

Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Pv Dan Turbin Angin Type Savonius Untuk Penerangan Pada Jalan Tol

Naufal Wahyu Pramasetya, Belly Yan Dewantara

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah Jl. Arief Rahman Hakim No. 150 Surabaya
E-mail: Naufalmanchester@gmail.com, Bellyyandewantara@hangtuah.ac.id

Abstract— Sistem pembangkit *hybrid* didesain untuk memproduksi energi listrik, sistem ini terdiri dari beberapa unit pembangkit seperti PV, turbin angin, mikrohidro, dan generator, dengan menggunakan pembangkit *hybrid* PV dan turbin angin type savonius untuk penerangan pada jalan tol. Pada pengujian ini dengan melakukan pengambilan data angin dan photovoltaic (PV) selama 2 hari, pengambilan data pada RPM generator DC, uji coba turbin angin dan PV selama 2 hari, dari dua sumber energi tersebut menghasilkan energi lebih besar untuk menyuplai baterai dan mampu menyalakan lampu beban DC 7watt selama 12 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *photovoltaic* (PV) akan bekerja secara optimal jika disinari matahari dengan suhu 25°C dan tingginya radiasi matahari. Untuk menghasilkan energi listrik pada turbin angin generator diperlukan putaran 500 rpm keatas untuk menyuplai ke battery karna diperlukan tegangan 12v keatas. Dengan kecepatan angin 8 m/s keatas, putaran generator mampu menghasilkan 12v keatas. Pada uji coba PV dan turbin angin ke-1 mendapatkan energi total 46,5 dan pada uji coba ke-2 mendapatkan energi 44,8. Dikarenakan faktor cuaca pengambilan data hanya sampai jam 12.30

Kata Kunci— *Photovoltaic* (PV), Savonius, *Hybrid*, Turbin Angin.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan hasil dari Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) salah satunya yakni untuk penerangan pada jalan raya. Sistem untuk penerangan jalan raya yang bersumber dari pembangkit *hybrid* ini sangat efektif digunakan. Pembangkit dari dua sumber energi yang dikombinasi ini diharapkan dapat menyediakan catu daya yang kontinyu, efisien dan optimal. Biasanya dipadukan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB) yang biasa disebut *Hybrid* PV-Bayu/Angin. Sumber energi angin dan surya yang cukup populer yang tersedia secara bebas, bersih bahkan sangat banyak. Tetapi, energi ini juga memiliki permasalahan yaitu energi angin tersedia sangat berfluktuasi tergantung cuaca atau musim dan tersedia pada waktu yang seringkali tidak dapat diprediksi. Sedangkan energi surya sendiri hanya tersedia ketika cuaca cerah pada siang hari (tidak hujan atau tidak mendung) (Diana Hidayanti, *et all*, 2019).

Perancangan sistem penerangan jalan umumnya menggunakan sumber daya listrik kombinasi dari panel surya

dan turbin angin Savonius. Berkembangnya sumber energi alternatif penerangan jalan dikarenakan energi angin dan energi matahari tidak memerlukan bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik. Sumber energi angin yang terbanyak pada jalan tol, karena desain turbin angin vertikal type savonius menjadi sumber yang sangat potensial dan lebih efektif. Selain ada angin alami tingginya kecepatan angin yang berasal dari kendaraan juga mengirimkan energi untuk membangun pemanfaatan energi dalam bentuk energi angin lokal. (Herri Darsan, Dwi Prabowo, Maldi Saputra, Murhaban, 2020).

Berdasarkan penelitian tersebut maka penelitian ini dikembangkan sebuah model pembangkit *hybrid* PV dan turbin angin type savonius untuk penerangan pada jalan tol. Dengan menggunakan *photovoltaic* (PV) yang membantu menyerap cahaya matahari dan turbin angin tipe savonius, karna savonius adalah turbin angin berbentuk vertikal dan lebih efisien jika berada pada jalan tol. Dari pemanfaatan energi *hybrid* ini untuk mengetahui berapa arus, tegangan dan energi untuk mensuplai battery yang didapatkan dari dua sumber energi tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada PLTH, *renewable Energy* yang digunakan ini untuk penelitian menggunakan dari energi angin, yang dikombinasikan dengan energi matahari sehingga akan menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah atau kebutuhan pendukung untuk industri kecil. Dengan adanya kombinasi dari sumber-sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan catu daya listrik yang efisien dan paling optimal. Tujuan PLTH ini adalah mengkombinasi keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Mampu menghasilkan daya listrik secara efisien pada berbagai kondisi pembebanan.

