

Pembangkit Listrik Hybrid Solar Cell dan Turbin Angin di Pantai Tamban Kabupaten Malang

¹Aris Ansori *, ²I Wayan Susila, ³Indra Herlamba Siregar, ⁴Subuh Isnur Haryuda

^{1,2,3} Teknik Mesin, Universitas Negeri Suarabaya, Indonesia.

⁴ Teknik Elektro, Universitas Negeri Suarabaya, Indonesia.

¹arisansori@unesa.ac.id, ²wayansusila@unesa.ac.id, ³indrasiregar@unesa.ac.id, ⁴subuhisnur@unesa.ac.id

Abstrak

Permasalahan masyarakat di pesisir pantai di kabupaten malang adalah energi listrik. Suplai energi listrik PLN yang kurang menjadi masalah untuk kebutuhan listrik sehari-hari masyarakat pesisir pantai untuk penerangan. Potensi intensitas matahari yang rata-rata perhari 600-1000 W/m², potensi energi angin dengan kecepatan rata-rata 2-6 m/s dapat dimanfaatkan untuk sumber energi pembangkit listrik energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemanfaatan energi matahari dan energi angin di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang untuk dikonversi energi listrik. Penelitian ini menggunakan turbin angin sumbu vertikal darrieus-H NACA 0018 modifikasi untuk menggerakkan generator AC 300 watt 3 fase dan modul solar cell 1000 WP monokristal. Hasil dari penelitian model pembangkit listrik solar cell-turbin angin menghasilkan daya listrik solar cell 1,98 KW per hari dan pembangkit listrik turbin angin rata-rata menghasilkan 33,2-33,5 watt. Performa tertinggi terdapat pada beban 100 Watt dengan efisiensi sebesar 64,72%. Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada beban 25 Watt dengan efisiensi sebesar 63,68%, sehingga model pembangkit listrik hybrid solar cell-turbin angin memiliki efektifitas dan efisien yang baik untuk diterapkan di daerah pesisir pantai.

Kata kunci: Potensi, energi matahari, energi angin, pesisir pantai

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan sebagai sumber energi dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) sebesar 23 persen dari total energi bauran (energi mix) pada tahun 2025 dan 31 persen pada tahun 2050. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyebutkan bahwa saat ini persentase energi baru dan terbarukan dari total produksi energi primer masih berkisar pada level dibawah 5 persen. Pemanfaatan energi matahari dan angin yang merupakan energi dengan jumlah berlimpah, ramah lingkungan [1]. Karenanya, energi matahari dan angin sebagai sumber energi alternatif semakin banyak digunakan dalam berbagai aplikasi kebutuhan energi sehari-hari.

Pemanfaatan energi terbarukan energi matahari dan energi angin dipesisir pantai potensial untuk sumber pembangkit listrik di pesisir pantai. Energi sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. Suplai energi solar cell dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 3 x 10 joule pertahun, energi ini setara dengan 2 x 10¹⁷ Watt. Sedangkan potensi kecepatan angin sebesar 2-6 m/det (siang hari) dan 5-7 m/det (sore-malam hari) dapat

Abstract

The problem of people on the coast in Malang is electricity. PLN's electrical energy supply is less a problem for the daily electricity needs of coastal communities for lighting. The intensity of solar intensity is 600-1000 W /m², wind energy potential with an average speed of 2-6 m / s can be used for renewable energy power plants. This study aims to analyze the utilization of solar energy and wind energy on the coast of Tamban Malang Regency to convert electricity. This study used a modified vertical axis wind turbine darrieus-H NACA 0018 to drive a 3 phase AC 300 watt generator and 1000 monocrystal WP solar cell module. The results of research on solar cell-wind turbine power generation plants produce 1.98 KW of solar cell electricity per day and wind turbine power plants generate an average of 33.2-33.5 watts. The highest performance is in the 100 Watt load with an efficiency of 64.72%. While the lowest efficiency is in the 25 Watt load with an efficiency of 63.68%, so the model of hybrid solar cell-wind turbine power plant has good effectiveness and efficiency to be applied in coastal areas.

