

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Panel Surya dan Pikohidro (PLTH PV-Hydro) pada Water Reservoir Tank

Asyrofi Muttaqin¹, Syukriyadin Syukriyadin^{*2}, Syahrizal Syahrizal³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111, Aceh, Indonesia

¹asyrofimuttaqinoemar@gmail.com

^{*2}syukriyadin@usk.ac.id

³syahrizal.ee@usk.ac.id

Abstrak— Energi yang terdapat pada aliran air dari tangki dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik tambahan yaitu dengan membuat Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh). Akan tetapi aliran air yang dihasilkan tentu saja tidak cukup kuat karena hanya mengandalkan tinggi peletakan tangki dan debit air yang tidak terlalu besar. Maka dimanfaatkan juga energi dari cahaya matahari untuk digunakan secara bersamaan dan menjadi sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PV-Hydro (PLTH PV-Hydro) dengan tujuan menghasilkan energi alternatif yang lebih optimal. PLTH PV-Hydro ini dirancang menggunakan penggabungan panel surya *monocrystalline* 10 WP dan dua buah generator DC 10W yang sudah dikopel dengan turbin. Jarak antara titik jatuh air ke generator dirancang setinggi 2 meter dan menggunakan baterai VRLA 12 V 5Ah sebagai sistem penyimpanan energi listrik. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengukuran debit air sebesar $147,82 \text{ cm}^3/\text{s} = 147,82 \times 10^{-3} \text{ l/s}$. Daya total yang mampu dihasilkan PLTH adalah sebesar 5,32 Watt dengan menggunakan beban lampu 5 Watt dan mampu mengisi baterai dalam waktu 6 Jam.

Kata Kunci— PLTH, PV-Hydro, Hybrid, VRLA, Water reservoir tank.

I. PENDAHULUAN

Water reservoir saat ini hanya digunakan untuk menampung air sebelum digunakan. Bahkan ketika digunakan, energi dari aliran air yang dipakai hanya terbuang begitu saja. Tentu saja hal tersebut masih dapat dioptimalkan dengan memanfaatkan energi yang ada. Energi kinetik yang terdapat pada aliran air dari tangki dapat dimanfaatkan sebagai energi penggerak tambahan yaitu dengan membuat Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh). Akan tetapi aliran air yang dihasilkan tentu saja tidak cukup kuat karena hanya mengandalkan tinggi peletakan tangki dan debit air yang tidak terlalu besar. Di sisi lain, potensi energi baru terbarukan yang dihasilkan alam juga masih cukup besar untuk dikembangkan dan dimanfaatkan, contohnya seperti intensitas cahaya matahari yang akan selalu ada [1]. Potensi sinar matahari tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik menggunakan panel surya.

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan pembangkit listrik mikrohidro dan tenaga surya sudah banyak dilakukan sebelumnya, seperti S. Hani, G. Santoso, and M. Wahyu Firmansyah yang melakukan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar Cell dan *Picohydro* di Dusun Wukirsari. Penelitian tersebut dilakukan di aliran air irigasi atau selokan dengan menggunakan dua kincir air dan sebuah *solar cell* 50 WP [2]. Kemudian S. Barus, S. Aryza, P. Wibowo, S. Anisah, and Hamdani melakukan penelitian Rancang Bangun Pemanfaatan Aliran Tandon Air Gedung Bertingkat Sebagai Pembangkit Listrik Mikro Hidro. Penelitian tersebut dilakukan dengan memanfaatkan aliran tandon air (*water reservoir*) untuk menggerakkan turbin dan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [3].

Pada riset ini, dirancang prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) yang menggabungkan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh) serta Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) agar dapat memaksimalkan keluaran daya yang dihasilkan. Prototipe alat ini dirancang dengan meletakkan panel surya di atas tangki *water reservoir* dan menggunakan dua buah turbin yang sudah dikopel dengan generator di saluran pipa *water reservoir* secara paralel. Keluaran yang dihasilkan dari prototipe alat ini diharapkan dapat menjadi sumber energi alternatif.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) didefinisikan sebagai pembangkit yang menggabungkan dua buah sumber energi listrik menjadi sebuah kesatuan sehingga memperoleh sinergi yang menguntungkan [4]. Contohnya seperti PLTH PV-Hydro yang menggabungkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Dengan digabungkannya kedua sistem tersebut maka akan mengoptimalkan energi yang dihasilkan. Bahkan ketika kondisi cahaya matahari kurang memadai, sumber listrik tetap akan dihasilkan dari turbin air, sebaliknya ketika aliran air kurang memadai maka sumber listrik akan dihasilkan dari panel surya.

