

Performa Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Terhubung *Grid* Pada Pembebanan Dinamis

Muslim Nuryogi¹, Subiyanto²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Agustus 2019
Disetujui Oktober 2019
Dipublikasikan Desember 2019

Keywords:

Terhubung *Grid*
PSIM
Pembebanan Dinamis

Abstrak

Produksi listrik dari sumber energi terbarukan seperti energi angin mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir, hal ini dikarenakan cadangan sumber energi konvensional yang semakin berkurang. Energi angin memiliki potensi besar untuk menghasilkan energi listrik dibandingkan dengan jenis sumber energi terbarukan lainnya. Performa Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) terhubung *grid* umumnya belum diinvestigasi lebih jauh pada pembebanan dinamis. Penelitian ini mengetahui performa PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis. Artikel ini menyajikan model simulasi PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis. Komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi model turbin angin, *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG), *Rectifier*, *Boost converter*, *Inverter*, *Load* dan *Grid*. PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis disimulasikan dengan *software Power Simulator* (PSIM). Hasil akhir menunjukkan PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis memiliki performa baik.

Abstract

Electricity production from renewable energy sources such as wind energy has increased in recent years, this is due to a backup of conventional sources of energy are on the wane. Wind energy is one of the renewable energy sources that has great potential to produce electricity compared to other types of renewable energy sources. Performance of Grid-connected wind turbine system generally has not been further investigated on under various dynamic load. In this study, Grid-connected wind turbine system was investigated under various dynamic load. This article presents the model simulation of Grid-connected wind turbine system was investigated under various dynamic load. This system consists of the wind turbine model, Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), Rectifier, Boost converter, Inverter, Load and Grid. The systems are modelled and simulated using Power Simulator (PSIM) software. For all tests, Grid-connected wind turbine system was investigated under various dynamic load have a good performance.

Alamat korespondensi:
Gedung E11 Lantai 2 FT Unnes
Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229
E-mail: edu.elektriKA@mail.unnes.ac.id

© 2019 Universitas Negeri Semarang
ISSN 2252-7095

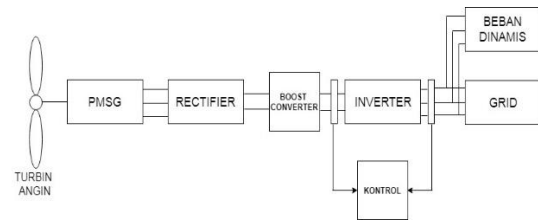
A. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir ini, sistem *smart energy* mulai dikembangkan karena efektif dan efisien dalam mengonversikan sumber energi listrik secara berkelanjutan (Lund *et al.*, 2017). *Smart energy* merupakan bagian dari transformasi revolusi industri manufaktur ke generasi berikutnya, yaitu industri 4.0 (Rubmann *et al.*, 2015). Dasar dari *smart energy* adalah *smart grid*, yang merupakan jaringan listrik cerdas yang dapat mengintegrasikan semua aktivitas pengguna mulai dari pembangkit sampai ke konsumen dengan tujuan agar efisien, berkelanjutan, ekonomis dan memastikan pasokan listrik aman (IEC, 2010; M. A. Islam, 2014; Kakran and Chanana, 2018). Pada sistem *smart grid*, banyak sumber energi yang digunakan seperti matahari, angin, biomassa, gelombang air laut dan lain sebagainya yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik dengan efisiensi besar (Muyeen and Al-Durra, 2013).

