

KAJIAN EKSPERIMENTAL *HYBRID* ENERGI SURYA DAN RODA GILA PADA SUPLAI ENERGI LISTRIK KAPASITAS 3 KW

Angga Setiawan *), La Ode Firman **)

Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: anggasetiawanms@gmail.com

ABSTRAK

Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahun mengalami kenaikan karena disebabkan oleh penambahan penduduk dan meningkatnya perkembangan dalam pembangunan sarana dan prasarana, namun dalam penyediaan energi listrik masih menggunakan bahan bakar fosil dan terbatas cadangannya di alam. Kesetabilan sumber energi harus dijaga agar perkembangan bisa dengan cepat merata ke seluruh Indonesia, akan hal itu dalam penelitian ini mencoba energi alternatif yang terbarukan dengan menggabungkan energi matahari dan roda gila. Dengan metode eksperimen energi matahari dan roda gila system *hybrid* yang dirancang dengan menggunakan dua buah panel surya 100 W/P, Baterai 75 AH 12 V sebanyak 3 buah, roda gila diameter 40 cm berat 20 Kg, inverter 2 Kw generator yang digunakan synchronous 3 Kw dan motor listrik yang digunakan 1.5 Hp dengan daya 1144 Watt. Dengan menggunakan system yang dirancang, energi matahari yang di hasilkan rata rata 156 Watt / jam dan energi yang tersimpan pada roda gila sebesar 156 watt. dan keluaran generator menahan beban sebesar 1,3 Kw, sumber energi yang dibutuhkan menjalankan system 1320 watt, energi yg di hasilkan 1607 Watt dengan efisiensi sistem *hybrid* sebesar 21,7%

Kata kunci: energi matahari, roda gila, sistim *hybrid*

ABSTRACT

Electricity consumption in Indonesia evidently increases on an annual basis mainly due to population growth and increase in facility and infrastructure developments. However, Indonesia still uses fossil fuels to supply electricity, although the stability of energy sources must be maintained to enable the said developments to be evenly distributed throughout all areas in Indonesia. Therefore, the current study aims to analyze the latest alternative energy by combining solar energy and the flywheel. Through experimental method, a solar energy and hybrid system is designed using two 100 W / P Solar panels, three 75 AH 12 V batteries, a flywheel diameter 40 cm weighing 20 kg, a 2 Kw inverter, a generator used synchronously 3 Kw and a 1.5 Hp electric motor with 1144 Watt energy. By means of the designed system, the amount of solar energy generated is an average of 156 Watts/hour, whilst the energy stored in the flywheel is 156 Watts, and the output of the generator can withstand a load of 1.3 Kw. The amount of energy needed to run the system is 1320 watts, and the energy produced is 1607 watts with a hybrid system efficiency of 21.7%.

Keywords: solar energy, flywheel, hybrid system

PENDAHULUAN

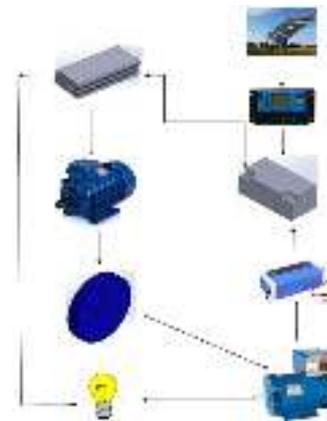
Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahun mengalami kenaikan karena disebabkan oleh pertambahan penduduk dan meningkatnya perkembangan dalam pembangunan sarana dan prasarana. Kestabilan sumber energi harus dijaga agar perkembangan bisa dengan cepat merata keseluruh Indonesia, beberapa bulan yang lalu sumber pembangkit listrik Jawa dan Banten mengalami kerusakan, mengakibatkan dunia industri bergejolak karena tidak bisa menjalankan kegiatan produksi, bukan hanya sampai disitu saja bahkan beberapa daerah di Indonesia mengalami gangguan di sistem informasi karena pemancar sinyal juga ikut padam karena energi cadangan seperti ganset tidak dapat mananggulagi dengan beban yang ada, sehingga internet menjadi down seperti media sosial dan penjualan online mengalami hal yang sama, banyak para pelaku bisnis online yang mengalami kerugian karena jaringan internetnya padam sehingga mereka tidak bisa melakukan transaksi penjualan.