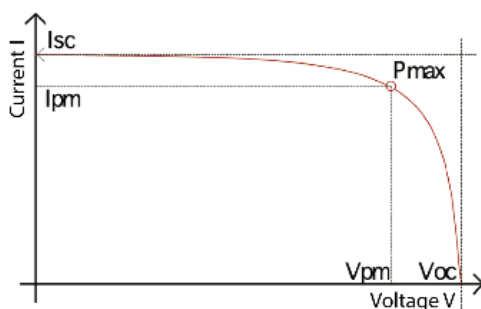
B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sebuah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan paket foton dalam cahaya matahari yang menumbuk elektron dalam panel surya sehingga menjadi energi listrik [5]. Faktor yang dapat mempengaruhi energi keluaran yang dihasilkan panel surya diantaranya tingkat polusi udara, ketinggian dari permukaan laut, awan dan kecerahan intensitas cahaya matahari.

1) *Prinsip Kerja Panel Surya:* Prinsip dasar pembangkit listrik tenaga surya yaitu mengubah energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik. Panel surya merupakan sebuah perangkat semikonduktor yang mampu mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Bahan semikonduktor memiliki partikel proton-elektron yang apabila diberikan energi dari luar maka akan melepaskan elektron dan menghasilkan arus listrik dan pasangan hole elektron. Modul surya akan bekerja dengan menyerap cahaya matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik (energi foton) dan menghasilkan energi kinetik yang dapat melepaskan elektron-elektron ke pita induksi, sehingga menghasilkan arus listrik. Semakin tingginya intensitas cahaya matahari maka semakin besar energi kinetik yang dihasilkan.

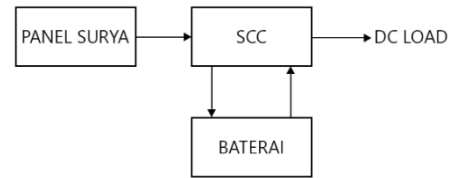
2) *Karakteristik Panel Surya:* Panel surya memiliki hubungan dengan arus dan tegangan yang dapat dilihat dari kurva I-V, maka didapatkan parameter lain seperti V_{oc} (tegangan tanpa beban), I_{sc} (arus hubung singkat), fill factor (FF) dan efisiensi (η). Pada Gambar 1 dapat dilihat tegangan (V) berada pada sumbu horizontal dan arus (I) berada pada sumbu vertikal [6]. Untuk menghitung nilai Fill Factor dapat digunakan persamaan (1) dimana I_{mp} adalah arus maksimum, V_{mp} merupakan tegangan maksimum, I_{sc} yaitu arus hubung singkat, dan V_{oc} untuk tegangan tanpa beban [7].

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1)$$



Gambar 1 Kurva karakteristik V-I panel surya

3) *Komponen Utama PLTS:* Dalam sebuah sistem PLTS, terdapat beberapa komponen penting yang tersusun dari panel surya, Solar Charge Controller (SCC), dan juga baterai sebagai media penyimpanan energi seperti yang ditunjukkan diagram blok Gambar 2 sistem PLTS dengan beban DC.

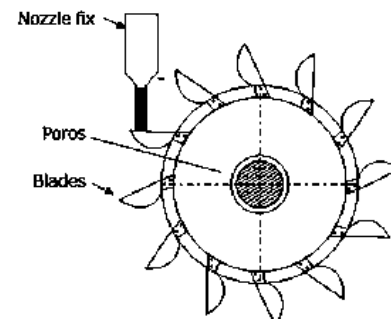


Gambar 2 Diagram blok sistem PLTS beban DC

C. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh)

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh) merupakan sistem pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air skala kecil sebagai sumber energi dengan kapasitas daya yang mampu dihasilkan sebesar < 5 KW dengan ketinggian head < 10 meter [8]. PLTPh pada prinsipnya memanfaatkan sudut kemiringan atau beda ketinggian dan jumlah debit air per detik pada sumber aliran air seperti saluran irigasi, air terjun ataupun sungai yang mana aliran air akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik yang akan memutar generator dan akan menciptakan energi listrik [9].