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai PLTB yang menghasilkan energi listrik dibandingkan dengan jenis sumber energi terbarukan lainnya (El-Sebaei, 2013; Eltamaly and Farh, 2013; Muyeen and Al-Durra, 2013). Energi angin memiliki biaya instalasi lebih rendah di bandingkan energi surya (Valenciaga *et al.*, 2003; Koutroulis and Kalaitzakis, 2006). Namun, performa PLTB/angin terhubung *grid* umumnya belum diinvestigasi lebih jauh pada pembebanan dinamis. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui performa PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis. Variasi kecepatan angin dan beban dinamis juga diujikan untuk mengetahui performa sistem tersebut. Pemodelan simulasi dilakukan menggunakan *software Power Simulator (PSIM)*. PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis memiliki performa baik.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan PLTB terhubung *grid* yang memiliki komponen utama model turbin angin, *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*, *rectifier*, *boost converter*, *inverter*, *load* dan *grid*. Turbin angin berfungsi mengonversi energi angin menjadi energi mekanik (Amine, Abdelaziz and Najib, 2014). Energi mekanik tersebut digunakan untuk menggerakkan PMSG sehingga menghasilkan arus dan tegangan AC (C.Janani, 2011). Tegangan AC dari PMSG kemudian dikonversikan menjadi tegangan DC menggunakan *rectifier* (C.Janani, 2011; Daniel W.Hart, 2011)]. *Boost converter* berfungsi untuk menaikkan tegangan DC dari *rectifier* (Ned, M.U.Tore and P.R.William, 2003). *Output* tegangan DC dari *boost converter* menjadi *input inverter* yang selanjutnya dikonversikan menjadi tegangan AC 3 *phase* dan dihubungkan dengan beban serta *grid*.



Gambar 1. PLTB Terhubung *Grid* (Rashid, 2011)

Pemodelan Turbin Angin

Daya maksimum yang dapat dibangkitkan turbin angin sebesar 28 kW. Turbin angin tersebut dimodelkan menggunakan modul yang terdapat pada *software PSIM*. Selanjutnya pemodelan turbin angin dilakukan dengan cara memasukkan parameter yang ada pada *datasheet* ke parameter modul turbin angin *PSIM*. Parameter *datasheet* turbin angin ditunjukkan pada tabel 1. (Shah *et al.*, 2015; F Ronilaya, B Setiawan, A A Kusuma, 2018)

Tabel 1. Parameter turbin angin

Parameter	Nilai
Daya rating	28 kW
Radius	1 m
Gear ratio	1:1
Kecepatan rotor p	180 rpm
	1.205 Kg/m ²
Momen inersia	100 m

Pemodelan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

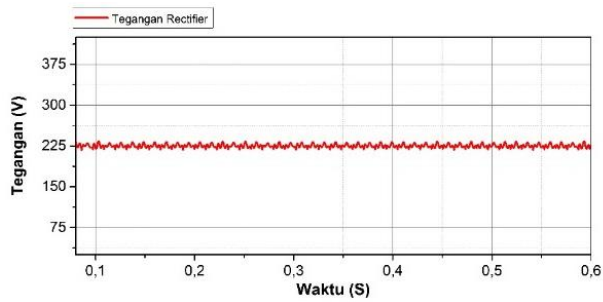
Generator yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*. Tegangan yang dihasilkan PMSG adalah tegangan 3 fasa sebesar 380 V AC. Parameter *datasheet* PMSG dimasukan ke parameter modul PMSG pada *software PSIM*. Parameter *datasheet* PMSG ditunjukkan pada tabel 2 (Shah *et al.*, 2015; F Ronilaya, B Setiawan, A A Kusuma, 2018).

Tabel 2. Parameter PMSG

Parameter	Nilai
Daya Rating	30 kW
Poles	8
Rs	56 mOhm
Ls	1.6 mH
Ld	1.6 mH
Momen inersia	0.02 Kg.m ²

Pemodelan Rectifier

Jenis *rectifier* yang digunakan adalah *rectifier full wave*. *Rectifier* dimodelkan menggunakan modul yang terdapat pada *software PSIM*. Tegangan *output* yang dihasilkan *rectifier* sebesar 225 V DC seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Output Tegangan Rectifier

