

DESIGN DAN PEMBUATAN PEMODELAN ENERGI HYBRID BERBASIS ENERGI MATAHARI DAN ENERGI HYDRO DENGAN BACK FLOW WATER SYSTEM

Heri Surtpto¹⁾ ✉, Saiful Anwar¹⁾, Amri Abdulah²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin
Universitas Pasir Pengaraian
herisurtpto@upp.ac.id
saifulanwar@upp.ac.id

²⁾Program Studi Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana
amri@stt-wastukencana.ac.id

Abstract

Hybrid power is a combination of two or more alternative energy sources to produce high-efficiency electrical energy under different load conditions. Hybrid energy research has been carried out through previous research, including combining solar and wind, solar and biomass, hydro, thermal, wind, solar and solar with thermoelectric generators. This study designs a hybrid power plant model based on solar and hydroelectricity with a water circulation system. Water falling from the upper reservoir into the lower reservoir is returned to the upper reservoir using an electric pump, and this study is a development of previous research related to alternative hydropower. The method used in this study is the Pahl and Beitz method, including design sketches, material selection, fabrication, and testing phases. The solar cell frame design produced by the Pahl and Beitz process is 100 cm high and 65 cm wide, and the module type used is a 3-piece polycrystalline module. The average power output produced by the 3 solar panels to the cells was 19.76 watts. The test produced 850 watts of total hybrid power, 600 watts DC from solar, and 250 watts DC from hydro.

Keywords: Hybrid Energy, Solar Energy, Hydro Energy, Pahl and Beitz Method, Module Output Power.

1. PENDAHULUAN

Energi *hybrid* adalah kombinasi dari satu sumber energi terbarukan dan satu sumber energi konvensional atau lebih dari satu sumber energi terbarukan yang dapat beroperasi pada jaringan yang terhubung ^[1]. Sistem energi *hybrid* yang menggabungkan energi terbarukan sangat membantu dalam meningkatkan laju beban dan mengurangi biaya pemeliharaan, karena teknologi ini saling eksklusif ^[2]. Kombinasi beberapa sumber energi alternatif lain seperti energi matahari, energi angin, energi biomassa, dan energi air juga telah dikembangkan [3-4-5-6-7]. Karena jumlah sumber energi konvensional yang terus berkurang, pengembangan sumber energi *hybrid* dianggap sebagai solusi yang paling menguntungkan. Energi *hybrid* berbasis energi alternatif memiliki banyak manfaat seperti biaya dan kelayakan energi serta manfaat lainnya ^[8].

Perancangan prototipe energi *hybrid* berbasis *mataharicell energy and thermoelectric generators* (TEG), merupakan pengembangan energi *hybrid* yang menghasilkan tegangan keluaran panel surya per TEG setiap 1 jam. Tegangan TEG menunjukkan maksimum 3,7 volt, dan tegangan campuran mencapai 37,4 volt ^[9]. Selain itu dikembangkan pula sumber

Corresponding Author:

✉ Heri Surtpto

Received on: 2021-10-29

Revised on: 2022-07-14

Accepted on: 2022-08-02

energi *hybrid* berbasis energi *mataharicell* dan energi *pico water* ^[10], dan hasil penelitian menghasilkan tegangan sebesar 6,72 volt dan arus sebesar 0,46 amp, serta daya yang dihasilkan *mataharicell* sebesar 33,25 watt. Skala optimal pembangkit listrik *hybrid* energi terbarukan merupakan kebijakan internasional untuk mengurangi efek rumah kaca dan emisi gas serta memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat ^[11]. Strategi manajemen penyimpanan daya *real-time* dalam sistem energi terbarukan *hybrid* memungkinkan sasaran optimal untuk mengatasi kekurangan yang terkait dengan keandalan pasokan keseimbangan energi ^[12].

Strategi manajemen energi dalam sistem energi terbarukan *hybrid* adalah istilah yang mengumpulkan semua prosedur sistem untuk mengontrol dan meminimalkan jumlah dan biaya energi yang digunakan ^[13]. Penggunaan energi *hybrid* terbarukan perlu ditinjau ulang, mengingat pertumbuhan konsumsi energi global yang pesat dan fakta bahwa sumber energi konvensional tidak lagi cukup untuk memenuhi permintaan energi, sehingga memicu krisis energi. Sistem energi terbarukan *hybrid* merupakan solusi yang sangat menjanjikan dan efisien ^[14]. Pemodelan *hybrid* hidro, angin, dan fotovoltaik adalah salah satu yang paling cocok untuk masyarakat pesisir ^[15]. Penelitian ini akan merancang dan membuat model energi *hybrid* berbasis tenaga surya dan air dengan sistem balik, dengan mempertimbangkan sistem rangkaian daya yang sesuai untuk teknologi tersebut.

