

Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Energi Angin dan Surya Melalui Sistem *Battery Charging Switching*

Agus Suprajitno¹, Sukarno Budi Utomo², dan Dedi Nugroho³
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya Kaligawe km.04, Semarang 50112
e-mail : suprajitno@unissula.ac.id

Abstrak -- Penggunaan energi surya sebagai sumber energi listrik dewasa ini menunjukkan perkembangan yang signifikan baik digunakan untuk kebutuhan rumah tangga maupun sektor lainnya, hal ini dikarenakan diperoleh secara gratis, dan dapat dipasang disembarang tempat, asalkan panel surya mendapatkan sinar matahari secara langsung, namun kelemahan paling utama yaitu produksi daya listriknya hanya pada siang hari saja, yang sebagian disimpan dalam batere dan sebagian digunakan saat itu, sehingga perlu penghematan pada malam hari. Berdasarkan alasan tersebut maka dilakukan penggabungan antara panel surya dan pembangkit listrik lainnya. Sistem gabungan dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH). Salah satu jenis PLTH yang diteliti adalah hybrid PV-Bayu . Energi angin/bayu tersedia secara melimpah, namun kendalanya kecepatannya yang tidak menentu, sehingga kurang menjamin ketersediaan energi listrik secara kontinyu. PLTH PV-Bayu memiliki karakter yang berbeda, maka diperlukan metode yang mampu mengatur produksi daya listrik yang maksimal. Dalam riset ini akan ditunjukkan pada sistem pengisian batere melalui metode switching untuk memaksimalkan perolehan daya listrik baik dari panel surya maupun turbin angin. Adapun hasil yang diperoleh sebelum metode penggabungan dari panel surya 47,734 Watt, dan turbin angin 27,240 Watt dan sesudah penggabungan menghasilkan daya listrik sebesar 56,581 Watt, hal ini menunjukkan bahwa metode *switching* bisa menghasilkan daya yang optimal.

Kata kunci : panel surya, turbin angin, tenaga hybrid, PLTH

Abstract -- *The use of solar energy as a source of electrical energy today shows a significant development both for household needs and other sectors, this is because it is obtained free of charge, and can be installed anywhere, as long as the solar panels get direct sunlight, but the main weakness is electricity production is only during the day, some of which is stored in the battery and part of it is used at that time, so it needs to be saved at night. Based on these reasons, a combination of solar panels and other power plants is carried out. The combined system is known as a hybrid power plant (PLTH). One type of PLTH being studied is hybrid PV-Bayu. Bayu/wind energy is available in abundance, but the obstacle is that the speed is erratic, so it does not guarantee the continuous availability of electrical energy. PV-Bayu PLTH has a different character, then we need a method that is able to regulate the production of maximum electrical power. In this research, it will be aimed at the battery charging sistem through the switching method to maximize the acquisition of electrical power from both solar panels and wind turbines. The results obtained before the incorporation method of 47,734 Watt solar panels, and a wind turbine of 27.240 Watt and after combining it produces an electric power of 56.581 Watt, this shows that the switching method can produce optimal power.*

Keywords: solar panels, wind turbines, hybrid power, PLTH

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini banyak riset yang ditujukan untuk menggali potensi dan unjuk kerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) , hal ini disebabkan adanya kesadaran masyarakat dan dukungan pemerintah untuk memanfaatkan energi terbarukan (renewable energi). yang ramah lingkungan sebagai sumber energi listrik. Istilah PLTH ini muncul disebabkan adanya penggabungan atau integrasi antara pembangkit listrik konvensional dan pembangkit listrik tenaga energi terbarukan.

Namun demikian istilah PLTH juga sering dikenakan pada penggabungan dua atau lebih pembangkit listrik energi terbarukan yang berbeda jenis, misalnya penggabungan energi surya, energi angin, energi biomassa, biogas, hidro dan sebagainya. Gagasan penggabungan ini disebabkan beberapa sumber energi memiliki keterbatasan produksi yang disebabkan oleh batasan-batasan tertentu, misalnya energi surya yang hanya mampu memproduksi energi listrik kurang dari 12 jam dan dipengaruhi oleh perubahan intensitas matahari, energi angin yang dipengaruhi oleh perubahan

kecepatan angin, energi hidro yang dipengaruhi oleh keadaan musim, dan sebagainya. Akibatnya dengan hanya mengandalkan satu jenis yang beroperasi secara *standalone* maka penyediaan daya ke beban listrik menjadi terbatas. Oleh sebab itu diperlukan adanya penggabungan untuk meningkatkan produktivitas energi listrik dan menjamin ketersediaan energi listrik secara kontinyu.