Pemodelan Boost Converter

Tegangan *output* boost converter pada penelitian ini ditentukan sebesar 750 V. Hal ini dikarenakan *inverter* akan bekerja dengan baik jika tegangan *input* yang berasal dari *boost converter* lebih besar dari 689,4 V (Singh and Ieee, 2012). Nilai tersebut diperoleh berdasarkan persamaan 1:

$$\begin{aligned} V_{DC} &= (2\sqrt{2} \times V_{LL}) / \sqrt{3} m \\ &= (2\sqrt{2} \times 380) / \sqrt{3} \times 0,9 \\ &= 689,4 V_{DC} \end{aligned} \quad (1)$$

Setiap parameter komponen pada *boost converter* dihitung berdasarkan persamaan 2 sampai dengan persamaan 5 yang ditunjukkan pada tabel 3 (Daniel W.Hart, 2011).

Tabel 3. Persamaan *boost converter*

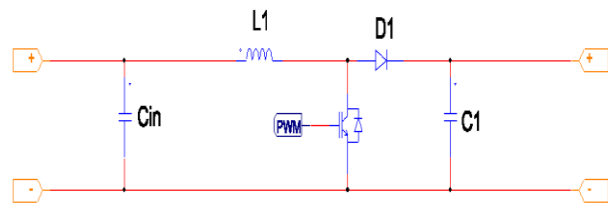
Parameter	Label	Rumus
Duty Cycle	D	$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$ (2)
Induktor	L	$L = \frac{V_{out} \times D}{\Delta I_L \times f_s}$ (3)
Kapasitor	C	$C_0 = \frac{I_{out} \times D}{f_s \times \Delta V_{out}}$ (4)
Kapasitor Input	Cin	$Cin = \frac{D}{\frac{V_{out}}{I_{out}} \times ESR \times f_s}$ (5)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai parameter komponen *boost converter* ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Parameter *boost converter*

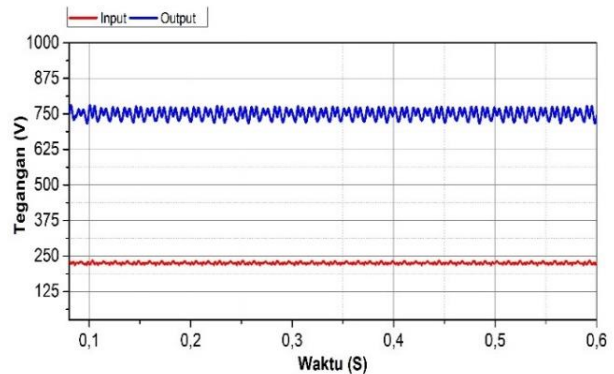
Parameter	Nilai
Input Voltage (Vin)	225 V
Output Voltage (Vout)	750 V
Output Capacitor (Cout)	0,3 mF
Inductor (L)	0,01 mH
Switching Frequence (fs)	15 KHz

Boost converter dimodelkan pada *software* PSIM dan nilai parameter setiap komponennya ditentukan berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4. Hasil pemodelan *boost converter* ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Boost Converter

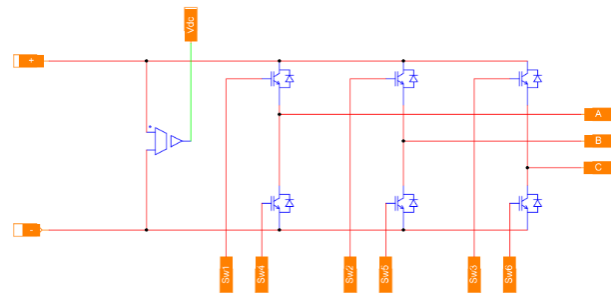
Hasil simulasi *boost converter* ditunjukkan pada gambar 4. *Input* tegangan sebesar 225 V dan *output* tegangan yang di peroleh sebesar 750 V.