2. METODE DAN BAHAN

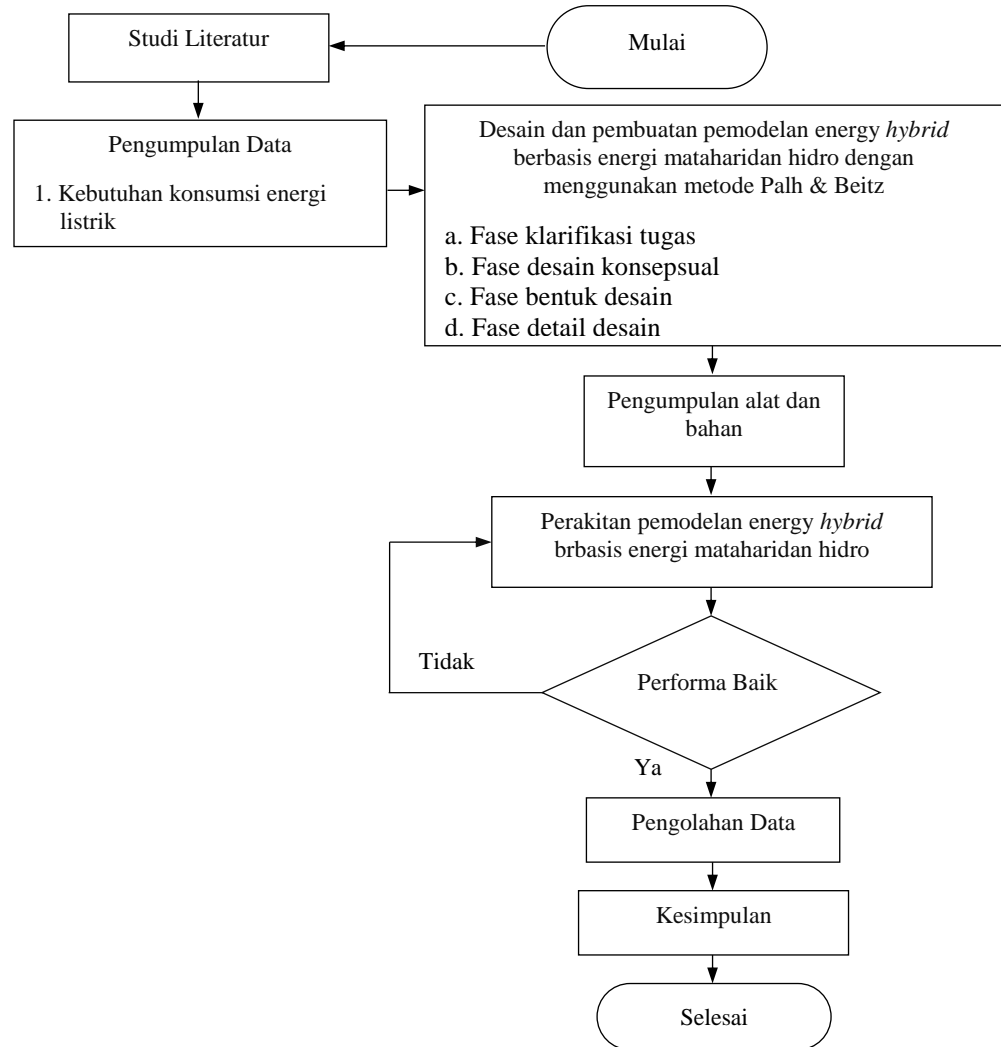
2.1. Metode

Metode yang digunakan untuk memodelkan energi *hybrid* berbasis mataharidan hidro adalah dengan menggunakan metode *Pahl & Beitz*, yang dituangkan dalam bentuk *flowchart* sebagai metode perancangan, seperti yang dijelaskan dalam bukunya *Engineering Design: A Systems Approach*. terdiri dari 4 kegiatan atau fase, yang meliputi:

- a. Fase klarifikasi tugas
- b. Fase desain konseptual
- c. Fase bentuk desain
- d. Fase detail desain