Mempertimbangkan aplikasi energi terbarukan sebagai pembangkit listrik, maka penggabungan energi surya dan energi angin sangat menarik untuk diteliti dan dikembangkan lebih lanjut, karena kedua jenis pembangkit ini dengan mudah tersedia secara alami dimana saja, sehingga dapat dibangun disembarang tempat. Gabungan kedua jenis pembangkit berbeda ini sering disebut juga sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH).

Permasalahan utama dalam penggabungan kedua pembangkit ini adalah masalah pengaturan daya ke batere dan beban listrik, mengingat kecepatan angin yang variabel akan menyebabkan tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin menjadi tidak konstan atau naik - turun, sehingga dapat menimbulkan masalah saat proses pengisian batere. Begitu pula pada saat intensitas matahari terlalu rendah dapat menimbulkan tegangan keluaran panel surya mengalami drop tegangan yang akan mempengaruhi proses pengisian batere.

Penggabungan beberapa jenis pembangkit listrik baik antara pembangkit listrik konvensional dengan pembangkit listrik dengan energi terbarukan atau penggabungan antara pembangkit listrik dengan energi terbarukan berbeda jenis mampu memberikan sejumlah keuntungan seperti meningkatkan produksi energi listrik dengan penambahan biaya produksi yang rendah, menjamin ketersediaan energi listrik, meningkatkan keandalan sistem, dan sebagainya. Sejumlah riset ditujukan untuk menentukan konfigurasi pada sistem pembangkit hybrid agar produksi energi listrik optimal dengan biaya operasional rendah seperti energi surya dengan energi angin [1], energi surya, biomassa dan diesel [2], diesel dan sel surya [3], energi biomassa, sel surya, energi angin dan sistem grid [4].

Disamping kajian secara ekonomi, beberapa riset ditujukan pula dalam mendesaian rancangan sistem pembangkit listrik yang andal dan mampu memenuhi kebutuhan beban. Beberapa konsep desain seperti penggabungan sel surya, turbin angin dan diesel melalui sistem bus AC dan DC melalui sistem koneksi dua arah (bidirectional) yang mampu memberikan kebutuhan daya AC maupun DC [5], sistem tenaga hybrid sel surya dan turbin angin dengan sistem pengarah otomatis panel surya untuk meningkatkan produksi energi listrik [6]. Beberapa pemodelan sistem digunakan untuk mengetahui unjuk kerja sistem pembangkit hybrid seperti hybrid turbin angin, diesel dan storage flywheel. [7], turbin angin dan hidro [8], fuel cell dan batere [9, 10].

II STUDI PUSTAKA

Daya Angin

Daya angin merupakan daya yang masuk ke area sapuan rotor, yang mana daya tersebut bergantung pada luas sapuan

bilah rotor dan kecepatan angin. Daya yang masuk ke luas sapuan turbin dinyatakan dalam persamaan :

$$P_w = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (1)$$

Daya tersebut tidak seluruhnya dapat dikonversikan menjadi energi mekanik, karena dipengaruhi oleh koefisien daya C_p yang nilainya secara signifikan bergantung kepada *tip speed ratio (TSR)* dan *blade pitch angle*.

Daya mekanik yang dihasilkan oleh PLTB adalah sebagai berikut [11]:

$$P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \pi \rho AV^2 \quad (2)$$

$$P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \pi \rho R^2 V^3 \quad (3)$$

Dengan :

ρ = kerapatan udara (kg/m^3)

V = kecepatan angin (m/detik)

A = luas sapuan rotor turbin (m^2)

R = radius rotor (m)

C_p = koefisien daya turbin

λ = rasio kecepatan tip

β = blade pitch angle (derajat)

TSR adalah perbandingan antara kecepatan angular ujung blade ω_m (rad/detik) dengan kecepatan angin V (meter/detik).