Hal ini tidak boleh dibiarkan karena dapat merusak kestabilan suatu negara. Mengingat energi fosil yang sangat terbatas ketersediaannya dan tidak bisa diperbaharui di alam, maka energi terbarukan menjadi salah satu energi alternatif kemudian untuk mencari sumber energi yang dapat di perbaharui, seperti energi matahari, energi angin, energi energi panas bumi dan energi air yang terus dikembangkan untuk menjawab permasalahan krisis energi. Dalam mencari energi alternatif belakangan ini banyak yang menggabungkan dari beberapa sumber energi sebagai pembangkit listrik seperti energi angin dan matahari, energi matahari dan energi air dan masih banyak penggabungan energi lainnya untuk menghasilkan pembangkit listrik yang lebih efisien dan mudah dalam pengaplikasiannya. pada penelitian ini mencoba sumber energi alternatif dengan menggabungkan energi matahari dan energi yang tersimpan pada roda gila dari hasil rotasi kinetik untuk menggerakkan generator listrik dengan daya motor lebih kecil dari generator yang di gerakan dan baterai sebagai media penyimpan energi dari generator dan energi matahari, kemudian energi yang tersimpan di baterai di naikan tegangannya agar bisa digunakan untuk menjalankan sebuah sistem pembangkit listrik.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan ialah metode eksperimen, dengan melakukan uji coba pada beberapa komponen seperti solar panel, generator, motor penggerak dan roda gila sehingga data data tersebut dipakai untuk sebuah alat pembangkit listrik penggabungan antara energi

matahari dan energi yang tersimpan pada roda gila seperti yang terlihat pada gambar 1



Gambar 1 Flowchart sekema alat

Komponen komponen yang digunakan.

Flywheel (roda gila)

Spesifikasi *flywheel* (roda gila)

Diameter : 40 cm
 Lebar : 3,5 cm
 Berat : 20 Kg

Roda gila merupakan sebuah benda dengan berbagai macam bentuk yang berputar terhadap titik pusat massa. Pada umumnya berbentuk silinder pejal atau cakram yang memiliki massa dan jari-jari tertentu [1-3]. Mekanisme penyimpanan energinya menggunakan prinsip gerak rotasi, energi disimpan dalam bentuk energi kinetik rotasi. Besarnya energi yang tersimpan tergantung pada momen inersia dan kecepatannya saat berputar, roda gila akan menyimpan energi saat berputar karena dikenai gaya dalam bentuk energi kinetik rotasi dan akan melepaskan energi tersebut saat gaya yang mengenainya berkurang atau dihilangkan. Sebuah roda gila bisa berputar sampai puluhan ribu RPM tergantung dari material yang menyusunnya, semakin padat dan keras material semakin bagus karena dengan volume yang kecil massanya semakin besar dan selain itu juga akan semakin tahan jika diputar dengan kecepatan tinggi [4-6]. Parameter tersebut mempengaruhi momen inersia (I) suatu roda gila terhadap suatu sumbu putar didefinisikan sebagai perkalian massa partikel M dengan kuadrat jarak partikel R dari sumbu putar.

Untuk menghitung besarnya momen *inersia* dapat dilihat pada Persamaan 1 [7]

$$I = \frac{1}{2} M.R^2 \dots\dots\dots(1)$$

dimana: M = Massa *flywheel* (kg)

R = Jari-jari (m)

I = Momen inersia

Nilai momen *inersia* tetap karena dimensi roda gila tidak berubah-ubah. Menghitung kecepatan sudut roda gila (ω) dengan Persamaan 2 [7]

$$\omega = \frac{n.2.\pi}{60} \dots\dots\dots(2)$$

Untuk mencari percepatan sudu roda gila (α) dengan Persamaan 3 [8]

$$\alpha = \Delta\omega : \Delta t \dots\dots\dots(3)$$

Dimana: $\Delta\omega$ = Sudu percepatan
 Δt = Waktu

Untuk mencari torsi roda gila dengan Persamaan 4 [9]

$$\text{Diketahui } T = I . \alpha \dots\dots\dots(4)$$

Dimana I = Momen *Inersia*
 α = Percepatan sudut

Untuk menghitung daya yang tersimpan pada roda gila dengan Persamaan 5 [9]

$$P = \frac{2.\pi.n.T}{60} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana n = Kecepatan Putar = 1500 Rpm
T = Torsi