Desain dan pembuatan pemodelan energi *hybrid* berbasis energi mataharidan energi *hydro* dengan *back flow water system* dapat dilihat pada gambar 1. Untuk mengurangi kesalahan dalam desain, maka diperlukan pedoman dan tahapan desain yang baik untuk membuat desain akhir yang tepat. Proses penelitian mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1, dan tahap penelitian dimulai dengan penelitian kepustakaan untuk mencari bahan referensi yang relevan dengan penelitian. Tahap selanjutnya adalah pendataan, data yang terkumpul adalah kebutuhan listrik untuk menghidupkan pompa dan lampu 5 watt dan 3 watt. Tahap selanjutnya adalah merancang sistem energi *hybrid* menggunakan metode *Pahl & Beitz* yang harus dilakukan pada tahap ini. Tahap klarifikasi tugas, yaitu mengumpulkan informasi tentang spesifikasi masalah untuk memahami apa yang diperlukan untuk merancang pembangkit listrik *hybrid* berbasis surya dan air, tahap kedua dari pendekatan adalah tahap de-sain konseptual, yaitu menentukan konsep yang sesuai dan kemudahan perakitan, tahap ketiga dari metode tersebut adalah tahap *design form*, yaitu membuat bentuk desain sesuai dengan konsep yang tersirat pada tahap kedua, dan tahap keempat dari metode tersebut adalah tahap *design detail*, yaitu menjelaskan detail-detail yang dibutuhkan untuk merancang suatu desain. kendaraan *hybrid* berbasis sistem energi tenaga surya dan tenaga air. Tahap selanjutnya adalah mengumpulkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk merakit pembangkit listrik tenaga surya *hybrid*, dilanjutkan dengan tahap perakitan pemodelan

energi *hybrid* berupa perakitan tenaga surya dan tenaga air. Tahap selanjutnya adalah tahap pengujian untuk mengetahui unjuk kerja alat, termasuk merekam parameter-parameter yang ditampilkan pada alat uji. Tahap selanjutnya adalah pengolahan data, suatu kegiatan yang meliputi serangkaian perhitungan berdasarkan rumus-rumus yang diperlukan untuk sampai pada temuan dan kesimpulan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk membuat *solar-hydro hybrid* antara lain gerinda tangan, gerinda duduk, las, meteran, siku, kompresor udara elektroda dan pencakar. Bahan yang digunakan untuk energi surya adalah modul menggunakan modul jenis *Polycrystalin*, SCC 10 A, *inverter 500 watt*, baterai 50 Ah, ampere meter DC 30 v 10 A dan kotak panel berukuran 30 cm x 50 cm.

2.3. Pengumpulan Data

Studi ini menganalisis dua sumber energi alternatif, surya dan air, dan menggabungkannya menjadi sumber energi *hybrid* di mana sebagian energi matahari digunakan untuk menggerakkan pompa air yang mengangkat air selama putaran kincir air. Pompa akan bekerja selama 2 jam selama pengujian. Arus dan tegangan diukur ketika panel surya dan baterai terhubung dan baterai terhubung ke pompa ^[16]. Pengumpulan data dalam penelitian ini adalah kebutuhan listrik untuk mengoperasikan pompa sebesar 125 watt selama 2 jam, lampu 48 watt selama 1 jam. Untuk DoD (kedalaman pengisian) baterai sebesar 20% sehingga besar daya untuk total energi yang dibutuhkan keseluruhan sebesar 345,6 watt.

2.4. Perancangan energi hybrid berbasis energi matahari dan hidro menurut Pahl & Beitz

2.4.1. Fase klarifikasi tugas

Pada tahap ini, kebutuhan pelanggan (pasar) dinilai sehingga kebutuhan yang diharapkan untuk merancang pembangkit listrik berbasis sumber energi surya dan hidro. Dalam rangka memenuhi permintaan pasar yang lebih efisien dan murah, perlu dikembangkan energi listrik melalui sistem *hybrid*, dengan memanfaatkan dan menggabungkan dua atau lebih sumber energi alternatif yang tersedia di lingkungan hidup masyarakat. Hal ini membuat penerapan teknologi sistem energi *hybrid* lebih mungkin.

a. Uraian spesifikasi tugas (daftar kebutuhan)

Tentukan daftar kebutuhan (*requirements and wish*). Sebagaimana dibahas dalam Metodologi De-sain, kebutuhan dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu kebutuhan (D) adalah kebutuhan yang mutlak harus dipenuhi, dan keinginan (W) adalah kebutuhan yang perlu dipenuhi tetapi tidak penting.