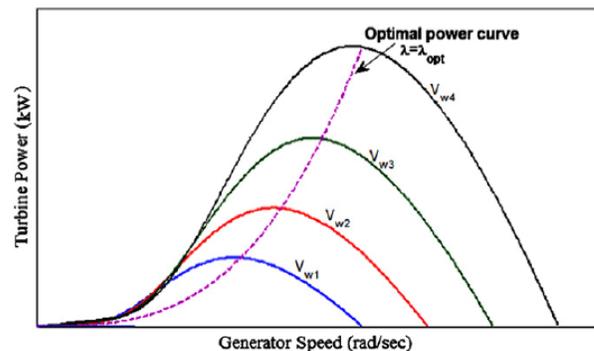
$$\lambda = \frac{\omega_m R}{V} \quad (4)$$

$$V = \frac{\omega_m R}{\lambda} \quad (5)$$

Jika disubsitusikan pers.(5) ke pers.(3) maka diperoleh :

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^5 \frac{\omega_m^3}{\lambda^3} C_p \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan tersebut terlihat jelas bahwa daya mekanik turbin tergantung kepada kecepatan angin dan kecepatan angular blade. Karena poros turbin dikopel dengan generator maka daya mekanik turbin berhubungan pula dengan kecepatan putaran generator. Hubungan karakteristik antara daya mekanik turbin, kecepatan angin dan generator dilukiskan dalam Gambar 1.



Gambar 1. karakteristik kecepatan generator vs daya turbi

Berdasarkan grafik diatas jika rasio kecepatan tip optimal $\lambda = \lambda_{opt}$ maka koefisien turbin angin $C_p = C_{pmax}$ dengan demikian daya optimal diperoleh :

$$P_{m(opt)} = \frac{1}{2} \rho \pi R^5 \frac{\omega_m^3}{\lambda_{opt}^3} C_{pmax} = K_{p(opt)} \omega_m^3 \quad (7)$$

Torsi maksimum adalah :

$$T_{m(opt)} = \frac{1}{2} \rho \pi R^5 \frac{\omega_m^2}{\lambda_{opt}^2} C_{pmax} = K_{p(opt)} \omega_m^2 \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan diatas maka terlihat bahwa daya optimal turbin diperoleh saat nilai rasio kecepatan optimal yaitu λ_{opt} . Keadaan ini memungkinkan jika dilakukan pengendalian kecepatan perputaran turbin sehingga dapat bekerja pada kecepatan optimalnya.

Koefisien daya C_p merupakan fungsi dari TSR dan pitch angle dan dapat dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut :

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-c_5/\lambda_i} + c_6 \lambda \quad (9)$$

Dengan

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08 \beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \quad (10)$$

λ = Tip Speed Ratio

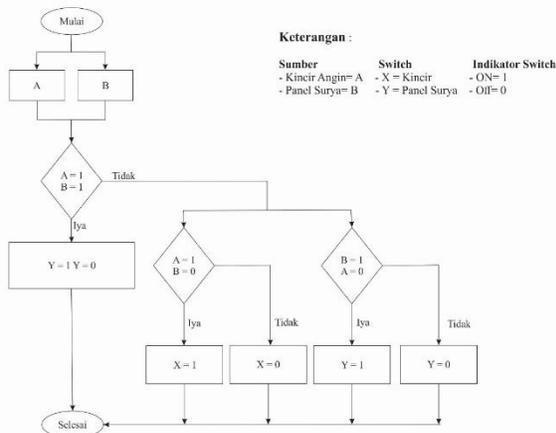
β = pitch angle

$C_1 - C_6$ = koefisien empiris

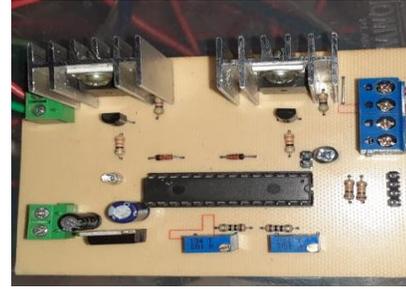
$C_1 = 0,5176, C_2 = 116, C_3 = 0,4$ dan $C_4 = 5, C_5 = 21, C_6 = 0,0068$

Switching

Pada metode *switching* ini digunakan untuk menggabungkan panel surya dan turbin angin untuk mendapatkan daya yang optimal. *Switching* sendiri terdiri dari beberapa saklar yang dirancang sebagai penggabungan tegangan dari output panel surya dan turbin angin. Algoritma metode *switching* diperlihatkan dalam diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. blok diagram kinerja switching