Keywords: Potential, solar energy, wind energy, electricity, coastline

dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin angin. Penggunaan sel fotovoltaik (PV) untuk mengubah sinar matahari menjadi arus listrik menggunakan efek fotovoltaik [2]. Sel fotovoltaik (PV), adalah perangkat yang dibuat dari bahan yang menunjukkan efek fotovoltaik yang terdiri sejumlah sel membentuk modul fotovoltaik yang dapat menghasilkan listrik pada tegangan arus searah, sedangkan arus yang dihasilkan secara langsung dipengaruhi jumlah cahaya yang mengenai modul [3].

Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang λ dan frekuensi photon ν dirumuskan dengan persamaan:

$$E = h.c/\lambda \quad (1)$$

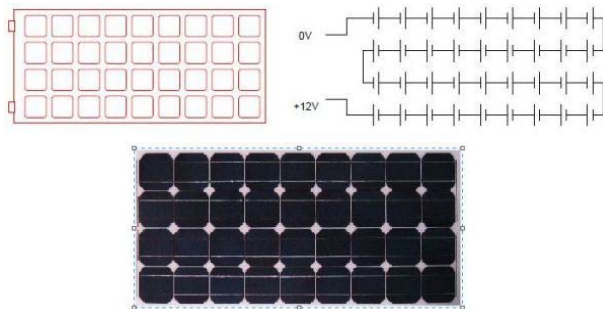
Dengan :h adalah konstanta Plancks (6.62 x 10⁻³⁴ J.s)

c adalah kecepatan cahaya dalam vakum (3.00 x 10⁸ m/s).

Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu.

A. Parameter Kinerja Sel Solar cell

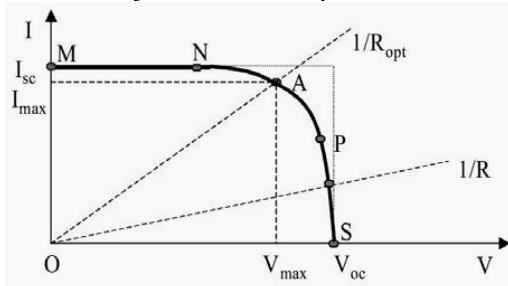
Sel *solar cell* komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel *solar cell* disusun secara seri membentuk modul *solar cell*. Satu modul *solar cell* biasanya terdiri dari 28-36 sel *solar cell*.



Gambar 1 Modul *solar cell* terdiri dari 28-36 sel

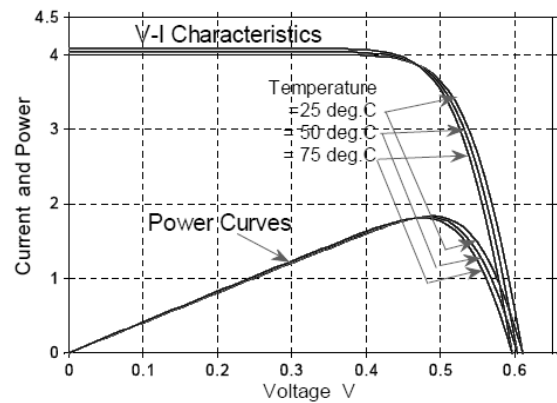
Performa sel *solar cell* dilihat dari daya output listrik yang dihasilkan. Daya listrik yang dihasilkan sel *solar cell* ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel *solar cell* tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama.

Kondisi saat sel *solar cell* dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum pada titik. Daya maksimum ini terjadi saat I_{sc} dan V pada saat maksimum.



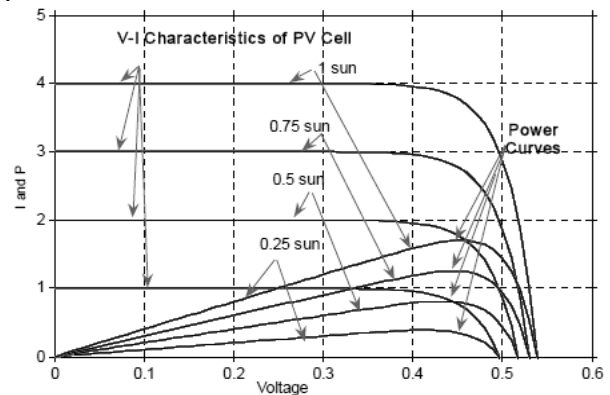
Gambar 2. Karakteristik kurva I-V *solar cell*

Performa *solar cell* selain intensitas cahaya matahari, kemiringan sudut *solar cell* juga dipengaruhi oleh temperatur permukaan *solar cell*, kenaikan temperatur permukaan *solar cell* dapat menurunkan performa *solar cell*.