A. Photovoltaic (PV)

Photovoltaic (PV) adalah sebuah alat semi konduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar diode p-n junction, dimana dalam hadirnya cahaya matahari mampu menyiptakan energi listrik yang berguna. Photovoltaic (PV) ini terbuat dari bahan khusus semikonduktor yang sekarang banyak digunakan dan disebut dengan silikon. Ketika cahaya matahari mengenai sel silikon, cahaya tersebut akan diserap oleh photovoltaic, hal ini berarti bahwa energi

cahaya yang diserap telah ditransfer ke bahan semikonduktor yang berupa silikon. Energi yang tersimpan dalam semikonduktor ini akan mengakibatkan elektron lepas dan mengalir dalam semikonduktor.

B. Turbin Angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang bekerja pada rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu jenis drag (tipe drag) dan jenis lift (tipe lift) (Hemami, 2012). Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya drag memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya lift. Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu horizontal axis wind turbine (HAWT) dan vertical axis wind turbine (VAWT) (Mathew, 2006).

C. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

D. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan.

E. Turbin angin Savonius

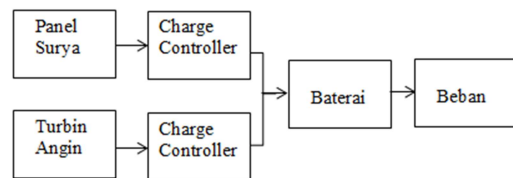
Turbin angin Savonius pertama kali diperkenalkan oleh seorang insinyur Finlandia yang bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin Savonius adalah turbin angin yang memiliki bentuk dan konstruksi yang sangat sederhana sehingga dalam proses pembuatannya pun tidak memerlukan biaya yang mahal. Turbin ini terdiri atas dua hingga tiga bucket atau sudu yang disusun sedemikian rupa sehingga jika dilihat dari atas akan terlihat seperti membentuk huruf S. Design turbin angin adalah turbin berbentuk vertikal yang berjenis savonius dan penggunaannya lebih difokuskan pada daerah dengan kecepatan angin yang kecil. Selain itu jenis vertikal turbin savonius tidak perlu mengatur arah hanya karena perubahan arah angin. Turbin savonius memiliki putaran yang rendah namun memiliki torsi yang tinggi, sehingga tidak memerlukan energi awal untuk memutar rotor.

E. Generator

Generator merupakan mesin dengan energi gerak (mekanik) yang kemudian mampu mengubah menjadi energi listrik. Ada berbagai macam sumber energi gerak dari generator. Misalnya, pada pembangkit listrik tenaga angin, generator dapat bergerak karena adanya angin yang menggerakkan kincir untuk berputar. Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik, setelah rotor diputar oleh penggerak mula (prime mover), maka kutub-kutub pada rotor akan berputar. Apabila kumparan kutub disuplai oleh tegangan searah, pada permukaan kutub akan timbul medan magnet yang berputar.

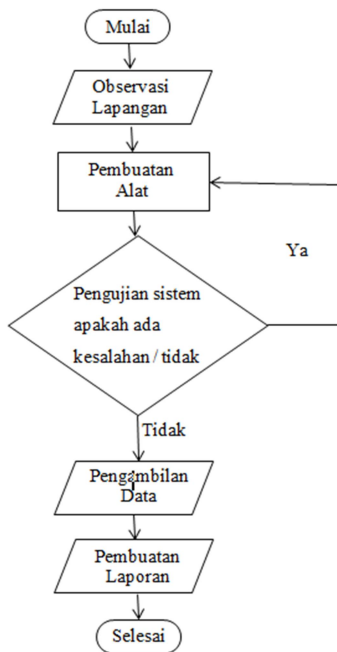
III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan membahas perancangan pembangkit hybrid dengan photovoltaic dan turbin angin untuk penerangan pada jalan tol, dengan memanfaatkan dua sumber energi melalui panas matahari dan sumber energi angin.



Gambar 3.1. Skema sistem pada alat

Perancangan pembangkit hybrid PV dan turbin angin type savonius digunakan untuk penerangan jalan tol. Prinsip kerja pembangkit hybrid photovoltaic adalah menyerap energi panas matahari dan turbin angin type savonius akan berputar dengan menggunakan belt dan pulley pada poros rotor turbin dan poros generator. Controller yang akan mensuplai tegangan DC ke baterai kemudian baterai akan mensuplai beban berupa lampu DC 7watt. Turbin angin type savonius lebih efektif digunakan pada jalan tol karena memanfaatkan energi angin yang disebabkan oleh pengguna kendaraan jalan tol.