Gambar 4. Input dan Output Tegangan Boost Converter

Pemodelan Inverter

Penelitian ini menggunakan *inverter* dengan *voltage source inverter* (VSI) yang pensaklaranya menggunakan *Pulse Witdh Modulation* (PWM). *Inverter* pada penelitian ini menggunakan IGBT, maka digunakan *frequency switching* sebesar 15 kHz. Rangkaian *inverter* tersebut ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Voltage Source Inverter (VSI)

Pembebanan Dinamis

Beban dinamis yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban linear berupa resistor dan induktor. Kedua nilai tersebut dapat diperoleh dengan menentukan terlebih dahulu daya aktif (P) dan faktor daya ($\cos\phi$) untuk menghitung besar daya semu (S) menggunakan persamaan 6.

$$S = \frac{P}{\cos\phi} \quad (6)$$

Nilai daya semu (S) yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung nilai daya reaktif (Q) dengan persamaan 7 dan juga menghitung nilai arus beban (I_L) menggunakan persamaan 8, sebagaimana telah diketahui bahwa tegangan *line to line* (V_{LL}) yang digunakan yakni sebesar 380 V.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (7)$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3}V_{LL}} \quad (8)$$

Arus beban (I_L) dan daya reaktif (Q) yang telah diketahui nilainya digunakan untuk menghitung resistansi beban linear (R) dan juga reaktansi induktif (X_L) masing-masing menggunakan persamaan 9 dan persamaan 10

$$R = \frac{P}{3 \times I_L^2} \quad (9)$$

$$X_L = \frac{Q}{3 \times I_L^2} \quad (10)$$

Besarnya nilai reaktansi induktif (X_L) digunakan untuk menghitung induktansi beban linear menggunakan persamaan 11, yang mana besar ω sama dengan 2π .

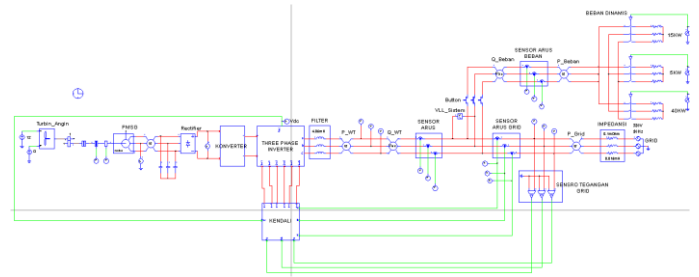
$$L = \frac{X_L}{\omega} \quad (11)$$

Tabel 5. Parameter Pembebanan Dinamis

Beban	R	L
40 kW	3,65 Ohm	0,33 Mh
15 kW	9,10 Ohm	10,20 Mh
5 kW	24,12 Ohm	37,16 Mh

Pemodelan PLTB Terhubung Grid

PLTB terhubung *grid* memiliki komponen utama Turbin angin, *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG), *Rectifier*, *Boost converter*, *Inverter*, *Load* dan *Grid*. Hasil pemodelan PLTB terhubung *Grid* pada Pembebanan Dinamis ditunjukkan pada gambar 7, Sedangkan parameter pengujian di tunjukan pada tabel 6.



Gambar 7. Pemodelan PLTB Terhubung Grid

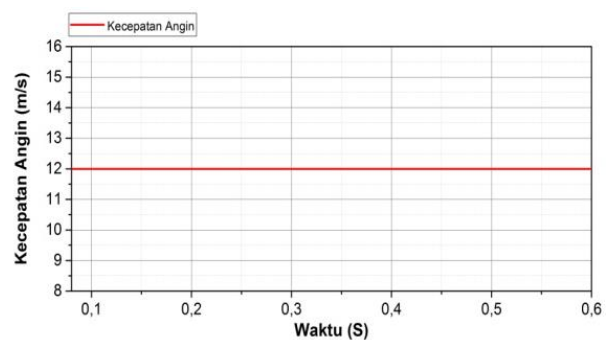
Tabel 6. Parameter Pemodelan PLTB Terhubung Grid

Parameter	Nilai
Time Step	2 μ s
Total Time	0.6 s
Print Time	0,08 s
Print Step	5
Frequency Grid System	50 Hz
Voltage Grid System	380 V
DC Link Voltage	750 V