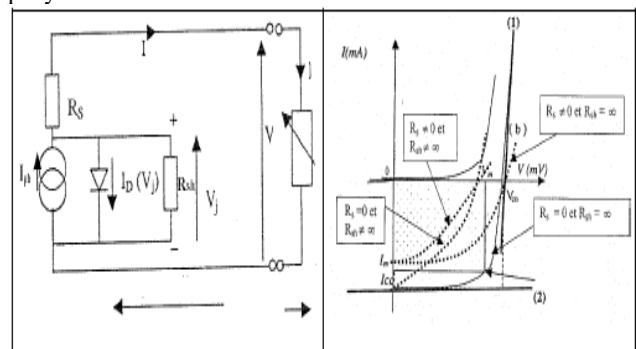
Gambar 3. Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan temperatur

Perubahan iradiasi pada permukaan sel *solar cell* mempengaruhi kinerja *solar cell*, hal ini terlihat pada penurunan arus listrik dan tegangan *solar cell* pada saat terjadi penurunan cahaya matahari yang mengenai permukaan sel *solar cell*.



Gambar 4. Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan iradiasi

Skema ekivalen sebuah *solar cell* menggambarkan karakteristik tegangan-arus keadaan gelap dan keadaan penyinaran



Gambar 5. Karakteristik tegangan-arus keadaan gelap dan penyinaran *solar cell*

Karakteristik arus - tegangan (I - V) sambungan P-N dapat diturunkan sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (2)$$

Arus diode I_d merupakan jumlahan dari arus mayoritas I_D dan arus generasi-rekombinasi I_R .

$$I_d = I_D + I_R = I_{0D} \left(\exp \frac{qV_s}{k_B T} - 1 \right) + I_{0R} \left(\exp \frac{qV_s}{2k_B T} - 1 \right) \quad (3)$$

V_a adalah tegangan terpasang, k_B konstanta Boltzmann, dan T adalah suhu mutlak dalam Kelvin, dengan demikian persamaan arus listrik adalah sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV + R_s I}{nk_B T} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (4)$$

I_0 adalah arus jenuh diode.

Untuk menyederhanakan perhitungan parameter *solar cell* ideal, tahanan seri R_s diambil nol dan tahanan paralel R_{sh} adalah tak berhingga, sehingga diperoleh persamaan karakteristik I-V:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nk_B T} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

n menyatakan ketidakidealan diode ($n=1$ untuk diode ideal). Untuk rangkaian terbuka ($I=0$), maka diperoleh V_{oc} yang besarnya dapat dinyatakan dengan rumus;

$$V_{oc} = n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \approx n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (6)$$

Efisiensi konversi (η) adalah perbandingan antara daya listrik maksimum dan daya matahari yang datang mengenai permukaan solar cell, dengan factor bentuk FF (*fill factor*) yang berkaitan dengan keidealan diode memungkinkan dapat dinyatakan efisiensi dengan parameter optimal I_{cc} dan V_{co} . I_{cc} adalah arus ketika rangkaian terhubung pendek ($V=0$). Sedangkan tegangan rangkaian terbuka V_{co} ($I=0$) menggambarkan mekanisme rekombinasi dalam *solar cell*. Faktor bentuk FF dapat dinyatakan dalam persamaan

$$FF = FI \left(1 - \frac{V_{co}}{R_{sh} I_{cc}} - \frac{I_{cc} R_s}{V_{co}} - \frac{R_s}{R_{sh}} \right) \quad (7)$$

Selanjutnya dapat dinyatakan hubungan antara faktor idealitas diode (FI), V_{co} dan n dalam bentuk persamaan;

$$FI = \frac{I_m V_m}{I_{cc} V_{co}} = \frac{V_m \left(I_{cc} - I_0 \left(\exp \frac{qV_m}{nk_B T} - 1 \right) \right)}{V_{co} I_0 \left(\exp \frac{qV_{co}}{nk_B T} - 1 \right)} \quad (8)$$