Generator yang akan digunakan pada alat ini jenis Ac 220 V dengan RPM 1400, 13 A dan daya *output* 3 Kw. Untuk perhitungan daya yang dapat dihasilkan generator setelah memanfaatkan putaran roda gila dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6

$$P = \frac{T.2\pi.n}{6000} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana: P = Daya (*watt*)
T = Torsi (Nm)
n = Jumlah Putaran (Rpm)
6000 = Konstanta

Motor Penggerak

Spesifikasi motor listrik
Merek : Mindong
Type : yc 901-4
Daya : 1.5 Hp 1100 Watt
Frekuensi : 50/60 Hz
Rpm : 1450-1700
Voltase : 220

Arus : 6 A

Motor penggerak yang digunakan pada alat ini adalah jenis Ac 220 volt, 1.5 Hp 1500 Rpm 5 A melalui alat ukur yang ada pada komponen panel motor listrik, adapun daya yang dikonsumsi oleh motor tersebut dapat dihitung dengan persamaan 7 [10]

$$P = I . V \dots\dots\dots(7)$$

Dimana: P = Daya motor (*Watt*)
I = Kuat arus (A)
V = Tegangan (Volt)

Panel surya

Pada pengujian ini solar surya yang dipakai ialah solar surya kapasitas 100 W/p 12 V yang dipararel sebanyak 2 buah , menjadi 200 W/p 12 V adapun jenis yang dipakai ialah monokristalin karena tipe ini yang paling baik menyerap intensitas matahari. Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh solar surya dengan persamaan 8 [10]

$$P_{max} = V . I \dots\dots\dots(8)$$

Dimana: V = Tegangan (Volt)
I = Kuat Arus (A)

Solar controler

Rate voltage : 12 v
Merek : Intelligent pwm
max charge/ discharger current : 30 a
max solar panel input voltage : 50 v
stop charger voltage : 14,7 v
low volteage recovery : 12,2 v
low voltage protection : 10,5 v

Charger Controller yang digunakan adalah MPPT 30 Ampere, karena besar nilai Isc (nilai arus maksimum yang dapat dikeluarkan panel surya / *Short Circuit Current*) pada panel surya adalah 5.6 Amper sehingga dengan total pemakaian 2 panel surya memerlukan BCR 30 Amper.

Baterai

Panasonic 12 v 75 ah
Type : lc-p127500na
Voltase : 12
Kapasitas : 75 Ah

Pada alat yang dirancang, sumber tenaga listrik yang digunakan pada saat *start up* motor penggerak ialah baterai dengan spesifikasi tegangan 12V 75Ah sebanyak 3 buah dan disusun pararel sehingga kapasitas baterai 225Ah 12 V. Daya yang dihasilkan oleh baterai dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8 [11].

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(8)$$

Dimana: P = Daya baterai (*Watt*)

I = Kuat Arus (*A*)

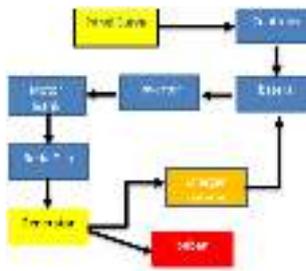
V = Tegangan (*Volt*)

Kapasitas waktu penyimpanan baterai dihitung dengan Persamaan 11

$$\text{Batrai}_{\text{cap}} = (I \text{ total beban} \times 1,2) \times t_{\text{rec}} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana: $\text{Batrai}_{\text{cap}}$ = kapasitas baterai (*Ah*)

T_{rec} = Waktu Cadangan



Gambar 2 Skematik sistem *hybrid*

Cara kerja dari pembangkit listrik system *hybrid* secara umum berurutan mulai dari energi yang dihasilkan oleh energi surya yang dimasukan kedalam kontroler dengan arus searah kemudian distabilkan tegangannya oleh kontroler lalu disimpan pada baterai, listrik yang tersimpan dibaterai karena tegangan nya rendah, maka dinaikan tegangannya menggunakan inverter yang sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menjalankan motor listrik dan menggerakkan roda gila yang tersambung ke poros generator, listrik yang dihasilkan oleh generator sebagian dipakai untuk charger baterai sebagian untuk dipakai menyalakan beban misal menyalakan lampu, kipas angin dan lain lain. dengan daya motor listrik yang lebih kecil dari daya keluaran generator yang di Gerakan seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Prosedur pengambilan dan pengumpulan data Pengambilan data panel surya

