

Energi terbarukan merupakan salah satu terobosan untuk menggantikan energi fosil yang banyak digunakan dalam pembangkitan energi listrik. Salah satunya pemanfaatan energi angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Indonesia. Pemanfaatan energi angin ini masih belum maksimal dikarenakan kecepatan angin di Indonesia tergolong rendah. Permasalahan ini menyebabkan konversi energi angin ke listrik menggunakan inverter AC-DC-AC kurang maksimal. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah menggunakan *Doubly Fed Induction Generator* (DFIG). *Doubly Fed Induction Generator* sendiri adalah sebuah mesin induksi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan cara mengonversi energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin. Energi mekanik ini lalu diubah menjadi energi listrik menggunakan konverter *back-to-back* sehingga kestabilan frekuensi terjaga dan dapat mengalirkan daya aktif ke jaringan. Untuk mengetahui performa DFIG jika diimplementasikan pada PLTB di Indonesia maka dilakukan sebuah simulasi menggunakan software Matlab – SIMULINK. Pada desain simulasi menggunakan matlab, sistem DFIG didesain dengan komponennya seperti kapasitor DC, filter induksi, konstruksi turbin angin, dan filter RL paralel. Desain ini disimulasikan dengan data dan parameter yang mendekati sistem kelistrikan di Indonesia. Dari simulasi sistem ini didapatkan data seperti arus rotor, arus stator, tegangan rotor, tegangan stator, torsi mesin, frekuensi stator, frekuensi rotor, dan daya stator yang digunakan untuk menganalisis sistem DFIG ini. Setelah dilakukannya analisis dari sistem DFIG yang dibuat, dapat disimpulkan bahwa sistem DFIG dapat digunakan sebagai salah satu solusi karena nilai frekuensi yang dihasilkan konverter sisi jaringan yang akan mengirimkan energi listrik langsung ke konsumen stabil di kisaran 49,8 – 50,2 Hz walaupun kecepatan angin berubah-ubah. Tegangan stator yang terhubung jaringan juga berada di ambang batas +5 sampai -10% tegangan nominal jaringan yang terhubung sesuai ketentuan PLN. Desain sistem DFIG ini telah mencapai tujuan yaitu untuk mengontrol tegangan, arus, dan frekuensi yang dialirkan konsumen.

RINGKASAN EKSEKUTIF

Energi listrik memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Saat ini, mayoritas manusia membutuhkan tenaga listrik untuk mempermudah pekerjaannya baik di bidang industri, pendidikan, ataupun rumah tangga. Hal ini menyebabkan permintaan energi listrik terus meningkat seiring berjalannya waktu sehingga dibutuhkan suplai energi listrik yang baik dan mencukupi secara terus-menerus. Saat ini pembangkit listrik di Indonesia didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap

(PLTU). Bahan bakar utama PLTU adalah batu bara yang merupakan sumber daya tidak dapat diperbaharui. Karena sumber daya ini terbatas sehingga dibutuhkan terobosan untuk menghasilkan energi listrik menggunakan sumber energi baru terbarukan (EBT).

Salah satu EBT yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah energi angin. Namun, kecepatan angin di Indonesia relatif kecil dan tidak stabil. Oleh karena itu, penggunaan inverter dirasa kurang maksimal karena daya yang dibutuhkan besar. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah ini adalah menggunakan *Doubly Fed Induction Generator* (DFIG). DFIG memiliki beberapa kelebihan seperti keseluruhan sistem dapat dikendalikan sepenuhnya, daya yang dibutuhkan relatif kecil, dan nilai frekuensi dapat distabilkan sehingga dapat langsung dialirkan ke jaringan.

DFIG dapat digunakan di negara dengan kecepatan angin yang tidak stabil dan lambat maupun di negara dengan kecepatan angin konstan dan kencang karena biayanya lebih murah daripada inverter, tetapi efisiensi dan keluaran sistem yang dihasilkan tidak jauh berbeda. Selain itu, penggunaan DFIG tidak memerlukan baterai karena energi listrik yang dihasilkan dapat langsung dialirkan ke jaringan. Oleh karena itu, penggunaan DFIG dapat menghemat biaya produksi juga biaya perawatan pembangkit.

Untuk mengetahui bagaimana jika nantinya DFIG ini dipasang pada pembangkit untuk menggantikan inverter, dilakukan sebuah simulasi sistem ini pada perangkat lunak yaitu Matlab. Sistem DFIG ini didesain dari komponen mekanis dan elektronis, lalu dimasukkan parameter yang dibutuhkan agar sistem dapat beroperasi. Setelah semua komponen dapat beroperasi, dimasukkan data PLTB dan kondisi lingkungan yang dapat diperoleh seperti diameter dan tinggi turbin, rating mesin induksi, kecepatan angin, dan densitas udara. Setelah semua disimulasikan, hasil simulasi dari perangkat lunak akan dianalisis untuk mengetahui apakah tujuan awal penggunaan sistem DFIG tercapai atau belum.