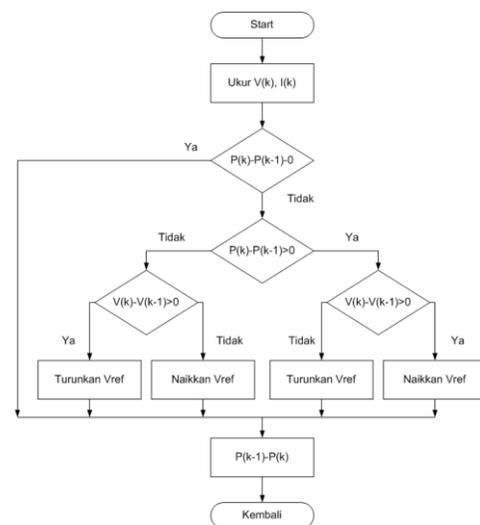


Gambar 3. Sistem Switching

Saklar yang digunakan untuk menggabungkan panel surya adalah mosfet untuk menyalurkan dua sumber tegangan yang berbeda. *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* atau biasa disebut mosfet perangkat semionduktor yang secara luas di gunakan sebagai *switch* dan sebagai penguat sinyal pada perangkat elektronik. mosfet adalah inti dari sebuah IC (*integrated Circuit*) yang di desain dan di fabrikasi dengan single chip karena ukurannya yang sangat kecil. Mosfet memiliki empat gerbang terminal antara lain adalah *Source (S), Gate (G), Drain (D)* dan *Body(B)*[12].

Maximum Power Point Tracker (MPPT)

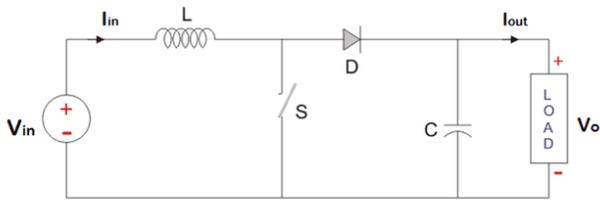
Untuk mengoptimalkan daya pembangkit listrik tenaga angin digunakan teknologi MPPT yang pada intinya berupa algoritma untuk melacak titik maksimum daya yang akan digunakan untuk pengendalian turbin angin. Ada beberapa metode yang dapat diterapkan pada MPPT, salah satu paling umum adalah dengan metode *Perturb and Observation (P&O)* karena metode ini sederhana. Algoritma metode P&O diperlihatkan dalam diagram alir pada Gambar 4 [13]. Skema sederhana dari desain PLTB terdiri atas turbin air, PMSG (generator sinkron magnet permanen), rectifier, MPPT, buck boost converter, batere dan beban listrik.



Gambar 4. flowchart Algoritma P and O

Boost Converter

Boost converter merupakan perangkat converter yang digunakan untuk pengisian daya listrik ke baterai, yang mana perangkat ini dikendalikan dengan MPPT. Pada dasarnya rangkaian elektronika daya ini yang berfungsi untuk mengubah daya listrik arus searah tegangan rendah menjadi daya listrik arus searah tegangan tinggi. *Boost converter* digunakan untuk mengatur tegangan yang masuk ke baterai agar tidak mengalami kerusakan saat tegangan dari generator turbin angin berubah-ubah akibat perubahan kecepatan angin. Komponen boost converter biasanya berupa MOSFET yang berperan sebagai switching berkecepatan tinggi. Pengaktifan Mosfet dilakukan dengan membangkitkan PWM yang diumpankan ke MOSFET. Pengaturan tegangan dilakukan dengan mengatur nilai *duty cycle* PWM yang diumpankan ke MOSFET.