Pengujian alat dilakukan dengan menguji sel surya ditaruh pada lapangan terbuka agar terkena radiasi matahari dari jam 8 pagi sampai dengan jam 5 sore dengan melihat arus yang terlihat pada *solar controler* dan dilakukan pencatatan data setiap jam nya, serta dilakukan pengujian berulang selama 7 hari. Panel surya yang di gunakan kapasitas 100 W/p yang kemudian digabungkan menjadi 200 W/p 12 V.

Pengambilan data motor listrik

Pada pengambilan data pada motor listrik

ialah dengan mengukur arus yang terpakai menggunakan tang amper kiyoritsu dari 0 sampai lima menit pertama dalam menjalankan roda gila yang tersambung dengan poros generator dan dilakukan pengujian berulang sampai 7 kali percobaan.

Perhitungan roda gila

Dalam menentukan dimensi roda gila yang digunakan terlebih dahulu dihitung daya yang bisa tersimpan dari hasil rotasi kineti dengan melihat daya yang tersimpan harus mendekati dengan daya yang dikeluarkan generator, karena terbatasnya dimensi roda gila yang ada di pasaran, maka pada penelitian ini roda gila yang digunakan dengan diameter 40 cm dan berat 20 Kg dengan daya yang mampu di simpan sebesar 151 Watt.

Pengambilan data generator

Pengambilan data pada generator dengan dua variasi, yang pertama pengambilan data tanpa beban dengan mengukur rpm pada generator dengan menggunakan alat rpm meter digital dan terlihat pada rpm berapa generator bisa mengeluarkan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan. Yang kedua pengambilan data dengan beban listrik yang bervariasi, dengan melihat penurunan rpm pada poros generator ketika dikasih beban, sehingga diketahui beban maksimal dan tegangan terendah yang dikeluarkan oleh generator

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian motor listrik Sesuai spesifikasi daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor listrik sebesar 1320 Watt. Pada pengujian ini, motor memerlukan torsi yang besar untuk dapat memutar roda gila sehingga motor memerlukan arus yang besar agar memiliki torsi yang besar. Dapat dilihat pada menit pertama arus yang terukur sebesar 7 Ampere dengan tegangan 220 Volt akan tetapi pada menit ke 2 dan seterusnya mengalami penurunan arus, ini dikarenakan pada saat *start* awal motor memerlukan torsi yang besar untuk dapat memutar roda gila, Semakin besar arus listrik yang terpakai maka semakin besar juga torsi yang dihasilkan motor. Dapat dilihat pada Tabel 1 Arus yang terukur dari awal sampai menit ke 5 mengalami penurunan, karena untuk start awal memerlukan torsi yang besar. Nilai arus yang terukur semakin lama semakin berkurang dan kecepatan yang terukur juga semakin bertambah, dari Tabel 1 bisa dilihat bahwa untuk penggerak mula motor listrik untuk menggerakkan roda gila membutuhkan daya sebesar 1450 Watt yang terjadi pada menit pertama dan terus menurun daya konsumsi energinya dan

besarnya daya rata-rata yang dibutuhkan sebesar 1320 Watt

Tabel 1. Pengujian motor listrik untuk menggerakkan beban roda gila

Pengukuran Tegangan dan Arus													
Amper	percobaan ke 2		percobaan ke 3		percobaan ke 4		percobaan ke 5		percobaan ke 6		percobaan ke 7		rata-rata
(A)	Teg. (V)	Amper (A)	Teg. (V)	Amper (A)	Teg. (V)	Amper (A)	Teg. (V)	Amper (A)	Teg. (V)	Amper (A)	Teg. (V)	Amper (A)	amper
7	220	7	220	7	220	7	220	7	220	7	220	7	7
6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	6
6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	6
6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	6
6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	220	6	6