Tabel 1. Daftar kebutuhan pembangkit listrik tenaga *hybrid* matahari dan hidro

D	REQUIREMENTS
W	
	<i>Kerangka modul</i>
D	Harus kuat dan kokoh untuk menopang modul panel surya
W	Tinggi 100 cm
D	Lebar 108,5 cm
D	Panjang 67 cm
W	Tebal 35 cm
	<i>Modul surya</i>
D	Harus mampu menyerap intensitas matahari baik dalam keadaan mendung maupun cerah
W	modul yang digunakan adalah modul 100 wp
	<i>Baterai</i>
D	Harus mampu memberikan energi listrik yang dibutuhkan dan murah
W	arus 50 Ampere
D	<i>Mataharicharge control</i>

	Harus mampu mengontrol arus yang keluar dari modul dan masuk ke baterai sebesar 20 A
D	<i>Inverter</i> Harus mampu mengkonverter arus DC ke AC, lebih tinggi <i>volt ampere</i> lebih baik menghasilkan arus AC,
W	Daya output 1000 watt
W	<i>Energi Hidro</i> Pembangkit listrik tenaga air yang dipilih adalah pembangkit listrik tenaga air dengan system aliran balik
D	<i>Kincir air</i> Kincir air yang digunakan dalam energi hidro tersebut kincir air jenis <i>overshot</i>
D	<i>Transmisi</i> Jenis transmisi yang digunakan harus mampu menghasilkan putaran tinggi, kecil gesekan dan tidak mudah slip
W	<i>Generator</i> Generator yang digunakan jenis arus DC 300 <i>watt</i>

2.4.2. Fase desain konseptual

Berdasarkan spesifikasi pada tahap 1 maka perlu dibuat beberapa konsep produk berdasarkan syarat-syarat dalam perancangan energi *hybrid* tersebut.

a. Identifikasi permasalahan

Penentuan solusi yang optimal harus dilakukan dengan hati-hati guna untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Identifikasi permasalahan dilakukan pada dasarnya untuk memberikan isyarat gambaran teknologi yang akan dikembangkan yang dapat dinikmati oleh masyarakat dengan harga yang relatif murah.

Tabel 2. Morfologi bahan

NO	ATRIBUT	VARIAN 1	VARIAN 2	VARIAN 3
1	KRANGKA MODUL	 Besi Holo	 BESI PROFIL U	 BESI PROFIL L
2	MODUL SURYA	 POLYCRISTALLINE	 MONOCRISTALINE	 MONOCRISTALINE
3	BATERAI	 30 AH	 50 AH	 60 AH

4	SCC	 10 A	 20 A	 30 A
5	INVERTER	 500 WATT	 1000 WATT	 1500 WATT
6	KINCIR AIR	 ALUMINIUM	 BESI	 STAINLESS
7	TRANSMISI	 Puli dan belt	 Gear	 Rantai dan gear
8	GENERATOR	 DC 250 watt	 DC 300 watt	 DC 500 watt

Dari persyaratan yang dibutuhkan pada tahap satu maka konsep yang sesuai dengan kebutuhan berdasarkan tabel 2 adalah kerangka dipilih varian 1, modul surya dipilih varian 1, baterai dipilih varian 2, SCC dipilih varian 2, inverter dipilih varian 2, kincir dipilih varian 1, transmisi dipilih varian 1, dan generator dipilih varian 2. Evaluasi varian terhadap kriteria teknis dan ekonomi perlu dilakukan untuk kebutuhan desain, hal ini dapat membantu untuk memilih beberapa solusi utama (konsep). Langkah ini dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Evaluasi varian terhadap kriteria kebutuhan

KATEGORI	SPEKIFIKASI ALAT 1	SPEKIFIKASI ALAT 2
Modul Surya	<i>Polycrystalin</i> Varian ini memenuhi kebutuhan	MONOCRISTALIN VARIAN INI TIDAK MEMPENGARUHI KEBUTUHAN
SCC	<i>PWM 12/24V 20A</i> Dengan 20A cukup untuk memenuhi kebutuhan arus pada baterai 50Ah	<i>PWM 12/24V 30A</i> VARIAN INI TIDAK MEMPENGARUHI KEBUTUHAN
Baterai	<i>12V 50 Ah</i> Dengan 50Ah cukup untuk memenuhi kebutuhan	<i>12V 70 Ah</i>