Gambar 5. Rangkaian Boost Converter

Tegangan keluaran *boost converter* adalah :

$$V_o = V_{in} \frac{1}{1-D} \tag{11}$$

Dengan D = duty cycle

Untuk menghitung nilai induktor :

$$L = \frac{V_{in}(V_o - V_{in})}{\Delta I f_c V_o} \tag{12}$$

Dengan : f_c = frekuensi chopping

ΔI = ripple arus

Biasanya arus rippe adala 20% - 40% arus nominal dengan demikian nilai pendekatannya :

$$\Delta I = (0,2 - 0,4) I_{o(max)} \frac{V_o}{V_{in}} \tag{13}$$

Nilai capasitor ditentukan dengan :

$$C = \frac{I_{o(max)} D}{f_c \Delta V_o} \tag{14}$$

Dengan :

ΔV_o = ripple tegangan keluaran

Rangkaian PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memiliki komponen-komponen utama berupa panel surya, controller, baterai dan inverter. Untuk meningkatkan tegangan ataupun arus keluaran , maka PLTS dapat terdiri dari sejumlah panel-panel surya yang tersusun secara seri ataupun paralel membentuk array panel surya. Panel surya mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang disimpan dalam baterai.

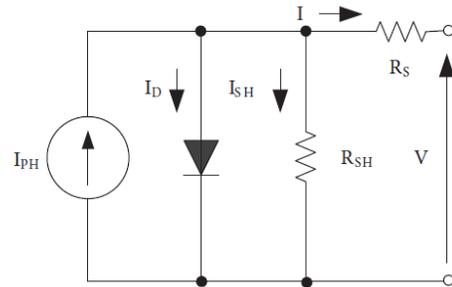
Mengingat tegangan keluaran panel surya bergantung pada intensitas matahari dan temperatur, maka tegangan keluaran panel selalu berubah-ubah, oleh sebab itu untuk menjaga agar baterai tidak cepat rusak maka digunakan kontroler yang akan mengatur tegangan masuk ke baterai. Beban listrik umumnya berupa tegangan arus bolak balik, oleh sebab itu tegangan dari baterai diubah terlebih dahulu menjadi tegangan arus bolak balik melalui inverter sebelum energi listrik ini digunakan oleh beban-beban listrik. Skema sederhana rangkaian PLTS diperlihatkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian PLTS

Rangkaian Ekuivalen Sel Surya

Sel surya dapat direpresentasikan dengan sebuah model rangkaian listrik ekuivalen yang terdiri atas sumber arus penyinaran (*photo current*), diode, tahanan seri dan parallel seperti diperlihatkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. rangkaian ekuivalen sel surya

Arus penyinaran merupakan arus yang dihasilkan akibat penyinaran matahari secara langsung pada sel surya, dimana arus ini berubah secara linier dengan besarnya radiasi matahari pada sel surya dan bergantung juga pada besarnya temperatur sel surya. Berdasarkan rangkaian ekuivalen diatas

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH} \tag{15}$$

Dengan :

I = arus keluaran panel surya (A)

I_{PH} = arus penyinaran (A)

I_D = arus dioda (A)

I_{SH} = arus shunt (A)

Persamaan diatas dapat dijabarkan pula menjadi :

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_o \left(\exp \frac{q(V + I R_s)}{N_s n k T_c} - 1 \right) - \frac{(V + I R_s)}{R_{sh}} \tag{16}$$

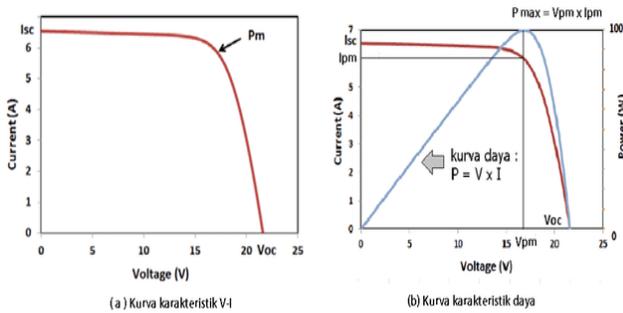
Dengan :

- N_p = Jumlah sel surya disusun paralel
- N_s = Jumlah sel surya disusun seri
- I_o = arus saturasi sel surya (dark saturation current)
- q = muatan electron ($1,6 \times 10^{-19}C$)
- V = Tegangan keluaran panel surya
- I = Arus keluaran panel surya
- R_s = Tahanan seri
- R_{sh} = Tahanan paralel
- n = factor ideal (1 – 2)
- k = konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-32} J/K$)
- T_c = Temperatur kerja sel surya