Jika $z_o = qV_{co}/nk_B T$ dan $z_m = qV_m/nk_B T$, FI dapat dinyatakan :

$$FI = \frac{z_m}{z_o} \frac{\exp z_o - \exp z_m}{\exp z_o - 1} \quad (10)$$

A. Parameter Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal

Energi angin merupakan energi terbarukan yang dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 2 m/s hingga 6 m/s, sedangkan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan sebuah turbin angin. Turbin angin merupakan devais yang dapat merubah energi angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator listrik. Keuntungan menggunakan turbin angin adalah tidak mengeluarkan gas-gas sisa pembakaran seperti karbon monoksida (CO) yang menimbulkan polusi lingkungan. Salah satu model turbin angin yang dapat digunakan adalah turbin sumbu vertikal dengan konstruksi sumbu rotasinya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dibandingkan efisiensi turbin, turbin angin sumbu horisontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibandingkan turbin angin sumbu vertikal. Tetapi turbin angin sumbu vertikal juga memiliki keunggulan, yaitu; tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin, tidak membutuhkan struktur menara yang besar, konstruksi turbin sederhana, dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah [5]. Kinerja turbin vertical axis wind (VAWT) skala prototipe untuk mengevaluasi kinerjanya dengan beberapa parameter geometris yang dimodifikasi dengan terowongan angin 40 cm x 40 cm perubahan sudut pitch sangat berpengaruh pada daya keluaran turbin angin karena berkaitan dengan kinerja aerodinamika rotor turbin angin. Dengan mengatur sudut pitch pada kondisi optimal maka akan didapat daya yang maksimal [6].

Prinsip konversi energi angin yang digunakan untuk menghitung besarnya energi kinetik yang dihasilkan. Energi angin dilihat dari energi kecepatan aliran angin, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan energi kinetik (E_k).

$$E_k = \frac{1}{2} m u_0^2 \quad (11)$$

dimana : m = massa angin yang mengalir (kg)

u_0 = kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik angin inilah yang diekstrak sudu turbin angin untuk diubah menjadi energi mekanis. Dilihat dari pemodelan Betz', kecepatan angin u_0 dan kerapatan ρ dengan luas sapuan rotor turbin A_1 , daya angin yang dapat diekstrak turbin angin adalah:

$$P_T = \frac{1}{2} C_p A_1 \rho u_0^3 \quad (12)$$

Daya Turbin, adalah laju energi yang dapat diserap oleh turbin dari angin yang merupakan hasil perhitungan dari variabel yang diukur seperti beban, ketinggian dan waktu. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut

$$P_T = T \cdot \omega \quad (13)$$

dimana: P_T = daya (watt)

T = Torsi pengereman (N.m)

ω = Putaran turbin (rps)

Daya Angin, adalah laju potensi energi yang tersedia oleh angin yang besarnya merupakan hasil pengukuran kecepatan angin dan data spesifik dari bilah yang mengikuti persamaan berikut :

$$P_A = 0,5 \rho U_A^3 S \quad (14)$$

dimana: ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

U_A = kecepatan angin (m/det)

S = Span Area (m^2)

Effisiensi turbin (C_p) adalah perbandingan daya yang dapat diserap turbin dengan daya angin yang mengikuti persamaan berikut :

$$C_p = \frac{P_T}{P_A} \quad (15)$$

Tip speed Ratio (λ) adalah perbandingan kecepatan bilah turbin dengan kecepatan angin di formulasikan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega R}{U_A} \quad (16)$$

Dimana, ω = Kecepatan putar turbin (rpm)

R = Panjang lengan pemegang bilah (m)

Kerapatan turbin (σ) adalah perbandingan luasan bilah turbin dengan luasan sapuan turbin yang di

formulasikan sebagai berikut : $\sigma = \frac{N \cdot c}{D}$

(17)

dimana: N = Jumlah bilah

c = Panjang chord (m)

D = Diameter lengan pemegang bilah

1. Tip Speed Ratio (λ)

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor.