Hasil analisis dari simulasi menunjukkan bahwa sistem ini mampu memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan sebelumnya yaitu nilai operasional frekuensi diantara batas 49,5 – 50,5 Hz, tegangan nominal saat beroperasi pada batas -5% sampai -10% tegangan nominal, dan nilai daya yang dihasilkan mampu memenuhi kebutuhan beban jika memungkinkan. Dari hasil simulasi yang dilakukan, nilai frekuensi yang dihasilkan mesin ini pada kisaran 49,8 – 50,2 Hz dan tegangan nominal saat beroperasi sekitar 660 – 690 V. Dengan dicapainya kestabilan frekuensi dan tegangan stator, sistem DFIG yang didesain dapat menjadi solusi untuk beberapa permasalahan PLTB di Indonesia.

Renewable energy is one of the breakthroughs to replace fossil energy which is widely used in generating electrical energy. One of them is the use of wind energy for the Bayu Power Plant (PLTB) in Indonesia. The utilization of wind energy is still not optimal due to the relatively low wind speed in Indonesia. This problem causes the conversion of wind energy to electricity using an AC-DC-AC inverter to be less than optimal. One solution that can be done is to use a Doubly Fed Induction Generator (DFIG). The Doubly Fed Induction Generator itself is an induction machine that is used to generate electrical energy by converting mechanical energy produced by wind turbines. This mechanical energy is then converted into electrical energy using a back-to-back converter so that frequency stability is maintained and can supply active power to the network. To find out the performance of DFIG when implemented in PLTB in Indonesia, a simulation was carried out using Matlab - SIMULINK software. In the simulation design using Matlab, the DFIG system is designed with components such as DC capacitors, induction filters, wind turbine construction, and parallel RL filters. This design is simulated with data and parameters that are close to the electrical system in Indonesia. From this system simulation, data such as rotor current, stator current, rotor voltage, stator voltage, engine torque, stator frequency, rotor frequency, and stator power are obtained which are used to analyze the DFIG system. After analyzing the DFIG system created, it can be concluded that the DFIG system can be used as a solution because the frequency value generated by the network-side converter that will send electrical energy directly to consumers is stable in the range of 49.8 - 50.2 Hz even though the wind speed capricious. The stator voltage connected to the network is also at the threshold of +5 to -10% of the nominal voltage of the connected network according to the provisions of the PLN. The design of the DFIG system has achieved its goal, namely to control the voltage, current, and frequency supplied by consumers.

EXECUTIVE SUMMARY

Electrical energy has an important role in human life. Currently, the majority of people need electricity to facilitate their work in the industrial, educational, or household fields. This causes the demand for electrical energy to continue to increase over time so that it requires a continuous supply of good and sufficient electrical energy. Currently, power plants in Indonesia are dominated by steam power plants (PLTU). The main fuel for the PLTU is coal which is a non-renewable resource. Because these resources are limited, a breakthrough is needed to produce electrical energy using new renewable energy sources (EBT).

One of the EBT that can be used to produce electrical energy is wind energy. However, the wind speed in Indonesia is relatively small and unstable. Therefore, the use of the inverter is not



optimal because the power required is large. One solution that can be done to overcome this problem is to use a Doubly Fed Induction Generator (DFIG). DFIG has several advantages such as the entire system can be controlled completely, the power required is relatively small, and the frequency value can be stabilized so that it can be directly streamed to the network.

DFIG can be used in countries with unstable and slow wind speeds as well as in countries with constant and strong wind speeds because it costs less than an inverter, but the resulting system efficiency and output are not much different. Besides, the use of DFIG does not require batteries because the electrical energy generated can be directly streamed to the network. Therefore, the use of DFIG can save production costs as well as plant maintenance costs.

To find out what if the DFIG will be installed in the generator to replace the inverter, a simulation of this system is carried out in software, namely Matlab. The DFIG system is designed from mechanical and electronic components, then input the parameters required for the system to operate. After all, components are operational, the PLTB data and environmental conditions can be obtained, such as the diameter and height of the turbine, the rating of the induction engine, wind speed, and air density. After all simulated, the simulation results from the software will be analyzed to determine whether the initial goal of using the DFIG system has been achieved or not.

The analysis results from the simulation show that this system can meet the predetermined criteria, namely the operational frequency value between the 49.5 - 50.5 Hz limit, the nominal voltage when operating at the -5% to -10% nominal voltage limit, and the rated power value. the resulting load can meet load requirements if possible. From the simulation results, the frequency value generated by this machine is in the range of 49.8 - 50.2 Hz and the nominal voltage when operating is around 660 - 690 V. By achieving the stability of the frequency and stator voltage, the designed DFIG system can be a solution for several PLTB problems in Indonesia.