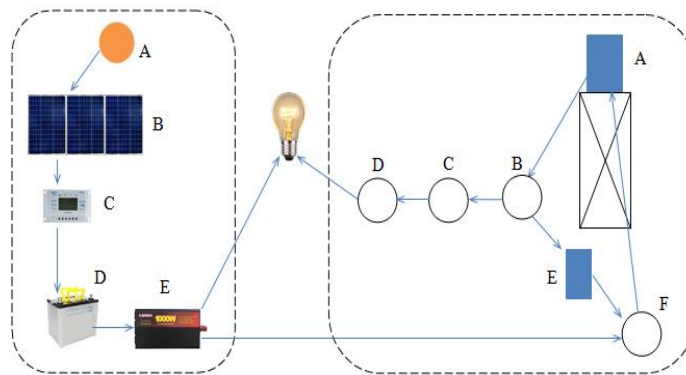
		VARIAN INI TIDAK MEMPENGARUHI KEBUTUHAN
Inverter	DC 12 V AC 220V 1000 watt Dengan 1000watt cukup untuk memnuhi kebutuhan	DC 12 V AC 220V 1500watt Untuk kebutuhan daya sebesar 345,6 watt maka 1000watt sudah memenuhi kebutuhan
Energi hidro aliran balik	Kincir overshot Akan menampung air yang jatuh dari reservoir atas sehingga dapat memberikan dorongan yang lenih besar	Kincir undershot Tidak dapat memberikan dorongan yang besar untuk kasus pembangkit listrik tenaga hidro dengan sistem aliran balik

2.4.3.. Fase bentuk desain

Dari tahapan desain konseptual maka diperoleh rancangan energi *hybrid* berbasis energi matahari dan hidro sebagai berikut:

- a. Tinggi kerangka energi surya 100 cm lebar 65 cm terbuat dari besi hollo 3 x 3 cm.
- b. Modul surya dipilih 100 wp *polycrystalline* agar dapat menyerap intensitas panas dalam keadaan be-rawan dan cerah sebanyak 3 unit agar dapat mensuplai energi sebesar 345,6 watt
- c. Baterai dipilih 12 volt 50 A telah cukup memenuhi kebutuhan energi listrik 345,6 watt
- d. SCC dipilih 12/24 volt 20 A cukup memenuhi kebutuhan arus pada baterai 50 A
- e. Inverter dipilih DC 12 volt AC 220 volt 1000 watt sesuai untuk suplai arus baterai 50A
- f. Kincir air dipilih palt aluminium kerangka besi agar tdak mudah berkarat dan ringan sesuai untuk supuai air aliran kecil
- g. Transmisi dipilih sistem puli dan belt mudah dalam pembuatan dan lebih murah
- h. Generator listrik pada energi hidro dipilih generator DC sesuai dengan suplai arus pada energi solar

Gabungan dari beberapa varian konsep dapat dijelaskan pada diagram berikut:



Gambar 2. Informasi diagram alir untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid*

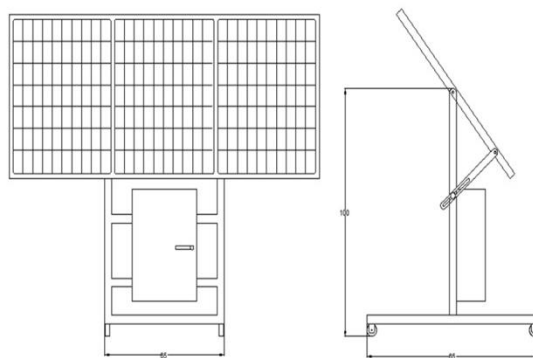
Keterangan pada gambar 2.a menjelaskan sistem alur pembangkit listrik tenaga surya dimana:

- A. Matahari – energi matahari akan berfungsi sebagai sumber energi panas yang diserap oleh modul surya dan dikonversi menjadi energi listrik
- B. Modul surya – modul surya akan berfungsi sebagai alat penyerap panas dan penghasil energi listrik melalui proses fotovoltaik
- C. SCC – *mataharicharge controler* akan bertindak sebagai alat *control* pengisian baterai secara otomatis
- D. Baterai – baterai akan bertindak sebagai penyimpan arus listrik yang dihasilkan dari sel surya
- E. *Inverter* – *inverter* akan bertindak sebagai alat untuk mengkonversi arus DC menjadi arus AC. Dalam hal ini akan digunakan untuk menghidupkan pompa listrik AC dan komponen listrik AC lainnya

Keterangan pada gambar 2.b menjelaskan sistem alur pembangkit listrik tenaga hidro dengan sistem aliran balik dimana:

- A. *Reservoir* atas – *reservoir* atas berfungsi sebagai tempat penampung air yang akan dialirkan ke kincir
- B. Kincir air – kincir berfungsi sebagai penggerak generator dimana energi kinetik air dirubah menjadi energi gerak berupa putaran.
- C. Transmisi – transmisi bertindak sebagai penerus putaran dari kincir ke generator
- D. Generator – generator berfungsi sebagai penghasil energi listrik dimana energi gerak berupa putaran dirubah menjadi energi listrik.
- E. *Reservoir* bawah – *reservoir* ini bertindak sebagai penampung air yang jatuh dari kincir yang akan dinaikan kembali ke *reservoir* atas.
- F. Pompa listrik – pompa listrik bertindak sebagai alat memindahkan air dari *reservoir* bawah ke *reservoir* atas