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \quad (18)$$

2. Daya Listrik Yang Dapat Dibangkitkan (P_e)

Daya listrik yang dapat dihasilkan oleh turbin diperoleh melalui persamaan berikut :

$$P_e = \eta_g \eta_T \frac{1}{2} C_{p, \max} \rho A_2 v_1^3 \quad (19)$$

C. Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid Energi Terbarukan

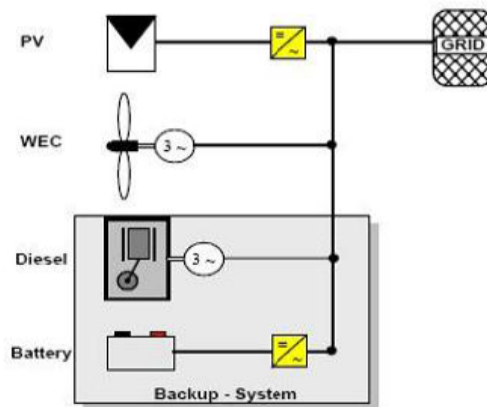
Integrasi sumber energi angin dan solar cell untuk pembangkit listrik sangat penting untuk mereduksi pencemaran lingkungan yang disebabkan polutan CO [7]. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) dipesisir pantai dengan memadukan beberapa sumber energi baru dan terbarukan, seperti; energi angin dan energi matahari



Gambar 6. Model pembangkit listrik hibrid

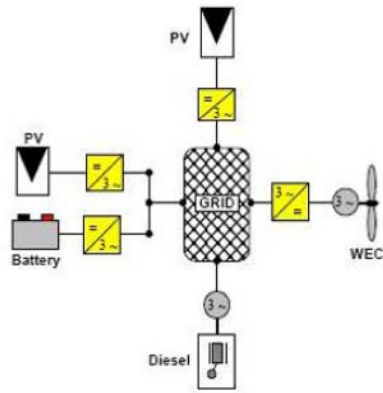
Pembangkit listrik hibrid dalam sistem penggabungan sumber pembangkit listrik mempunyai model penggabungan sumber pembangkit. Model pembangkit listrik hibrid dengan kombinasi sumber energi yang dapat diperbaharui (renewable) dengan yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable), sebagai berikut;

1. Pembangkit-pembangkit dan baterai dipasang disuatu lokasi dan dihubungkan ke AC bus sebelum dikoneksikan ke grid.



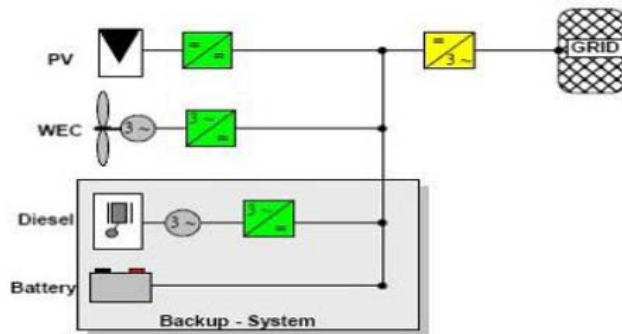
Gambar 7. Model pembangkit listrik hibrid

2. Pembangkit terdistribusi pada lokasi yang berbeda dan setiap pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah.



Gambar 8. Konsep arsitektur setiap pembangkit di koneksi ke grid secara terpisah

3. Dilakukan konversi tegangan AC ke DC pada pembangkit yang menghasilkan daya AC. Selanjutnya daya DC tersebut dikoneksikan ke DC bus dan sebuah pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).



Gambar 9. Konsep arsitektur sebuah pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).

II. Metode Penelitian

Metode penelitian adalah mendesain model pembangkit listrik hybrid dengan menggunakan turbin angin darrieus-H NACA 0018 modifikasi dengan jumlah blade 4 buah, dengan sudut pith 10^0 dan 20^0 untuk menggerakkan generator AC 300 watt 3 fase dan modul solar cell 1000 WP monokristal yang digunakan untuk mengkonversi energi angin dan energi matahari menjadi listrik. Variabel penelitian yang dikontrol adalah dimensi turbin angin vertikal darrieus-H NACA 0018 modifikasi dengan spesifikasi diameter turbin 1000 mm, tinggi turbin 120 mm, lebar blade 300 mm, tinggi blade 1200 mm, tinggi pemasangan turbin 5000 mm. Modul solar cell monokristal 100 Wp. Parameter yang diukur adalah daya listrik yang dihasilkan turbin angin dan solar cell dengan mengukur perubahan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan. Analisis data menggunakan analisis kuantitatif-deskriptif dengan menampilkan data-data dalam bentuk grafik dan dijabarkan secara deskriptif untuk menarik kesimpulan. Instrumen penelitian pembangkit listrik hibrid dipesisir pantai ditampilkan seperti gambar 10.