Gambar 3.2. Diagram Alir

A. Observasi Lapangan

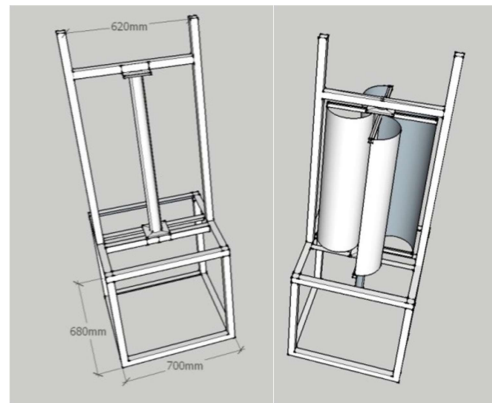
Perlu diketahui pada jalan tol memiliki tiga buah jalur diantaranya jalur cepat (*fast main lane*), jalur lambat (*low main lane*) dan jalur untuk mendahului (*passing lane*). Rata-rata kecepatan kendaraan setiap jalur berbeda satu sama lain, data observasi lapangan disesuaikan dengan potensi energi angin dari kendaraan terhadap kebutuhan daya listrik untuk penerangan jalan tol. Jarak A adalah penempatan alat hybrid pv dan turbin angin *type savonius* pada jalan tol yang berlawanan arah adalah sebesar 1 m, sedangkan lebar setiap jalur sebesar 3.75 m (Tian et al, 2017).

B. Desain alat

Desain alat sebagai rancangan dasar menentukan ukuran dan bentuk komponen alat pembangkit listrik *hybrid*. Adapun komponen yang akan dilakukan perancangan desain adalah sebagai berikut :

1. Perancangan Turbin Angin
2. Perancangan Beban
3. Perancangan Bentuk Kerangka
4. Perancangan Panel Surya
5. Pipa besi galvanis holo
6. Panel surya dengan kapasitas 50 WP
7. Baling-baling *type Savonius* (plat aluminium)
8. Battery kapasitas 12V/7,5AH
9. Lampu DC 7watt
10. Charge Controller
11. Generator DC 40vdc
12. Pulley dan Belt

Desain Perancangan *blade* dan kerangka turbin angin *type savonius*.



Gambar 3.3. Desain Kerangka dan blade Turbin Angin *Type Savonius*



Gambar 3.4. Hasil Kerangka dan Blade Turbin Angin *Type Savonius*

C. Parameter yang diukur dalam pengujian

Parameter-parameter yang diukur dalam pengujian ini meliputi kecepatan angin bebas (*m/s*) yang akan digunakan memutar sudu turbin dengan menggunakan Anemometer, putaran poros turbin (*rpm*) yang terbaca dengan menggunakan tachometer untuk mengetahui kecepatan turbin, solar power meter untuk mengetahui intensitas matahari, termogun benda untuk mengetahui suhu pada *photovoltaic* (PV), dan multimeter. Sementara itu, data-data tersebut digunakan untuk mengetahui kecepatan angin, poros putaran, radiasi, panas suhu benda dan multimeter untuk mengetahui arus dan tegangan.

D. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Kinerja *photovoltaic* ditentukan dari beberapa parameter yaitu luasan area, intensitas matahari, efisiensi panel surya, faktor temperatur dan efisiensi output. Berikut persamaan untuk mencari energi yang dihasilkan panel surya :

$$E_L = PV \text{ area} \cdot G_{av} \cdot \eta_{pv} \cdot TCF \cdot \eta_{out}$$

Keterangan :

E_L = pemakaian energi (kWh/hari)

Pv area = area panel surya yang akan terpasang

G_{av} = isolasi harian matahari rata-rata (kWh/m²/hari)

η_{pv} = efisiensi panel surya

TCF = temperatur correction factor

η_{out} = efisiensi inverter



Gambar 3.5. *Photovoltaic* untuk pembangkit listrik tenaga surya

E. Pembangkit listrik tenaga angin

Energi angin dilihat dari kecepatan angin, yang dituliskan dalam bentuk persamaan energi kinetik berdasarkan Hukum Kekekalan Energi sebagai berikut :

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

(Eric hau. 2006)

Keterangan :

m = massa angin (Kg)

v = Kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik angin diubah menjadi energi mekanis. Laju aliran massa udara yang mengalir pada suatu penampang A dengan kecepatan v, maka daya kinetis dapat dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan Hukum Kekekalan Energi sebagai berikut :

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

(Eric Hau. 2006)

Keterangan :

P_k = daya kinetik, (W)

ρ = massa jenis udara (Kg/m³)

A = luas sapuan blade turbin (m²)

v = kecepatan angin (m/s)

Pembangkit listrik tenaga angin ini berupa tegangan DC, sehingga untuk daya outputnya dapat dihitung berdasarkan Hukum Kekekalan Energi dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{out} \text{ angin} = V_a \cdot I_a$$

(Eric Hau. 2006)

Keterangan :

P_{out} angin = daya keluaran generator DC (W)