Karakteristik Sel Surya

Karakteristik sel surya menunjukkan hubungan antara tegangan dan arus keluaran panel sel surya. Jika terminal keluaran panel surya tidak dihubungkan ke batere atau ke beban listrik (*open circuit*), maka tidak ada arus mengalir keluar dari panel surya, tegangan yang terukur disisi terminal panel surya merupakan tegangan open circuit (V_{oc}), Sebaliknya jika terminal panel surya dihubung singkat maka arus hubung singkat akan mengalir. Gambar karakteristik V-I ini diperlihatkan dalam Gambar 8(a). Apabila setiap nilai arus dan tegangan yang memotong kurva karakteristik ini dikalikan dan diplot dalam grafik tersebut akan diperoleh kurva daya dengan nilai maksimum didapat saat nilai arus I_{pm} dan tegangan V_{pm} yang masing-masing merupakan titik arus dan titik tegangan maksimum yang akan menghasilkan daya maksimum.

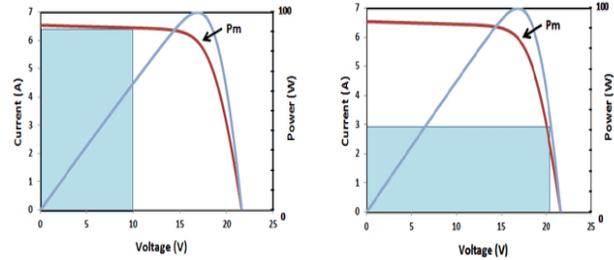
$$P_{max} = V_{pm} \cdot I_{pm} \tag{17}$$



Gambar 8. Karakteristik kurva V-I dan kurva daya panel surya

Gambar 8(b) memperlihatkan kurva daya pada panel surya, yang memperlihatkan adanya titik daya maksimum yang dapat diperoleh dari panel surya.

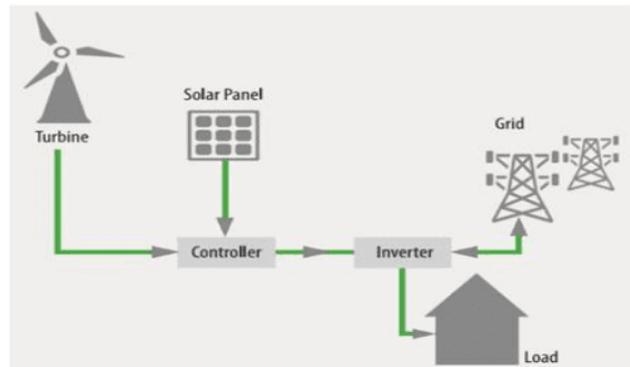
Jika tegangan terminal panel surya lebih kecil atau lebih besar dari nilai V_{max} akan menghasilkan daya yang tidak maksimal sehingga sistem pembangkit ini kurang optimal. Gambar 9 memperlihatkan daerah luas segi empat yang tidak maksimal.



Gambar 9. grafik daerah kurva daya yang tidak mencapai nilai maksimum

III METODE

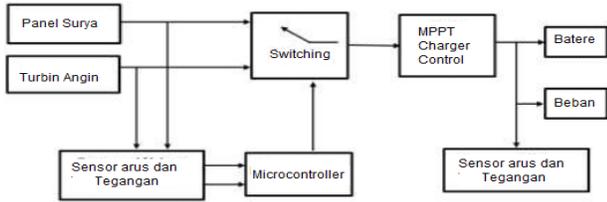
Pembangkit listrik tenaga hybrid panel surya dan turbin angin pada dasarnya menggabungkan kedua jenis pembangkit tersebut yang dikendalikan sedemikian rupa sehingga dihasilkan perolehan daya listrik yang optimal. Model penelitian dapat dilihat pada Gambar 10 yang memperlihatkan komponen-komponen dan koneksinya untuk sistem pengontrolan switching PLTH yang diusulkan dalam riset ini.



Gambar 10. Sistem PLTH panel surya dan turbin angin

Pada riset ini, topologi sistem lebih ditujukan pada sistem pengisian batere melalui switching yang dikontrol melalui mikrokontroller berdasarkan data yang diperoleh dari sensor arus dan tegangan yang dipasang pada sisi keluaran panel surya dan turbin angin. Jika tegangan yang dihasilkan baik melalui turbin angin maupun panel surya melebihi tegangan sistem batere, maka rangkaian switch akan menutup sehingga terjadi proses pengisian batere, sebaliknya jika tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin ataupun panel surya lebih kecil dibandingkan dengan tegangan sistem batere, maka saklar akan membuka. Sebagai contoh misalkan tegangan keluaran turbin angin lebih rendah dibandingkan tegangan batere, sedangkan panel surya memiliki tegangan lebih tinggi dari batere, maka hanya panel surya yang akan mengisi batere, begitu pula sebaliknya. Namun jika kedua-duanya memiliki tegangan lebih besar dari batere, maka kedua pembangkit listrik tersebut akan mengisi batere. Berdasarkan hal tersebut maka perolehan daya listrik menjadi optimal. Gambar 11

memperlihatkan desain dari sistem control PLTH panel surya dan turbin angin yang akan diteliti dan dianalisa.