Gambar 10. Pembangkit listrik hibrid solar cell dan turbin angin

III. Pembahasan dan Analisis

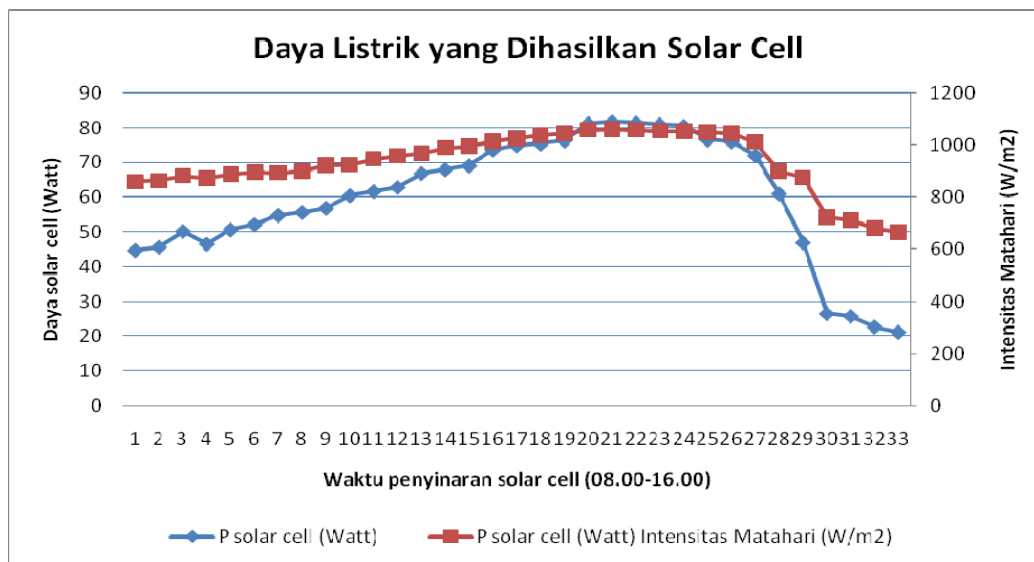
Performa merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kinerja sebuah alat bekerja. Performa pembangkit listrik *hybrid* merupakan hasil dari perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan dari masing-masing pembangkit listrik dengan kebutuhan listrik yang dapat suplai dari pembangkit tersebut.

Tabel 1. Daya solar cell

NO	Waktu	Daya (W)	Intensitas Cahaya (W/m^2)	efisiensi
1	08.00	44,70	860	7.94%

2	08.15	45,66	864	8.17%
3	08.30	50,24	882	8.70%
4	08.45	46,54	873	8.44%
5	09.00	50,65	888	8.86%
6	09.15	52,13	895	9.35%
7	09.30	54,79	894	9.16%
8	09.45	55,66	899	9.56%
9	10.00	56,88	922	9.82%
10	10.15	60,48	924	10.00%
11	10.30	56,88	922	9.82%
12	10.45	60,48	924	10.00%
13	11.00	66,88	969	10.55%
14	11.15	67,97	989	10.70%
15	11.30	69,07	995	11.01%
16	11.45	73,64	1015	11.13%
17	12.00	74,91	1024	11.33%
18	12.15	75,39	1036	11.37%