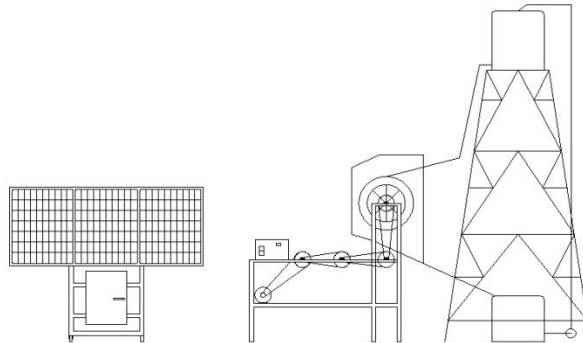
Modul surya yang digunakan memiliki daya sebesar 100 wp sebanyak tiga unit modul surya. Sistem pembangkit listrik ini di mana panas matahari diserap oleh modul surya kemudian energi yang dihasilkan modul surya dialirkan ke baterai melalui SCC, arus baterai (DC) dirubah ke AC menggunakan inverter seperti terlihat pada gambar 3. Arus yang dihasilkan oleh panel surya ini 30 % digunakan untuk mengoperasikan pompa pada energi hidro.



Gambar 3. Layout awal untuk pembangkit listrik *hybrid*

Adapun *layout* yang sesuai telah didesain sesuai kebutuhan. *Layout* yang telah diambil seperti terlihat pada gambar 3.

Bentuk desain lengkap dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Layout akhir untuk pembangkit listrik *hybrid*, (a) Pembangkit listrik tenaga solar, (b) Pembangkit listrik tenaga hidro dengan *back flow-water system*.

2.4.4. Fase detail desain

Setelah tahap 1,2,3 dan 4 pada metode *palh & beitz* selesai maka selanjutnya adalah tahap assembli. Adapun detail desain yang akan diasembli seperti terlihat pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Spesifikasi detail desain yang akan diasembli

NO	KOMPONEN	SPESIFIKASI
1	Kerangka modul	Besi Hollo 30 mm x 30 mm x 2 mm
2	MODUL SURYA	<i>Polycrystalline</i> 103,5 x 65 x 7,5 cm 100 wp
3	Baterai	Premium N50L 50 Ah
4	SCC	VS2024A
5	Inverter	DC 12 V AC 220V 1000 watt
6	Kincir	Plat Alumunium tebal 1.2 mm dilapisi besi strip 2 x 2 cm
7	Transmisi	Diameter besar 300 mm diameter kecil 80 mm dengan bentuk v 12,5 mm menggunakan v belt A-50
8	Generator	TLS DC 24 volt 300 watt 7000 rpm

2.5. Perwujudan desain dan pembuatan energi *hybrid* berbasis energi matahari dan energi hidro

Setelah tahap desain selesai di assembli maka selanjutnya dilakukan tahap pengujian, berikut realisasi alat pembangkit listrik *hybrid* berbasis energi matahari dan hidro yang telah selesai diasembli seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Realisasi pembangkit listrik *hybrid* berbasis energi matahari dan energi hidro

2.6. Tahapan-tahapan pengujian

Tahap pengujian dibagi menjadi dua bagian, tahap pertama adalah pengujian energi matahari dan tahap kedua adalah pengujian energi air. Kegiatan pengujian energi surya berupa pencatatan angka yang dipancarkan oleh alat uji seperti SCC, dan *iluminometer*, sedangkan energi air dicatat pada alat uji amperemeter Ya, catat *voltmeter* pada generator.