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

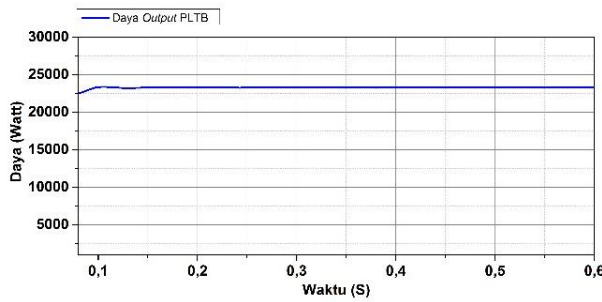
Performa PLTB Terhubung Grid pada *Standard Test Condition* (STC)

Pengujian awal dilakukan untuk memvalidasi kinerja PLTB terhubung *grid*. Sistem diujikan pada kondisi *Standard Test Condition* (STC) dengan kecepatan angin sebesar 12 m/s. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi kecepatan angin yang akan diujikan pada sistem.



Gambar 8. Kecepatan Angin Standard Test Condition

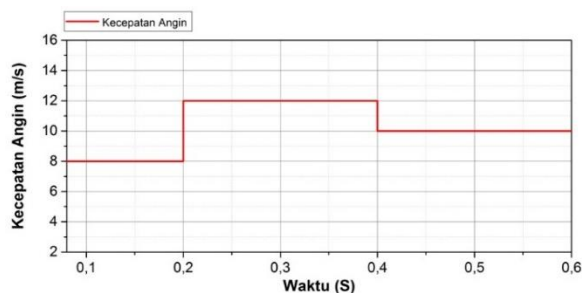
Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 9. Daya yang dihasilkan PLTB terhubung *grid* menghasilkan daya 23,2 kW.



Gambar 9. Aliran Daya PLTB

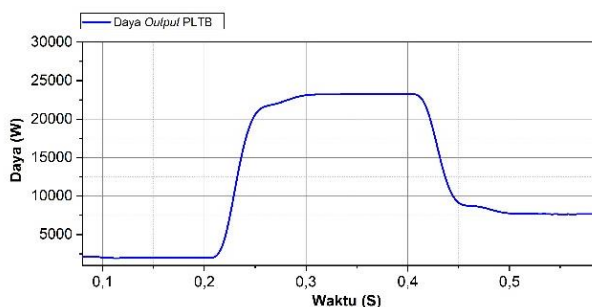
Performa PLTB Terhubung Grid pada Variasi Kecepatan Angin

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan PLTB dalam daya keluaran pada saat terjadi perubahan kecepatan angin. Gambar 10 menunjukkan profil kecepatan angin yang digunakan untuk mengetahui performa PLTB terhubung *grid*. Awalnya, turbin angin menerima kecepatan angin sebesar 8 m/s. Pada waktu 0.2 detik hingga 0.4 detik kecepatan angin yang diterima turbin angin naik menjadi 12 m/s. Kecepatan angin turun menjadi 10 m/s pada waktu 0.4 detik dan kondisi ini bertahan hingga 0.6 detik.



Gambar 10. Variasi Kecepatan Angin 8 m/s, 12 m/s dan 10 m/s

Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 11. Pada saat angin berada pada kecepatan 8 m/s, PLTB menghasilkan daya sebesar 2,1 kW. Kemudian saat kecepatan 12 m/s sistem menghasilkan daya sebesar 23,3 kW. Selanjutnya saat kecepatan angin turun menjadi 10 m/s menghasilkan daya sebesar 7,6 kW. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PLTB dapat bekerja baik diberbagai kondisi kecepatan angin.