19	12.30	76,30	1045	11.56%
20	12.45	81,25	1058	11.98%
21	13.00	81,71	1060	12.08%
22	13.15	81,42	1057	11.97%
23	13.30	80,93	1054	11.83%
24	13.45	80,47	1052	11.74%
25	14.00	76,54	1049	11.60%
26	14.15	76,03	1043	11.44%
27	14.30	72,00	1012	10.87%
28	14.45	60,97	900	10.51%
29	15.00	46,90	875	8.58%
30	15.15	26,47	725	5.73%
31	15.30	25,74	712	5.44%
32	15.45	22,65	683	5.26%
33	16.00	21,14	667	4.88%
Total		1,980 KW		



Gambar 11. Daya listrik solar cell

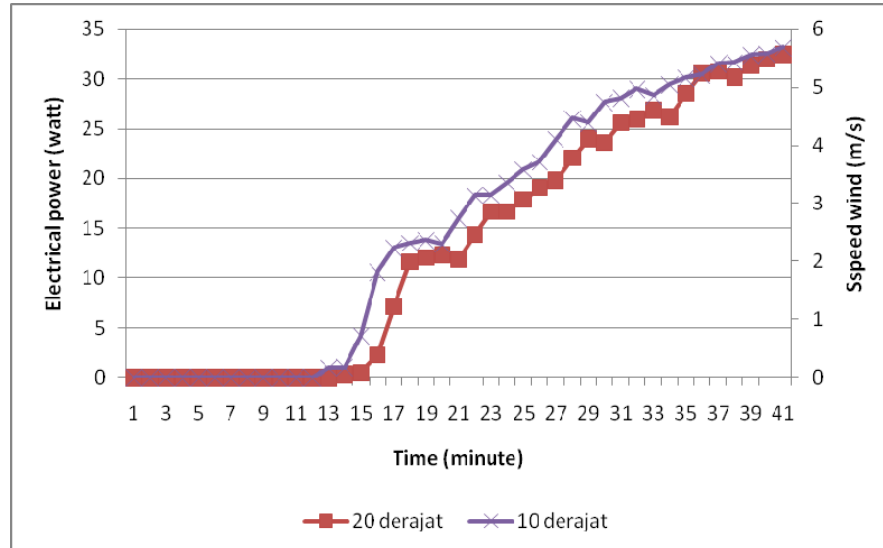
Performa dengan nilai daya dan efisiensi tertinggi (tabel 1) menunjukkan pukul 13.00 menghasilkan daya listrik 83,71 watt daya dan efisiensi 12,08% , sedangkan nilai daya dan efisiensi *solar cell* terendah pada pukul 16.00 sebesar 21,14 watt dan efisiensi 4,88%. Sedangkan total energi listrik yang dihasilkan *solar cell* selama satu hari mulai pukul 08.00-16.00 sebesar 1,980 KW. Performa dari beban rencana 25 sampai 100 W mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan selisih antara *Pin* dengan *Pout* berbanding lurus dengan beban rencana. Jika selisih antara *Pin* dengan *Pout* semakin kecil, maka performa pembangkit semakin besar. Jadi bisa dibilang daya *Pin* akan banyak terbuang apabila menggunakan beban rencana

yang kecil namun daya *Pin* akan efisien digunakan dengan beban rencana yang besar.

Sedangkan untuk mendukung kerja dari solar cell digunakan pembangkit listrik turbin angin sebagai sumber energi skunder pada sistem pembangkit listrik hybrid. Penggunaan turbin angin vertikal model darrieus-H NACA 0018 m modifikasi dengan 4 blade dengan sudut pitch 10° dan 20° menunjukkan Performa seperti terlihat pada gambar 12, pada sudut pitch 10° menghasilkan energi listrik maksimal yang dihasilkan 33,22 watt pada kecepatan angin 5,5 m/s, sedangkan energi listrik sudut pitch 20° menghasilkan energi listrik 32,56 watt pada kecepatan angin 5,6 m/s. Kecepatan angin semakin tinggi menyebabkan penurunan kinerja turbin angin, hal ini diduga

semakin tinggi kecepatan angin maka putaran turbin juga semakin tinggi sehingga turbin angin seakan-akan menjadi silinder yang menghambat sebagian udara untuk masuk kesisi dalam dari turbin angin sehingga laju aliran massa udara yang berguna untuk menggerakkan turbin angin berkurang yang pada akhirnya daya yang dapat ekstrak oleh turbin angin juga berkurang.