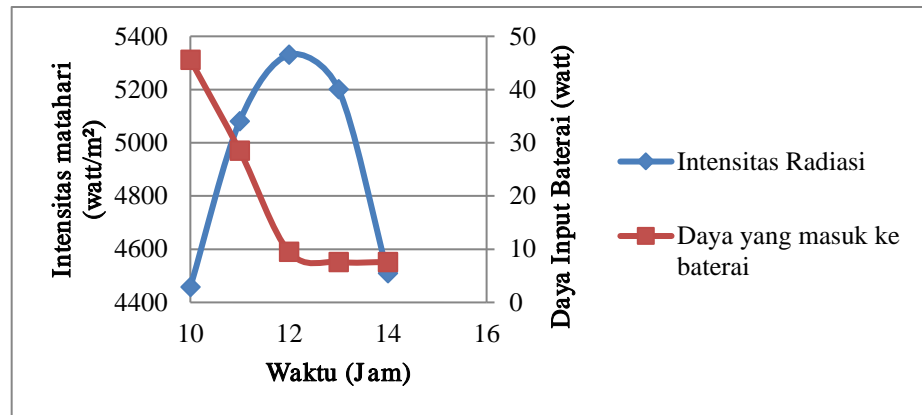
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengujian energi solar

Pada pengambilan data uji surya dari pukul 10.00 WIB sampai dengan pukul 14.00 WIB, intensitas matahari yang diukur menggunakan lux meter tercatat pada pukul 11.00 WIB, sebesar 4458 watt/m², dengan intensitas matahari maksimal pukul 12.00 WIB, sebesar 5331 watt/m². Yang terendah adalah pukul 14.00 WIB, 4509 W/m². Catatan pada *voltmeter* menunjukkan tegangan rata-rata 19 volt dan arus rata-rata 1,04 amp. Data pengujian ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Data pengujian energi matahari masuk ke baterai

JAM	CUACA	TEMPERATUR (°C)			VOLTASE (V)	RADIASI MATAHARI (WATT/M ²)	ARUS (A)	DAYA (WATT)
		1	2	3				
10.00	CERAH	58	57,6	57,1	19	4458	2,4	45,6
11.00	CERAH	62	61	60,4	19	5081	1,5	28,5
12.00	CERAH	63	61	61	19	5331	0,5	9,5
13.00	CERAH	61	60	58	19	5201	0,4	7,6
14.00	CERAH	54,9	54,5	54,5	19	4509	0,4	7,6
Total/Rata-rata		59,7	58,82	58,2	19	4916	5,2	98,8
Rata-rata		58,93			19	4916	1,04	19,76



Gambar 6. Grafik hubungan waktu terhadap intensitas matahari dan daya input baterai

Gambar 6 menunjukkan hubungan waktu dan intensitas matahari dengan daya input baterai, hubungan waktu dan intensitas matahari menunjukkan kecenderungan naik turun yang disebabkan oleh waktu dan insolasi, intensitas matahari maksimum ditunjukkan pada pukul 12.00 WIB yaitu 5331 W/sqm, kemudian tren turun menjadi 1.00 hingga 2.00 WIB. Grafik waktu *versus* daya input baterai menunjukkan tren menurun karena kapasitas daya keluaran modul surya telah memaksimalkan daya ke baterai. *Level* maksimum baterai isi ulang pada indikator menunjukkan 19 volt, 0,4 A, dan 13.00 WIB.

3.2. Pengujian energi hidro

Saat baterai terisi penuh, dilakukan uji operasi pompa air untuk memindahkan air yang jatuh dari reservoir atas. Daya yang dibutuhkan pompa adalah 125 watt, sehingga pada saat baterai terisi penuh daya yang dihasilkan adalah $12 \times 50 \text{ Ah} = 600 \text{ watt}$ kondisi ini cukup untuk mensuplai energi listrik pada pompa tersebut, pengujian pompa dapat berjalan selama 180 menit. Pengujian daya dilakukan pada air yang masuk ke kincir air dengan sistem bukaan katup, buka setengah menghasilkan 7 volt dan 0,9 amp, bukaan katup tiga perempat menghasilkan 9 volt dan 1,01 amp, dan buka penuh menghasilkan 13 amp Volt, ampere 1,5 amp.

NO	BUKAAN KATUP	VOLTASE	AMPERE	DAYA (WATT)
1	½ bukaan	7	0,9	6,3
2	¾ BUKAAN	9	1,01	9,09
3	Bukaan <i>full</i>	13	1,5	19,5

Pada bukaan *full* putaran yang dihasilkan generator sebesar 6000 rpm sehingga daya yang dihasilkan generator sebesar 250 watt. Total energi yang dihasilkan dari energi *hybrid* berbasis energi matahari dan energi hidro adalah 850 watt di mana untuk energi matahari sebesar 600 watt DC dan energi hidro sebesar 250 watt DC