V_a = tegangan keluaran generator DC (V)

I_a = arus keluar generator DC (A)

Menghitung efisiensi berdasarkan Hukum Termodinamika II menggunakan rumus :

$$\eta_{PLTB} = \frac{P_{out} \text{ angin}}{P_k} \cdot 100\%$$

(Eric Hau. 2006)



Gambar 3.6. Turbin angin *type savonius* untuk pembangkit listrik tenaga angin

F. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Pada perangkat ini dioperasikan dalam bentuk tegangan DC, yang dirumuskan berdasarkan Hukum Kekalan Energi sebagai berikut :

$$P_{beban} = V_b \cdot I_b \cdot \cos \varphi$$

Keterangan :

P_{beban} = daya pada beban (W)

V_b = tegangan beban (V)

I_b = arus beban (A)

$\cos \varphi$ = faktor daya

Sistem PLTH ini dengan demikian dapat dihitung nilai efisiensi, yang dirumuskan berdasarkan Hukum Termodinamika II sebagai berikut :

$$\eta_{PLTB} = \frac{P_{beban}}{P_k + E} \cdot 100\%$$



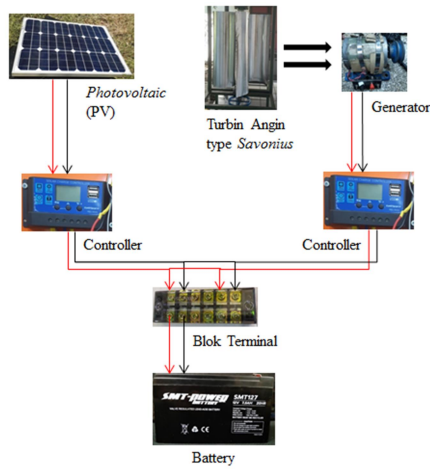
Gambar 3.7. Pembangkit *Hybrid* PV dan turbin angin *type savonius* untuk penerangan lampu jalan tol

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Peralatan

Desain pembangkit *hybrid* ini memiliki 2 sumber energi terbarukan yakni energi angin dan energi matahari. Energi angin itu sendiri menjadi faktor utama untuk memutar generator yang nantinya keluaran generator tersebut akan menghasilkan arus dan tegangan DC. Selain energi angin adapula energi matahari yang akan membangkitkan energi listrik melalui perantara berupa *photovoltaic* (PV). Dari kedua energi tersebut yang menghasilkan aliran listrik nantinya akan hubungkan menuju battery sebagai tempat

menyimpan energi tersebut. Keluaran dari batere di hubungkan dengan beban dengan kapasitas lampu DC 7 Watt. Dari hasil keluaran batere tersebut nantinya akan diaplikasikan untuk penerangan jalan tol.



Gambar 4.1. Diagram blok sistem

B. Hasil Pengambilan data

Pengukuran yang dilakukan pada panel dilakukan dimulai pada pukul 08.00 – 16.00 WIB. Hasil dari tegangan dan arus yang dihasilkan dari panel memiliki nilai berbeda-beda, hal ini dikarenakan intensitas cahaya matahari yang tidak menentu setiap jamnya. Untuk generator yang diukur juga dilakukan pada pukul 08.00-16.00 WIB. Pada generator juga memiliki hasil yang berbeda-beda, semua ini dikarenakan kecepatan angin yang diukur menggunakan anemometer mendapatkan hasil kecepatan angin yang berbeda.

TABEL 4.1. PENGAMBILAN DATA ANGIN DAN PHOTOVOLTAIC (PV)

Lokasi : Jl. TOL Masjid Agung					
No.	Waktu	Kecepatan angin (m/s)	Suhu (°C)	I Radiasi (W/m ²)	
1	08,00,00	2.422	39.7	266.7	
2	08,30,00	5.904	31.8	427.3	
3	09,00,00	4.034	30.4	504.7	
4	09,30,00	5.383	39.4	603.7	
5	10,00,00	4.691	42.8	305.2	
6	10,30,00	5.549	41.5	637.84	
7	11,00,00	5.893	43.5	821.1	
8	11,30,00	4.634	50	953.4	
9	12,00,00	5.822	47.2	986.3	
10	12,30,00	5.334	46	978.9	
11	13,00,00	4.93	43,9	950.4	
12	13,30,00	5.344	43.2	920.2	
13	14,00,00	5.277	51	800.5	
14	14,30,00	6.663	40.8	700.7	
15	15,00,00	5.487	36	467.2	
16	15,30,00	5.502	32.9	456.4	
17	16,00,00	6.19	34.5	351.7	
18	16,30,00	5.425	0	0	
19	17,00,00	6.685	0	0	
20	17,30,00	4.92	0	0	
21	18,00,00	4.241	0	0	
22	18,30,00	5.23	0	0	
23	19,00,00	6.362	0	0	
24	19,30,00	4.183	0	0	
25	20,00,00	4.687	0	0	
26	20,30,00	3.422	0	0	
27	21,00,00	4,565	0	0	
		rata-rata	5.16	40.67	654.84
		Max	6.685	51	986.3
		Min	2.422	30.4	266.7

Hasil data diperoleh berdasarkan pengukuran intensitas cahaya matahari terhitung pada pukul 08.00 – 16.00. Setiap jamnya menyimpulkan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin besar pula daya yang dihasilkan melalui panel tersebut.