Gambar 3. Konsumsi energi motor listrik

Pada saat start motor listrik mengalami kenaikan arus, itu disebabkan karena memutar sebuah roda gila yang mempunyai berat 20 kg, meski dalam pengujiannya sudah dilakukan rekayasa *stansioner belt*, dengan cara dikendurkan dahulu beltnya agar beban motor listrik tidak terlalu berat atau dislipkan, jika tidak demikian maka motor listrik akan kelebihan beban karena pada penelitian ini motor penggerak lebih kecil dari generator yang digerakannya. Adapun besarnya arus yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 1. Dimana untuk star awal motor listrik membutuhkan energi sebesar 1540 Watt dan semakin lama semakin menurun daya yang dibutuhkan motor listrik untuk menggerakkan suatu sistem karena terbantu oleh rotasi kinetik yang ada pada roda gila dan besarnya energi rata-rata untuk menggerakkan motor listrik sebesar 1320 Watt yang terlihat pada Gambar 3.

Pengujian pada generator
 Daya keluaran maksimum generator:

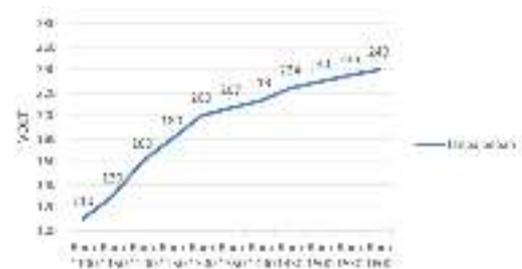
$$\begin{aligned}
 P &= I \cdot V \cdot F_d \\
 &= 13 \cdot 220 \cdot 0.85 \\
 &= 2.431 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dimana: I = Arus
 V = Tegangan
 F_d = Factor daya = 85%

Pada saat Pengujian generator *synchronous* dalam kondisi tanpa beban dengan pengaturan variasi kecepatan mulai dari 1200 sampai 1600 Rpm dengan menggunakan kapasitor berukuran 72 uF yang terhubung pada terminal keluaran jangkar, generator baru mengeluarkan tegangan pada saat kecepatan putar generator pada 1200 Rpm, hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2

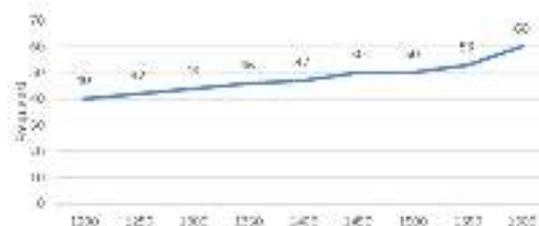
Tabel 2. Pengujian Generator Tanpa Beban

Kecepatan Putar (rpm)	Tegangan (v)	Frekuensi (hz)
1200	110	40
1250	130	42
1300	160	44
1350	180	46
1400	200	47
1450	215	50
1500	230	50
1550	250	53
1600	260	60



Gambar 4. Kecepatan putar terhadap tegangan dalam kondisi tanpa beban

Pada saat pengujian generator tanpa beban dari 0 sampai 1650 Rpm pada generator dapat terlihat pada rpm 1100 generator baru mengeluarkan tegangan sebesar 110 Volt dengan standar listrik yang ada di Indonesia menggunakan tegangan 220v, maka kecepatan putaran pada generator mulai 1450 sampai dengan 1550 karena jika diberikan beban mengalami penurunan putaran karena slip pada belt. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4, dan dari hasil pengujian tanpa beban generator dapat disimpulkan dalam kondisi baik sesuai dengan spesifikasi yang tertera pada plat produk.



Gambar 5. Kecepatan putar terhadap frekuensi dalam kondisi tanpa beban

Pada saat pengujian generator tanpa beban dari 0 sampai 1650 Rpm pada Gambar 5 dapat dilihat pada rpm 1200 generator baru mengeluarkan frekuensi sebesar 40 Hz dengan standar listrik yang ada di Indonesia menggunakan frekuensi 50-60 Hz, maka kecepatan putaran pada generator mulai 1450 sampai dengan 1550 atau dikasih spare maksimal 10 persen dari putaran yang ada di spesifikasi produk, karena jika diberikan beban pasti akan mengalami penurunan putaran karena slip pada belt.