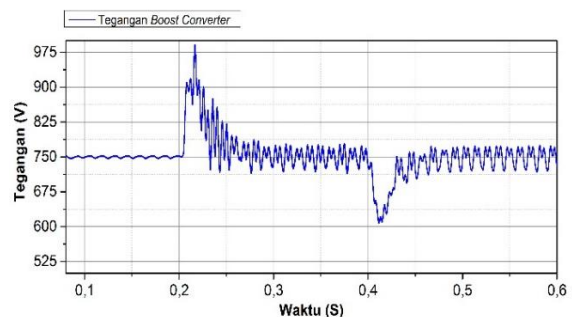


Gambar 11. Aliran Daya PLTB Diberbagai Kondisi Kecepatan Angin

Pengujian Tegangan Output Boost Converter Pada Variasi Kecepatan Angin

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas tegangan yang dihasilkan oleh *boost converter* pada variasi kecepatan angin. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan kecepatan angin sebesar 8 m/s, 12 m/s dan 10 m/s seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Pada saat angin berada di kecepatan 8 m/s kemudian naik menjadi 12 m/s (waktu 0.2 detik hingga 0.4 detik), PLTB terhubung *grid* mampu menyesuaikan kembali pada tegangan kerja.

Selanjutnya pada saat kecepatan angin turun dari 12 m/s menjadi 10 m/s (waktu 0.4 detik hingga 0.6 detik), *boost converter* pada PLTB terhubung *grid* juga cepat menyesuaikan ke tegangan kerja sebesar 750 V seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa PLTB terhubung *grid* mampu menghasilkan kualitas tegangan yang dihasilkan *boost converter* apabila terjadi perubahan kecepatan angin.



Gambar 12. Tegangan Kerja Boost Converter Pada Variasi Kecepatan Angin

Efisiensi PLTB Terhubung Grid

Efisiensi PLTB terhubung *grid* dihitung untuk memastikan bahwa penggunaan bahwa PLTB terhubung *grid* memiliki efisiensi 83,07%. Efisiensi PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Efisiensi PLTB Terhubung Grid pada pembebanan dinamis

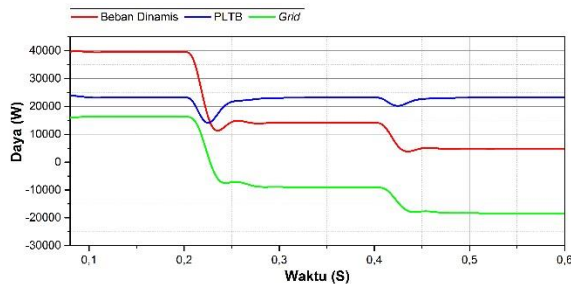
Daya Rating	Daya Keluaran	Efisiensi
28 kW	23,3 kW	83,07 %

Aliran Daya PLTB Terhubung Grid Pada Beban Dinamis

PLTB terhubung *grid* diujikan pada beban dinamis dan memastikan bahwa daya yang dihasilkan turbin mampu menyuplai beban maupun *grid*. Aliran daya dianalisis pada kondisi transien seperti yang ditunjukkan pada gambar 13. Beban awal yang diberikan sebesar 40 kW dan bertahan hingga waktu 0.2 detik. Beban kemudian turun menjadi 15 kW pada waktu 0.2 sampai 0.4 detik. Sedangkan pada waktu 0,4

sampai 0,6 detik beban turun kembali menjadi sebesar 5 kW.

Pada saat beban sebesar 40 kW, PLTB memasok daya sebesar 26,5 kW dan kekurangannya yang sebesar 14,5 kW dipasok dari *grid*. Kemudian pada saat beban turun menjadi 15 kW, PLTB memasok beban sebesar 15 kW dan sisanya sebesar 11,5 kW disuplai ke *grid*. Selanjutnya pada saat beban turun menjadi 5 kW, turbin angin memasok daya ke *grid* sebesar 21,5 kW. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa PLTB bekerja dan terhubung dengan *grid*.