Gambar 11. Diagram blok sistem pengaturan pengisian batere PLTH

III HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan berupa pengukuran keluaran panel surya dan turbin angin yang telah dilakukan pukul 09:00 – 16:00, pada solar sel 100 WP dan turbin angin 300 W selama tiga hari berturut-turut seperti pada Gambar 13.

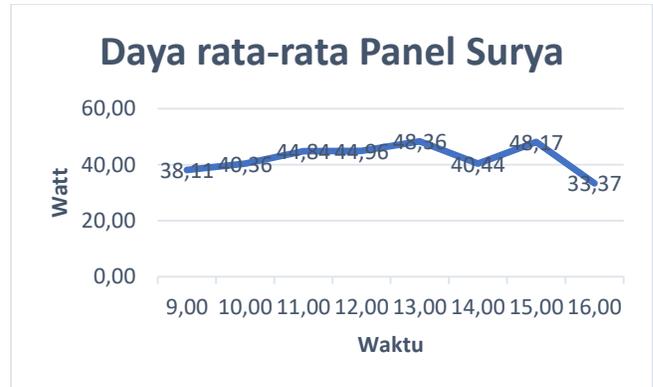


Gambar 12. Penggabungan panel surya dan turbin angin

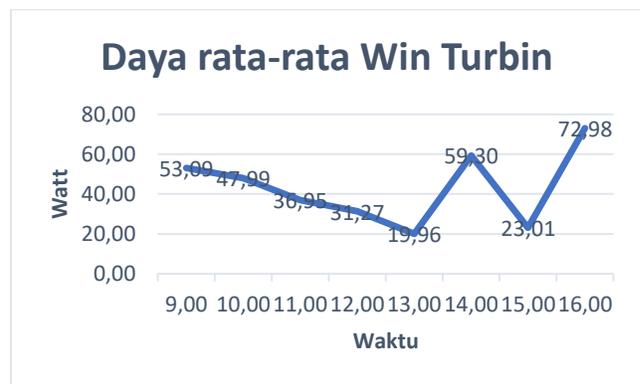


Gambar 13. Pengukuran pada PLTH

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang telah dilakukan maka diperoleh nilai daya rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 14. Daya rata-rata panel surya selama tiga hari pengukuran



Gambar 15. Daya rata-rata win turbin selama tiga hari pengukuran

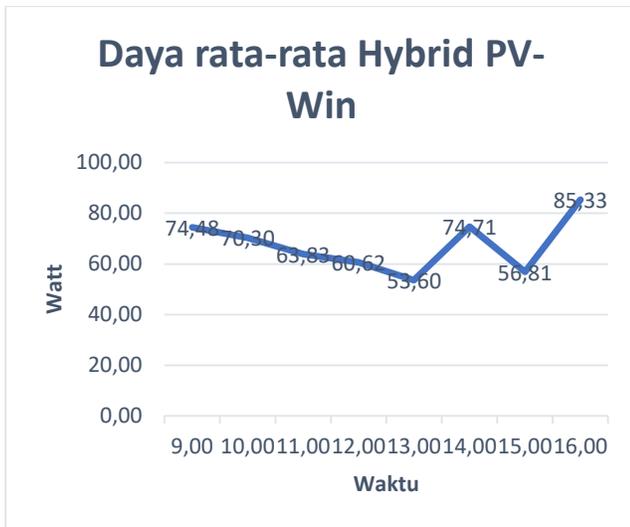
Pada dua gambar grafik diatas menunjukkan nilai daya rata-rata selama tiga hari dimana kedua pembangkit listrik antara panel surya dan turbin angin mempunyai nilai daya yang berbeda. Hal ini ditunjukkan pada jam 09.00 WIB pada panel surya menghasilkan daya rata-rata sekitar 38,11 watt sedangkan turbin angin 53,09 watt.