Tabel 3. Pengujian beban generator

Pengujian beban	Beban (watt)	Voltase (v)	Rpm
Pengujian ke 1	600	220	1550
Pengujian ke 2	700	220	1550
Pengujian ke 3	800	220	1530
Pengujian ke 4	900	220	1510
Pengujian ke 5	1000	220	1500
Pengujian ke 6	1100	210	1470
Pengujian ke 7	1200	190	1420
Pengujian ke 8	1300	180	1380



Gambar 6. Pengaruh beban terhadap tegangan dan putaran

Hasil pengujian ketika generator dikasih beban bervariasi mulai dari 200 sampai maksimal di beban 1350 Watt motor listrik terus mengalami penurunan rpm sehingga menyebabkan tegangan yang keluar dari generator mengalami menurun sampai pada tegangan 180 Volt dan dibatasi sebagai beban maksimal yang bisa ditanggung oleh motor listrik untuk menggerakkan sebuah sistem ialah pada beban 1350 watt dengan tegangan 180 dan kecepatan rpm pada generator 1380 seperti yang tercatat pada Tabel 3

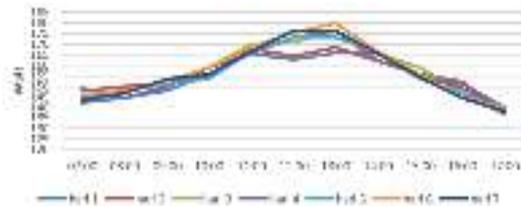
Untuk pengujian solar panel dicatat berdasarkan nilai intensitas matahari kemudian panel solar akan mengubah intensitas tersebut menjadi tegangan dan arus. Seperti Gambar 6. Data pengujian menunjukkan bahwa intensitas tertinggi selama pengujian selama 7 hari yaitu terjadi pada saat hari keempat antara jam 12.00 – 13.00. Pada saat itu sel surya mampu

menghasilkan teggangan 16,16 Volt dan Arus 11.2 Ampere, sehingga menurut Persamaan 3.4 daya keluarannya adalah:

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= V \cdot I \\
 &= 16,1 \cdot 11,2 \\
 &= 180,32 \text{ Watt.}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Perhitungan daya yang dihasilkan panel surya

Jam	Tabel Perhitungan Daya							Rata 2(Watt)
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari ke 7	
07:00	142.48	147.84	145.768	168.96	144.672	145.768	143.576	128.0834
08:00	144.672	150.08	147.96	144.672	147.96	147.96	146.864	126.4994
09:00	147.96	151.248	152.344	150.152	151.248	152.344	153.44	130.1109
10:00	155.632	154.536	158.92	158.92	153.44	158.92	155.632	134.3383
11:00	165.496	167.688	169.88	165.496	166.592	168.784	166.592	143.576
12:00	162.75	164.3	170.976	173.168	173.168	175.36	176.456	147.6326
13:00	165.9	168.54	176.456	176.456	173.168	179.744	176.456	150.1171
14:00	165.496	162.208	165.496	162.208	166.592	166.592	165.496	141.2274
15:00	153.44	155.632	158.92	155.632	153.44	155.632	154.536	133.3989
16:00	151.248	152.32	146.864	149.056	146.864	144.672	144.672	126.3497
17:00	140.288	137	139.192	139.192	137	140.288	138.096	115.2627



Gambar 7. Daya panel surya

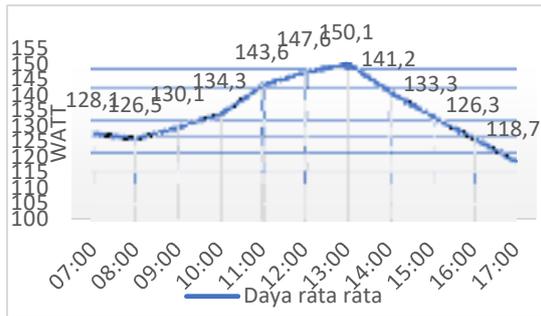
Pada pengukura selama 7 hari berturut turut daya tertinggi yang dihasilkan pada jam 13:00 pada pengujian hari kelima sebesar 173 watt dan pengukuran terendah pada jam 17:00 hari kelima dengan daya yg di hasilkan 118 watt. Dari perhitungan daya didapatkan daya pada pengukuran sebanyak 7 kali pengukuran, sehingga daya rata ratanya sebesar :