Hasil data yang dimulai dari pukul 08.00 – 21.00 dapat disimpulkan bahwa setiap jam kecepatan angin berbeda-beda sangat berpengaruh pada putaran yang dihasilkan oleh turbin angin itu sendiri. Pengambilan data diambil dari bahu jalan demi keselamatan. Alat tersebut nantinya akan terletak ditengan jalan tol dengan memanfaatkan hembusan angin lokal dandorongan angin dari kendaraan yang melintas.

1. Menghitung TCF (*Temperature Correction Factor*)

Photovoltaic (PV) akan bekerja secara optimal jika disinari matahari dengan suhu 25°C. Jika kenaikan suhu melebihi temperature normal maka tegangan (Voc) akan menurun ketika mengalami kenaikan suhu 1°C (dari 25°C) maka akan berkurangnya daya yang dihasilkan oleh PV sebanyak 0,5%. Untuk mengetahui kenaikan suhu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan suhu} &= \text{suhu rata-rata} - \text{Suhu optimal (PV)} \\ &= 40,67 - 25 \\ &= 15,6^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mengetahui } P_{\text{saat naik } ^\circ\text{C}} \\ P_{MPP} \text{ Saat naik } ^\circ\text{C} &= P_{MPP} - \\ & (0,5\%/^\circ\text{C} \times P_{MPP} \times \text{Kenaikan suhu}) \\ &= 50\text{wp} - (0,5\%/^\circ\text{C} \times 50\text{wp} \times 15,6^\circ\text{C}) \\ &= 50\text{wp} - 3,9\text{wp} \\ &= 46,1\text{wp} \end{aligned}$$

Disaat suhu naik 15,6°C maka akan keluar hasil daya keluaran maksimum. Berikut nilai dari TCF :

$$\begin{aligned} TCF &= \frac{P_{MPP} - (0,5\% \times C \times P_{MPP} \times \text{Kenaikan Temperatur})}{P_{MPP}} \\ &= \frac{50wp - (0,5\% \times C \times 50wp \times 15,6^\circ C)}{50wp} \\ &= \frac{50wp - 3,9wp}{50wp} \\ &= \frac{46,1 wp}{50wp} = 0,92 \end{aligned}$$

2. Menghitung G_{AV}

$$\begin{aligned} G_{av} &= \text{rata-rata intensitas matahari (Wh/m}^2\text{)} \\ &\quad \times \text{lama penyinaran} \\ &= 927,2 \times 9 \text{ jam} \\ &= 8334,8 \text{ (Wh/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Intensitas matahari dalam 9 jam menghasilkan 8334,8 (Wh/m²), sebelum menentukan efisiensi dari panel surya terlebih dahulu menentukan rata-rata penyinaran matahari. Berikut penyinaran rata-rata matahari :

$$\begin{aligned} \frac{\text{Rata-rata penyinaran matahari}}{\text{Intensitas matahari (kwh/m}^2\text{/hari)}} &= \\ &= \frac{1000w/m^2}{8334,8} \\ &= \frac{1000 w/m^2}{1000 w/m^2} \\ &= 8,3 \text{ h} \end{aligned}$$

3. Menghitung Efisiensi PV

Pada penelitian ini menggunakan PV 50wp berikut spesifikasinya :

TABEL 4.2. SPESIFIKASI *PHOTOVOLTAIC* (PV)

Peak Power (Pmax)	50W
Max. Power Volt (Vmp)	17,6V
Max Power Current (Imp)	2,85A
Open Circuit Volt (Voc)	22,5V
Shot Circuit Current (Isc)	3,04A
Max System Voltage	700V
Operating Temperature	-45°C + 80°C

Efisiensi panel surya sangat penting dikarenakan oleh panel surya. Untuk pemasangan area yang sempit memerlukan efisiensi yang cukup besar agar output dari PV dapat maksimal. Berikut perhitungan nilai efisiensi PV :

$$\begin{aligned} \eta_{pv} &= \frac{P_{max}}{(P_{si} \times \text{Dimensi Pv area})} \\ &= \frac{50}{(1000 \times (1 \times 0,67))} \\ &= \frac{50}{670} \\ &= 0,07 \end{aligned}$$