Dari kedua Gambar grafik tersebut (Gambar 14 dan Gambar 15) didapatkan daya rata-rata dari kedua pembangkit listrik yaitu untuk panel surya sebesar 42,33 Watt dan turbin angin sebesar 43,07 Watt.

Hybrid PV-Bayu

Untuk hasil pengamatan berupa pengukuran hybrid pada panel surya dan turbin angin yang telah dilakukan pukul 09:00 – 16:00 dengan memanfaatkan dua sumber energi matahari dan energi angin yang bertujuan agar mendapatkan dua sumber energi yang optimal.

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang telah dilakukan maka diperoleh nilai daya rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Daya rata-rata Hybrid PV-Win selama tiga hari

Pada grafik diatas menunjukkan nilai daya rata-rata selama tiga hari , daya yang dihasilkan dari penggabungan panel surya dan turbin angin dengan sistem *switching* memiliki daya rata – rata sebesar 67,46 watt.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisa dan beberapa pengujian pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa daya sebelum penggabungan dua pembangkit listrik antara panel surya dengan turbin angin, panel surya menghasilkan daya rata – rata 42,33 watt dan turbin angin menghasilkan daya rata – rata 43,07 watt. Sedangkan daya yang dihasilkan dari penggabungan panel surya dan turbin angin dengan sistem *switching* memiliki daya rata –rata sebesar 67,46 watt.

REFERENSI

[1] B. Winardi and A. Nugroho, "EVALUASI DAN OPTIMASI SISTEM OFF GRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA

HYBRID (PLTH) BAYU BARU, BANTUL, DI YOGYAKARTA," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 557-564, 2015.

[2] L. Sinaga, H. Hermawan, and A. Nugroho, "OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA TENAGA SURYA, ANGIN, BIOMASSA, DAN DIESEL DI PULAU NYAMUK KARIMUNJAWA JAWA TENGAH DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK HOMER," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 4, pp. 1029-1037, 2016.

[3] D. Dedisukma, W. Sunanda, and R. F. Gusa, "Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Diesel Generator dan Photovoltaic Array Menggunakan Perangkat Lunak Homer (Studi Kasus di Pulau Semujur Kabupaten Bangka Tengah)," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 2, no. 2, pp. 10-17, 2015.

[4] R. Sahu, B. Das, R. Sabat, and M. Swain, "Hybrid Power Model of Renewable Energy Sources For On Grid Power Supply," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 2, no. 11, pp. 5466-5473, 2013.

[5] S. Saodah and R. Amalia, "PERANCANGAN PEMBANGKIT HYBRID ANGIN-SURYA DI DESA PARANGTRITIS YOGYAKARTA," *JURNAL TEKNIK ENERGI*, vol. 3, no. 2, pp. 243-249, 2013.

[6] D. Hidayanti and G. Dewangga, "Rancang bangun pembangkit hybrid tenaga angin dan surya dengan penggerak otomatis pada panel surya," *Eksergi*, vol. 15, no. 3, pp. 93-101, 2020.

[7] S. Younsi, M. Jraidi, N. Hamrouni, and A. Cherif, "Modelling and control of hybrid renewable energy system connected to AC grid," *International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 3, no. 12, p. 3854, 2011.

[8] X.-J. Huang and N.-S. Bao, "Modeling and simulation analysis of wind-hydro hybrid power plant," in *2nd Annual International Conference on Energy, Environmental & Sustainable Ecosystem Development (EESSED 2016)*, Huang, 2016, vol. 8, pp. 169-179.

[9] L. Balestra and I. Schjøllberg, "Modelling and simulation of a zero-emission hybrid power plant for a domestic ferry," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 18, pp. 10924-10938, 2021.

[10] L. O. Aghenta and M. T. Iqbal, "Design and dynamic modelling of a hybrid power system for a house in Nigeria," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2019, 2019.

[11] E. Hau and H. von Renouard, "The wind resource," *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, pp. 451-483, 2006.

[12] A. D. Pathak, "MOSFET/IGBT drivers theory and applications," *Application Note AN002*, 2001.

[13] D. Ranny, G. Herri, and R. S. Sri, "Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)," *ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 21-31, 2017.