singh B.P. et. al., "Studies Of The Conventional Induction Motor As Self-Excited Induction Generators," IEEE Transaction on energy conversion, Vol.3, No.4, 1988, pp 842-848
- [8]. P. Immonen, L. Laurila, and J. Pyrhönen, "Modelling of a Diesel-Electric Parallel Hybrid Drive System in Matlab Simulink", International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), Vol.2, n.5, 2009, pp 565-572.
- [9]. R. C. Bansal, "Three-Phase Self-Excited Induction Generators: Over View," IEEE Transaction On Energy Conversion, vol. 20, No.2, June 2005, pp. 292 - 299.
- [10]. R. Reid, B. Saulnier, R. Gagnon, "Wind-Turbine Asynchronous Generator in Isolated Network", Copyright 1997-2006 The MathWorks, Inc. Published with MATLAB® 7.8"
- [11]. Subramanian Kulanthaivelu, K.K.Ray, P. Jyothi, S. Jayachitra, and V.Narasinga Rao, Experimental Evaluation Of Capacitance Value; To Self-Excite The Induction Motor Operating As Generator in Wind Energy Conversion, IEEE PROCEEDINGS OF ICETECT 2011.
- [12]. T. Ahmed., O. Noro, E. Hiraki and M. Nakaoka, "Terminal Voltage Regulation Characteristics By Static Var Compensator For A Three-Phase Self-Excited Induction Generator," IEEE Trans. Ind. Appl., 2004, 40, (4), pp. 978-988
- [13]. Three Phase Squirrel Cage Induction Motors, ASI.CT.027.6.GB, Marelli Motori Catalogue, 2011.
- [14]. Yogesh K. Chauhan, Sanjay K. Jain, and Bhim Singh, "A Prospective on Voltage Regulation of Self-Excited Induction Generators for Industry Applications," IEEE

Transactions On Industry Applications, Vol. 46, No.2,
2010, pp 720 – 730.
[15]. Yogesh K. Chauhan, Sanjay K. Jain, and Bhim Singh,
“A Prospective on Voltage Regulation of Self-Excited

Induction Generators for Industry Applications,” IEEE
Transactions On Industry Applications, Vol. 46, No.2,
2010, pp 720 – 730.