4. Efisiensi Daya Output

Efisiensi daya output didapat dari spesifikasi controller, baterai, inverter. Pada penelitian ini tidak menggunakan inverter karena menggunakan beban DC maka dari itu inverter bernilai 1. Berikut perhitungan efisiensi daya output :

$$\begin{aligned} \eta_{out} &= \eta_b \times \eta_i \times \eta_c \\ \eta_b &= \text{efisiensi baterai} \\ \eta_i &= \text{efisiensi inverter} \\ \eta_c &= \text{efisiensi controller} \\ \eta_{out} &= \eta_b \times \eta_i \times \eta_c \\ &= 80\% \times 1 \times 0,9 \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

5. Menghitung Daya yang Dihasilkan

Menghitung PV area sangat diperlukan karena untuk mengetahui berapa luas PV yang bisa menangkap cahaya matahari per hari. Berikut perhitungan PV area :

$$\begin{aligned} E_L &= \text{PV area} \times G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out} \\ &= 0,7m^2 \times 8,3 \text{ kwh/m}^2\text{/hari} \times 0,07 \times 0,92 \times 0,72 \\ &= 0,26 \text{ kWh/hari} \end{aligned}$$

C. Uji Coba Turbin Angin dan *Photovoltaic* (PV)

Uji coba *photovoltaic* pada hari ke 1 dan ke 2 yang dimulai pukul 08.00 pagi sampai pukul 16.00 sore hari.

TABEL 4.3. UJI COBA *PHOTOVOLTAIC* (PV) HARI KE 1

Waktu	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	Energy (Wh)
08,00,00				
08,30,00	0,82	18,52	15,2	4,5
09,00,00	1,18	18,64	21,9	6,3
09,30,00	0,73	18,59	13,5	7
10,00,00	1,07	18,52	19,8	9,2
10,30,00	1,06	18,49	19,5	11,3
11,00,00	1,15	18,52	21,2	14,7
11,30,00	1,12	18,52	20,7	20,5
12,00,00	1,15	18,53	21,3	27,3
12,30,00	1,1	18,46	20,3	31,7
13,00,00	1,16	18,37	21,3	39,5
13,30,00	1,11	18,28	20,2	45,6
14,00,00	1,39	18,6	25,8	48,3
14,30,00	1,14	18,66	21,2	52,8
15,00,00	1,06	18,55	19,6	55,2
15,30,00	0,96	17,66	16,9	57,8
16,00,00	0,55	17,3	9,5	59,5

Pada tabel 4.3 uji coba *photovoltaic* per setengah dengan menentukan arus, tegangan, daya dan total energy yang didapat.

Photovoltaic (PV) akan lebih optimal jika radiasi mencapai 1000 w/m² atau suhu mencapai 25°C. Dikarenakan cahaya matahari yang mengenai modul PV lebih besar.

TABEL 4.4. UJI COBA *PHOTOVOLTAIC* (PV) HARI KE 2

Waktu	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	Energy (Wh)
08,00,00				
08,30,00	0,86	18,55	15,9	3,8
09,00,00	1,1	18,55	20,4	6,4
09,30,00	1,14	18,6	21,2	7,2
10,00,00	1,1	18,54	20,3	9
10,30,00	1,08	18,56	20,0	11,4
11,00,00	1,15	18,56	21,3	15,2
11,30,00	1,17	18,58	21,7	20,2
12,00,00	1,2	18,6	22,3	26,7
12,30,00	1,16	18,55	21,5	34,5
13,00,00	1,13	18,44	20,8	40,4
13,30,00	1,11	18,28	20,2	46,2
14,00,00	1,39	18,65	25,9	49,2
14,30,00	1,1	18,56	20,4	52,1
15,00,00	1,03	18,5	19	55,8
15,30,00	0,9	17,66	15,8	58,2
16,00,00	0,55	17,3	9,5	60,1

Pada hari ke 2 *Photovoltaic* mengalami perubahan yang disebabkan oleh kondisi cuaca disuatu wilayah.

TABEL 4.5. UJI COBA KECEPATAN TURBIN ANGIN DENGAN BLOWER/KIPAS ANGIN

NO	M/S	RPM	IWT	VWT	EWT
1	3				
2	4				
3	5				
4	6				
5	7				
6	8	524,6	0,21	12,92	0,7
7	9	657,6	0,32	12,6	0,7

Uji coba dengan menggunakan blower/kipas angin, semakin cepat dorongan energi angin maka semakin besar juga arus, tegangan dan daya yang dihasilkan.