$$P_{\text{rata rata}} = \frac{p1+p2+p3+p4+p5+p6+p7}{7}$$

$$P_{\text{rata rata}} = \frac{154,124 + 155,58 + 157,525 + 158,53 + 155,831 + 157,824 + 156,528}{7}$$

$$P_{\text{rata rata}} = \frac{1095,9514}{7} = 156,56 \text{ Watt/Jam}$$

Pada pengukuran yang dilakukan selama 7 hari berturut - turut di lapangan terbuka di area kampus institut sains dan teknologi al - kamal daya yang dihasilkan dari panel surya dengan kapasitas 100 W/p 12 V yang dipararel menjadi 200 W/p 12 V, daya rata rata tiap jam yang dihasil sebesar 150.6 Watt yang terjadi pada jam13:00 dan daya terendah rata-rata tiap jam yang dihasilkan ialah 118 Watt pada jam 17:00 seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 8. Daya rata rata yang di hasilkan tiap jam

Hasil perhitungan roda gila Untuk menghitung besarnya momen inersia dapat di tentukan dengan rumus:

$$I = \frac{1}{2} M.R^2$$

$$= 0,5 \cdot 20 \cdot 0.20^2$$

$$= 0.4 \text{ Kg/m}^2$$

dimana: M = Massa roda gila(kg)

R = Jari-jari (m)

I = Momen inersia

Nilai momen *inersia* tetap, karena dimensi roda gila tidak berubah-ubah. Menghitung Kecepatan sudut roda gila (ω) Dengan Rumus:

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \cdot \pi}{60}$$

$$\omega = 1500 \cdot 2 \cdot 3.14 / 60$$

$$\omega = 9420/60$$

$$\omega = 157 \text{ rad/s}$$

untuk mencari percepatan sudut roda gila (α) dengan rumus:

$$\alpha = \Delta\omega : \Delta t$$

$$= 146,5 : 60 \text{ s}$$

$$= 2.441 \text{ rad/s}$$

Dimana: $\Delta\omega$ = sudu percepatan

Δt = waktu

untuk mencari Torsi roda gila

Diketahui: I = Momen Inersia = 0,4 kg m²

α = Percepatan Sudut = 2.441 rad / s

Ditanya : T = ...?

$$T = I \cdot \alpha$$

$$T = 2,401 \cdot 0,4$$

$$T = 0.9604$$

Untuk menghitung daya yang tersimpan pada roda gila

Diket: T = Torsi = 0.9604 Nm

n = Kecepatan putar = 1500 Rpm

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60}$$

$$= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500 \cdot 0,9604}{60}$$

$$= \frac{9.046}{60}$$

$$P = 150.7 \text{ Watt}$$

Daya yang tersimpa pada flywhell sebesar 150.7 Watt dengan dimensi diameter 40 Cm dan berat 20 Kg, memang terhitung sangat kecil sekali daya yang tersimpan dari beberapa variasi dimensi yang sudah di hitung sesuai Tabel 5.

Tabel 5. Tabel variasi dimensi roda gila

No	FLYWHEEL		RPM di pulley		Momen Inersia $I = \frac{1}{2} MR^2$ (kg.m ²)	Kecepatan Sudut $\omega = n \cdot 2\pi/60$ (rad/s)		Percepatan Sudut $\alpha = \Delta\omega/\Delta t$ (rad/s ²)		Torsi	Daya
	Berat (Kg)	Jari-jari (m)	1	2		Flywheel	Flywheel	Flywheel	T = I α (Nm)	P = 2 π n.T/60	
1	20	0.2	1480	1406	0.4	147.16	2.453	0.981	151.9751441		
2	35	0.3	1480	1406	1.575	147.16	2.453	3.863	598.4021297		
3	50	0.4	1480	1406	4	147.16	2.453	9.811	1519.751441		
4	65	0.5	1480	1406	8.125	147.16	2.453	19.928	3086.995114		
5	80	0.6	1480	1406	14.4	147.16	2.453	35.319	5471.105186		