Gambar 13. Aliran Daya PLTB Terhubung *Grid* Pada Pembebanan Dinamis

D. SIMPULAN

Penelitian ini memodelkan dan mensimulasikan PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis pada *software Power Simulator* (PSIM) dengan rating daya sebesar 28 kW. Hasil pengujian menunjukkan PLTB terhubung *grid* pada pembebanan dinamis memiliki performa baik. Dibuktikan bahwa ketika PLTB terhubung *grid* di uji pada beban dinamis, daya maksimum yang dihasilkan sistem lebih besar dibanding beban yang disuplai, kelebihan dari daya dapat disalurkan ke *grid*. Akan tetapi, ketika beban lebih besar dibanding daya yang dihasilkan PLTB maka *grid* akan mengatasi kekurangan daya tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada UNNES ELECTRICAL ENGINEERING STUDENTS RESEARCH GRUP (UEESRG) Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Pusat Unggulan IPTEK Universitas Negeri Semarang yang selalu memberikan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amine, H. M., Abdelaziz, H. and Najib, E. (2014) 'Wind turbine maximum power point tracking using FLC tuned with GA', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 62, pp. 364–373.
- C.Janani, K. R. (2011) 'Modeling and performance analysis of a small scale direct driven PMSG based wind energy conversion systems', 1(1), pp. 8–20.
- Daniel W.Hart (2011) *Power Electronics*. Elsevier

B.V,pp.761.

- El-Sebaai, A. M. (2013) 'A Sensorless MPPT Technique For A Grid-Connected PMSG Wind Turbine System', 6.
- Eltamaly, A. M. and Farh, H. M. (2013) 'Maximum power extraction from wind energy system based on fuzzy logic control', *Electric Power Systems Research*. Elsevier B.V., 97, pp. 144–150.
- F Ronilaya, B Setiawan, A A Kusuma, I. M. and D. M. Y. (2018) 'Design Maximum Power Point Tracking of Wind Energy Conversion Systems Using P & O and IC Methods Design Maximum Power Point Tracking of Wind Energy Conversion Systems Using P & O and IC Methods'.
- IEC (2010) 'IEC Smart Grid Standardization Roadmap', *IEC Report*, (June), pp. 1–136.
- Kakran, S. and Chanana, S. (2018) 'Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(December 2016), pp. 524–535.
- Koutroulis, E. and Kalaitzakis, K. (2006) 'Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications', 486 *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 53(2), pp. 486–494.
- Lund, H., Henrik, Østergaard, Poul Alberg Connolly, David Mathiesen, Brian Vad (2017) 'Smart energy and smart energy systems', *Energy*, 137, pp. 556–565.
- M. A. Islam, M. M. A. Islam, M. Hasanuzzaman, N. A. Rahim, A. Nahar, and M.Hosenuzzaman (2014) 'Global Renewable Energy-Based Electricity Generation and Smart Grid System for Energy Security Global Renewable Energy-Based Electricity Generation and Smart Grid System for Energy Security', *The Scientific World Journal*. Hindawi Publishing Corporation, (August).
- Muyeen, S. M. and Al-Durra, A. (2013) 'Modeling and control strategies of fuzzy logic controlled inverter system for grid interconnected variable speed wind generator', *IEEE Systems Journal*, 7(4), pp. 817–824.
- Ned, M., M.U.Tore and P.R.William (2003) 'Power Electronics: converters, applications, and design/Ned'. simultaneously in canada, pp. 596 – 626.
- Rashid, M. H. (2011) *ELECTRONICS*. Edited by M. H. Rashid. Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, UK.
- Michael Rüßmann, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, and Michael Harnisch (2015) 'Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries'.
- Shah, K. (2015) 'Maximum Power Point Tracking Methods for Wind and Solar Conversion

- Systems for Standalone Generation PSIM based Perturb and Observe Method', (April), pp. 46–54.
- Singh, B. and Ieee, F. (2012) 'Power Balance Theory Based Control of Grid Interfaced Solar Photovoltaic Power Generating System with Improved Power Quality'.
- Valenciaga, F. (2003) 'Power Control of a Solar / Wind Generation System Without Wind Measurement: A Passivity / Sliding Mode Approach', 18(4), pp. 501–507.