TABEL 4.6. PENGAMBILAN DATA PADA RPM GENERATOR DC

RPM	TEGANGAN (V)
400	9,01
500	11,35
600	14
700	15,97
800	18,24
900	20,7
1000	23,03
1100	25,25
1200	28,03
1300	30,18
1400	32,04
1500	34,48

Pengambilan data pada RPM generator dengan di couple motor lalu diukur menggunakan tachometer untuk menaikkan dan menurunkan tegangan menggunakan VFD dengan melalui sumber energi PLN. Kecepatan pada RPM generator agar mampu menyuplai daya ke baterai harus diatas 500 RPM karna membutuhkan daya sebesar 12v.

D. Pengujian Turbin Angin dan PV

Potensi penggabungan tenaga angin dan *photovoltaic* (PV) berdasarkan data-data dapat diketahui bahwa tegangan dan arus pada siang hari lebih besar dibandingkan dengan pagi hari, sore hari, maupun malam hari. Hal ini terjadi karena intensitas matahari yang mengenai modul PV akan lebih besar. Angin terjadi pada energi angin lokal dan dorongan kendaraan yang melintas di jalan tol.

Selanjutnya akan menguji coba PV dan turbin angin dengan jarak kurang lebih 1 meter seperti jarak posisi turbin yang akan ditempatkan ditengah jalan tol, uji coba ini dibantu dorongan dari blower/ kipas angin dengan menentukan energi konstan dan tidak konstan agar mengetahui berapa energi yang di dapat dari dua sumber energi tersebut.

TABEL 4.7. UJI COBA KE-1 TURBIN ANGIN DAN *PHOTOVOLTAIC* (PV) DENGAN KECEPATAN KONSTAN

NO	JAM	VPV	IPV	EPV	VWT	IWT	EWT	RPM	VTOTAL	ITOTAL	ETOTAL
1	8.00										
2	8.30	15,85	2,02	6,4	13,39	0,21	0,3	524,6	13,23	2,38	6,5
3	9.00	13,15	0,53	11,7	13,39	0,21	0,6	524,6	12,92	1	12
4	9.30	13,07	0,26	18,8	13,39	0,21	1,1	524,6	12,95	0,66	19,3
5	10.00	14,67	2,49	25,7	13,39	0,21	1,6	524,6	13,95	2,76	26,3
6	10.30	14,31	1,36	35,2	13,39	0,21	2	524,6	13,8	1,09	37,3
7	11.00	13,76	0,39	40,5	13,39	0,21	2,4	524,6	13,59	0,87	41,3
8	11.30	13,82	0,48	42,3	13,39	0,21	2,7	524,6	13,6	0,82	43,5
9	12.00	13,85	0,35	42,4	13,39	0,21	2,9	524,6	13,71	0,83	44,8
10	12.30	14,55	0,9	44,8	13,39	0,21	3,1	524,6	14,26	1,21	46,5
11	13.00										
12	13.30										
13	14.00										
14	14.30										
15	15.00										
16	15.30										
17	16.00										

Data pengujian ke-1 turbin angin dan PV, Jika menggunakan angin yang konstan. Pada pengujian kondisi cahaya matahari juga berubah dikarenakan oleh cuaca disuatu wilayah. Dikarenakan kondisi cuaca yang tiba-tiba hujan maka pengambilan data hanya mencapai jam 12.30, dengan percobaan diatas energi total yang didapatkan adalah 46,5 Wh.

TABEL 4.8. UJI COBA KE-2 TURBIN ANGIN DAN *PHOTOVOLTAIC* (PV) DENGAN KECEPATAN TIDAK KONSTAN

NO	JAM	VPV	IPV	EPV	VWT	IWT	EWT	RPM	VTOTAL	ITOTAL	ETOTAL
1	8.00										
2	8.30	15,85	2,02	6,4	13,39	0,21	0,3	574,2	13,23	2,05	6,6
3	9.00	13,15	0,53	11,7	14,21	0,24	0,8	623,2	12,92	1	12,5
4	9.30	13,07	0,26	18,8					12,95	0,66	18,8
5	10.00	14,67	2,49	25,7	13,12	0,18	0,8	524,3	13,95	2,76	26,5
6	10.30	14,31	1,36	30,5	13,4	0,22	1,2	586,5	13,8	1,09	31,7
7	11.00	13,76	0,39	37,2					13,59	0,87	37,2
8	11.30	13,82	0,48	42,3	13,42	0,21	1,6	573,8	13,6	0,82	43,8
9	12.00	13,85	0,35	44,8	14,42	0,26	2	633,8	13,71	0,83	46,8
10	12.30	14,55	0,9	44,8					14,26	1,21	44,8
11	13.00										
12	13.30										
13	14.00										
14	14.30										
15	15.00										
16	15.30										
17	16.00										

Data pengujian ke-2 turbin angin dan PV, Jika menggunakan angin yang tidak konstan. Pada pengujian kondisi cahaya matahari juga berubah dikarenakan oleh cuaca disuatu wilayah. Dikarenakan kondisi cuaca yang tiba-tiba hujan maka pengambilan data hanya mencapai jam 12.30, dengan percobaan diatas energi total yang didapatkan adalah 44,8 Wh.