Energi listrik yang dihasilkan genertor turbin mengalami peningkatan, hal ini disebabkan daya yang dihasilkan turbin dan koefisien kinerja turbin sudut pitch hingga sudut 10^0 - 20^0 , hal disebabkan pada sudut ini nilai koefisien lift dari bilah profile NACA 0018 modifikasi bertambah besar namun jika sudut pitch diperbesar lagi maka akan timbul fenomena dynamic stall (Ragheb, 2013) karena aliran terseparasi di ujung bilah.



Gambar 12. Daya listrik turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0

Suplai kebutuhan energi listrik dari model pembangkit listrik hybrid soal cell-turbin angin dipesisir pantai menunjukkan tingkat kelayakan dengan kondisi sumber energi matahari dengan intensitas rata-rata 600 - 1060 W/m^2 yang dapat dikonversi dengan modul solar cell 100 WP menghasilkan daya listrik rata-rata $1,98 \text{ KW/hari}$. sedangkan potensi angin dengan kecepatan rata-rata 2 - 6 m/s dapat menghasilkan energi listrik rata-rata $33,2$ - $33,5 \text{ watt}$. Performa pembangkit listrik tenaga *hybrid* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya daya beban rencana. Performa tertinggi terdapat pada beban 100 W dengan efisiensi sebesar $64,72\%$. Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada beban 25 W dengan efisiensi sebesar $63,68\%$.

IV. KESIMPULAN

Model pembangkit listrik solar cell-turbin angin dapat menghasilkan daya listrik solar cell $1,98 \text{ KW}$ per hari dan pembangkit listrik turbin angin rata-rata menghasilkan $33,2$ - $33,5 \text{ watt}$, model pembangkit listrik hybrid solar cell-turbin angin dipesisir pantai dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik dengan menggunakan model sistem solar cell sebagai sumber pembangkit utama atau primer dan turbin angin sebagai sumber pembangkit skunder pada sistem hybrid. Model hybrid dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah pesisir

pantai tamban. Performa pembangkit listrik tenaga *hybrid* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya daya beban rencana. Performa tertinggi terdapat pada beban 100 W dengan efisiensi sebesar $64,72\%$. Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada beban 25 W dengan efisiensi sebesar $63,68\%$. Konsumsi energi listrik rata-rata untuk penerangan sebesar 1 KWh / hari setiap KK dengan aplikasi pembangkit listrik hybrid solar cell-turbin angin masih kelebihan energi, sehingga model pembangkit listrik hybrid solar cellturbin angin memiliki efektifitas dan efisien yang baik untuk diterapkan di daerah pesisir pantai.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, yang telah membantu dalam pendanaan penelitian pada skim Penelitian Insinas Riset Pratama Individu dengan no kontrak No. 0018/UN38.11-P/LT/2017.

Referensi

- [1] Al-Hasan A. Electricity generation cost between proposed photovoltaic station and conventional units in Kuwait. Renewable Energy 1997;12(3):291–301.
- [2] SEIA. 2014. Solar energy technologies solutions for today's energy need [Online]. Retrieved March 13, 2017 from the

- World Wide Web:
<http://www.seia.org/sites/default/files/SolarEnergyTechnologiesOverview11-13-2014.pdf>.
- [3] Knier G. 2008. How do photovoltaics work [Online], Retrieved March 13, 2017 from the World Wide Web: <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>.
 - [4] Al Dousari A, Ahmed M, Al Dousari N, Al Awadhi S. Environmental and economic importance of native plants and green belts in controlling mobile sand and dust hazards. *Int J Env Sci Tech*, 2018;
 - [5] Nugroho, P. E., (2011), Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Mikro Wind Energy Skala Rumah Tangga. Teknik Mesin, UMS. Surakarta.
 - [6] Villara, F. G., Jimenez, E. T., Vicente, R. D., & González, J.I. J. (2015). Development of Vertical Wind Turbines via FDM Prototype. *Journal of Procedia Engineering*, 132, 78 – 85
 - [7] Mehdi Jahangiri, Ahmad Haghania, Ali Mostafaei pourb, Adel Khosravi, Heidar Ali Raeisic. Assessment of solar-wind power plants in Afghanistan: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 99.(2019) 169-190.