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian terhadap tiga modul surya 100 WP menunjukkan bahwa dibandingkan penelitian sebelumnya, arus dari modul ini sangat stabil saat melakukan pengisian baterai 50 Ah. Pengujian dilakukan selama 4 jam sehari dalam kondisi cuaca cerah. 3 unit modul

polysilicon 100 Wp dipilih untuk modul surya dalam penelitian ini, SCC menggunakan 12/24V 20A PWM, *inverter* menggunakan DC 12 V AC 220V 1000 watt, dan baterai yang digunakan 12V 50Ah. Hasil pengujian menunjukkan suhu rata-rata 58,93oC untuk modul 3 pcs. Tegangan keluaran modul ke baterai adalah 19 volt, arus total rata-rata 1,04 A, dan daya total rata-rata 19,76 watt. Waktu yang dibutuhkan modul untuk mengisi baterai dalam pengujian adalah 100 menit. Baterai tersebut mampu menjalankan pompa listrik 125 watt selama 180 menit. Total daya hybrid berbasis solar dan hydro adalah 850 watt, dimana 600 watt DC untuk solar dan 250 watt untuk *hydro*.

PERNYATAAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi, LPPM Universitas Pasir Pengaraian dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian atas bantuan dan fasilitas yang diberikan kepada peneliti sehingga penelitian ini dapat terselenggara dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAJPAI, P., & DASH, V., “*Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review. Renew Sustain Energy*”, Rev [Internet], v.16, n.5, 2926–39, 2012.
- [2] ZUBAIR, A., ABDULLA, T. A., & HASAN M. M., “*Optimal Planning of Standalone Solar-Wind-Diesel Hybrid Energy System for a Coastal Area of Bangladesh*”. Int J Electr Comput Eng, v.6, n.2, 731–8, 2012.
- [3] RAYMOND, D. B., MARTIN, A. C., & MARC, A. R., “*Feasibility Study of a Hybrid Matahari and Wind Power System For an Island Community in the Bahamas*”. International Journal Of Renewable Energy Research, v.6, n.3, 2016
- [4] MARIA, F. A. V., FERNANDO, R. M., ENIO, B. P., “*Case study for hybrid power generation combin-ing hydro and photovoltaic energy resources in the Brazilian semiarid region*”. Clean Technologies and Environmental Polycrystalline, 2019
- [5] REZA, H., “*Optimal cogeneration and scheduling of hybrid hydro-thermal-wind-matahari system in-corporating energy storage systems*”. Journal Of Renewable And Sustainable Energy, v.10, n.1, 2018
- [6] MUHAMMAD, S. J., DAN, Z., TAO, M., AOTIAN, S., SALMAN, A., “*Hybrid pumped hydro and bat-tery storage for renewable energy based power supply system*” Applied Energy, v.25, n.7, 2020
- [7] A. D. DHASS., S. HARIKRISHNAN., “*Cost effective hybrid energy system employing solar-wind-biomass resources for rural electrification*”. International Journal Of Renewable Energy Research, v.3, n.1, 2013
- [8] YASHWANT, S., S.C. Gupta., & AASHISH, K. B., “*Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system*”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.81, 2018
- [9] MOHAMAD, R., NURMALA, S. D., RIFALDO, P., “*Perancangan Prototype Hybrid Energi Antara Matahari Cell Dan Thermoelectric Generator (Teg)*”. Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering, v.3, n.1, 2020
- [10] SLAMET, H., GATOT, S., & MUHAMAD, W. F., “*Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Matahari Cell dan Pico Hydro di Dusun Wukirsari*”. Journal of Appropriate Technology for Community Services, v.2, n.1, 2021

- [11] TONG, W., HAO, Z., & LIXIA, S., “*Optimal sizing of a grid-connected hybrid renewable energy systems considering hydroelectric storage*”. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 2020
- [12] DANA, A. C., LINDA, B., & GHEORGHE, L., “*Real-time stochastic power management strategies in hybrid renewable energy systems: A review of key applications and perspectives*”. *Electric Power Systems Research*, 2020
- [13] LANRE, O., SAAD, M., M.S.Ismail., M.Moghavvemi., “*Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.62., 2016
- [14] SHAOPENG, G., QIBIN, L., JIE, S., & HONGGUANG, J., “*A review on the utilization of hybrid re-newable energy*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.91., 2018
- [15] E.N. NYECHE, E.O. DIEMUODEKE., “*Modelling and Optimisation of a Hybrid PV-Wind Turbine-Pumped Hydro Storage Energy System for Mini-Grid Application in Coastline Communities*”. *Journal of Cleaner Production*, n250., 2020
- [16] HERDI, S., HERRI, D., MUKHLIZAR., NUZULI, F., “*Performa Panel Surya 2x50 WP Pada Mesin Panen Padi Mini Dua Lajur*”. *Rekayasa Mesin*, v.12, n.2, 2021