D. Pengujian Beban Lampu

Pengukuran dari output berupa *battery* berukuran 12V/7,5AH. Battery disuplai dari 2 sumber yakni generator dan *photovoltaic* (PV). Pengukuran ini menghasilkan arus beban 0,58 dan tegangan 12V yang terhubung dengan beban lampu DC. Untuk mengetahui lama pemakaian beban sumber battery 12V/7,5AH dengan persamaan sebagai berikut :

$$l_p = is : ib$$

Keterangan :

l_p = lama pemakaian (Jam)
 i_s = arus sumber (Amp)
 i_b = arus beban (Amp)

$i_s = 7,5A$
 $i_b = 0,58 A$
 $l_p = i_s : i_b$

$= 7,5Ah : 0,58A$
 $= 12 \text{ Jam}$

Dapat dihasilkan tegangan sebesar 12V, arus sebesar 0,58 dan daya sebesar 7 Watt. Untuk lama pemakaian menurut perhitungan dengan beban lampu 7 Watt dapat menyala selama 12 jam. Lampu akan otomatis menyala di malam hari dan akan mati di siang hari dikarenakan pada beban lampu sudah terpasang sensor LDR yang akan mengetahui siang dan malam.

V. PENUTIP

A. Kesimpulan

- 1) Dapat disimpulkan bahwa arus, tegangan, dan energi total dari dua sumber pembangkit lebih besar dan dinilai mampu menyalakan lampu dc 7watt selama 12jam.
- 2) *Photovoltaic* (PV) akan bekerja secara optimal jika disinari matahari dengan suhu 25°C dan tingginya radiasi matahari.
- 3) Untuk menghasilkan energi listrik pada turbin angin generator diperlukan putaran 500 rpm keatas untuk menyuplai ke battery karna diperlukan tegangan 12v keatas.
- 4) Dengan kecepatan angin 8 m/s keatas, putaran generator mampu menghasilkan 12v keatas.
- 5) Pada uji coba PV dan turbin angin ke-1 mendapatkan energi total 46,5 dan pada uji coba ke-2 mendapatkan energi 44,8. Dikarenakan faktor cuaca pengambilan data hanya sampai jam 12.30

B. Saran

- 1) Pemilihan bahan sangat perlu diperhatikan untuk putaran turbin yang maksimal.
- 2) Lakukan pengambilan data pada cuaca yang baik sehingga akan mendapatkan data pengukuran yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darsan, H., Prabowo, D., Saputra, M., & Murhaban. (2020). Perencanaan Pembangkit Listrik Hybrid VAWT dan Solar Cell Secara Otomatis Untuk Penerangan Lampu Jalan. *Jurnal Mekanova, Vol. 6 No.1, April 2020, P-ISSN : 2477-5029, E-ISSN : 2502-0498.*
- [2] Hidayanti, D., Dewangga, G., M. P, P. Y., Sarita, I., Sumarno, F., & W, W. P. (2019). Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya Dengan Penggerak Otomatis Pada Panel Surya. *Jurnal Teknik Energi Vol 15 No.3 September 2019*
- [3] Hikmawan, S. R., & Suprayitno, E. A. (2018). Rancang Bangun Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) Menggunakan Solar Panel Berbasis Android. *ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education) May 2018. E-ISSN : 2477-2399, P-ISSN : 2580-6424.*
- [4] Ismail, Pane, E., & Triyanti. (2017). Optimasi Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Untuk Penerangan Di Jalan Tol. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi, 2017. E-ISSN : 2460-8416, P-ISSN : 2407-1846.*
- [5] Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2015). Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen. *Rancang Bangun Kincir Angin Vol.5 No.2.*
- [6] Parti, I. K., Mudiana, I. N., & Rasmini, N. W. (2020). Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Tenaga Angin. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SETRINOV) Ke-6, Vol.6 No.1 (2020), E-ISSN : 2621-9794, P-ISSN : 2477-2097.*
- [7] Rondonuwu, A., Pomantow, W., Wauran, A., Pangemanan, T., & Lumentut, V. (2020). Manajemen Energi Hybrid Power System Menggunakan Panel Surya dan Turbin Angin. *Seminar Nasional Terapan Inovatif (SETRINOV) Ke-6, Vol.6 No.1 (2020), E-ISSN : 2621-9794, P-ISSN : 2477-2097.*