Hasil analisis efisiensi sistem *hybrid*



Gambar 9. Sumber energi

Untuk besarnya energi yang dipakai menjalankan sebuah sistem dan besarnya energi yang di hasilkan oleh suatu sistem bisa dilihat pada Gambar 9. Energi maksimal yang dihasilkan oleh solar panel yaitu sebesar 171 W/p dan daya yang

dihasilkan rata-rata tiap jam nya sebesar 156 W/p dan energi rata-rata yang dihasilkan setiap hari oleh panel surya dengan asumsi maksimal pencahayaan radiasi matahari dalam satu hari adalah 7 jam sebesar 1092 W/h. Energi yang terimpan pada roda gila hasil dari rotasi kinetik dengan berat 20 kg dan diameter 40 cm sebesar 150,7 Watt/Jam. Generator maksimal menahan beban sebesar 1300 Watt dengan tegangan terendah 180 Volt. Sehingga sumber energi yang masuk dari energi matahari, energi yang tersimpan pada roda gila dan energi keluaran dari generator sebesar = 1607 Watt/Jam dan energi yang di pakai untuk menjalankan motor listrik untuk star awal sebuah system hibrida sebesar 1540 watt dan energi rata rata untuk menjalankan system pembangkit listrik hibrida energi matahari dengan roda gila sebesar 1320 Watt

$$E_{\text{efisiensi}} = \frac{1320-1607}{1320} = 21 \%$$

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengujian eksperimen sistem pembangkit listrik hibrida energi matahari dan energi roda gila dengan beberapa kali pengujian dengan menggunakan metode eksperimen atau uji coba didapatkan energi dari panel surya 100 W/ yang disusun paralel sebanyak dua buah menjadi 200 W/p 12 V didapat energi rata rata 156 Watt/Jam dan energi rata rata perhari diasumsikan energi maksimal radiasi matahari selama 7 jam yaitu sebesar 1092 W/h, energi yang tersimpan pada roda gila sebesar 156 Watt. Dan energi rata rata untuk menggerakkan Ssistem pembangkit listrik hybrid energi matahari dan roda gila sebesar 1320 Watt dengan energi listrik yang dihasilkan sebesar 1607 Watt dan efisiensi system sebesar 21,7%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Fathima and K. Palanisamy, "Optimization in microgrids with hybrid energy systems - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, pp. 431–446, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.01.059.
- [2] A. Joewono, R. Sitepu, and Peter R Angka, "Perancangan Sistem Kelistrikan Hybrid (Tenaga Matahari Dan Listrik PIn) Untuk Menggerakkan Pompa Air Submersibel 1 Phase Perancangan Sistem Elektrik Tenaga Hybrid Untuk Pompa Air," *J. Ilm. Widya Tek.*, vol. 16, pp. 61–66, 2017.
- [3] A. S. Arota, H. S. Kolibu, and B. M. Lumi, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (Energi Angin Dan Matahari) Menggunakan Hybrid Optimization

Model For Electric Renewables (HOMER)," *J. MIPA*, vol. 2, no. 2, p. 145, 2013, doi: 10.35799/jm.2.2.2013.3193.

- [4] P. Yuniarsih and F. Bachtayar, "Flywheel generator," pp. 2–4.
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kajian Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, Ebt dan Listrik*. 2017.
- [6] D. Suryana, "Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya)," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2016, doi: 10.36048/jtpii.v1i2.1791.
- [7] N. Publikasi and T. Akhir, "RANCANG BANGUN GENERATOR LISTRIK DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI YANG TERSIMPAN PADA FLYWHEEL (RODA GILA)," 2019.
- [8] D. Daniel and D. S. A. Sianturi, "Uji Performa Baterai Untuk Beban Utama Motor Dc Perahu Pulang Hari," *J. Kelaut. Nas.*, vol. 8, no. 2, p. 90, 2013, doi: 10.15578/jkn.v8i2.6227.
- [9] A. A. K. Arani, H. Karami, G. B. Gharehpetian, and M. S. A. Hejazi, "Review of Flywheel Energy Storage Systems structures and applications in power systems and microgrids," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. September 2015, pp. 9–18, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.166.
- [10] A. P. Rachmawan, I. M. Ariana, and I. Gerianto, "Analisa Pengaruh Flywheel Daan Firing Order Terhadap Proses Kerja Mesin Diesel," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [11] I. W. Wicaksono, "Analisa Sistem Propulsi Elektrik Hybrid Tenaga Surya Dan Generator Pada Perancangan Kapal Wisata Di Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara," 2016.