1) *Turbin Sebagai Penggerak Generator:* Turbin air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 merupakan perangkat terpenting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air, dimana energi potensial fluida yang dihasilkan aliran air menggerakkan turbin dan menghasilkan energi kinetik, kemudian energi tersebut diubah menjadi energi mekanis yang mana energi tersebut akan memutar poros pada generator dan mengubahnya menjadi energi listrik [10]. Dapat diartikan secara umum, turbin merupakan mesin penggerak awal dimana energi yang diberikan fluida langsung memutar roda turbin, yang mana fluida dapat berupa air.



Gambar 3 Sketsa kasar turbin air

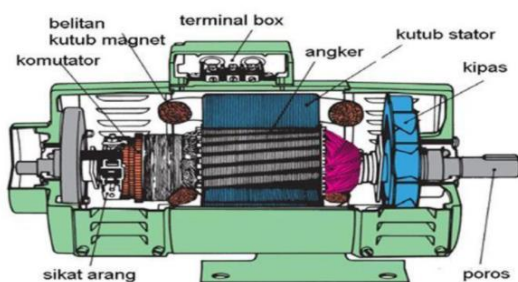
2) *Modul Kontrol Charger XH-M603:* Modul kontrol charger XH-M603 merupakan sebuah perangkat pengantar pengisian aki dengan power transistor switching yang bekerja jika pengeluaran sudah mencapai kapasitas pengisian. Modul kontrol charger berfungsi sebagai pengatur pengisian baterai agar tidak mengalami overcharge [11].

3) *Generator DC:* Generator merupakan alat konversi energi mekanis menjadi energi listrik arus searah dan biasanya menggunakan induksi elektromagnetik dalam sistem kerjanya. Kumparan kawat penghantar di dalam medan magnet dapat berputar dengan adanya energi mekanik. Pada kumparan kawat penghantar akan timbul Gaya Gerak Listrik (GGL)

induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan fluks yang dilingkupi oleh kawat penghantar [12]. Pada dasarnya mesin DC bisa dioperasikan sebagai generator ataupun motor. Motor DC dibagi menjadi dua berdasarkan jenis penguatnya, yaitu motor penguat terpisah dan motor penguat sendiri.

4) *Prinsip Kerja Generator DC*: Prinsip kerja generator DC dihasilkan pembangkit listrik melalui induksi dengan dua cara yaitu menghasilkan tegangan induksi bolak-balik dengan menggunakan cincin seret dan menghasilkan tegangan DC sedang menggunakan komutator. Ketika rotor berputar pada medan magnet, maka lilitan kawat pada rotor akan mengalami perpotongan medan magnet. Rotor pada generator DC akan menghasilkan tegangan bolak-balik dan fungsi dari komutator adalah sebagai penyearah tegangan itu sendiri menjadi DC. Besarnya tegangan yang dihasilkan akan sebanding dengan perputaran yang dihasilkan rotor [13].

5) *Konstruksi Generator DC*: Generator DC dibuat dengan menggunakan magnet permanen, regulator tegangan digital, sistem proteksi tegangan berlebih, penyearah, starter eksitasi, rotor, bearing dan casis. Konstruksi generator DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang berputar (rotor). Yang termasuk rotor adalah jangkar, kumparan jangkar dan komutator. Sedangkan yang termasuk stator adalah rangka, komponen sikat dan komponen magnet [14].



Gambar 4 Konstruksi generator DC

6) *Perhitungan Potensi Daya PLTPh*: Perhitungan potensi daya air dilakukan dengan mengukur debit aliran air dan ketinggian jatuh air dan nilai yang didapatkan dapat dimasukkan dalam persamaan besar daya (2) [15]. Pada persamaan 2 tersebut, P merupakan daya air yang dibangkitkan (Watt), eff_{turbin} merupakan efisiensi turbin (0,8), g merupakan percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$), Q untuk debit aliran air (m^3/s) dan h yaitu tinggi air jatuh (m). Untuk menghitung debit air digunakan persamaan 3 dimana V adalah volume air dan t adalah waktu.

$$P = g \times Q \times h \times eff_{turbin} \quad (2)$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Untuk dapat menghitung debit air, dibutuhkan perhitungan volume air. Pada penelitian ini, air ditampung pada tangki/ember yang berbentuk kerucut terpancung. Sehingga untuk mengukur volume cairan, digunakan persamaan-persamaan (4), (5), dan (6). Adapun t adalah tinggi kerucut, s adalah garis pelukis kerucut, dan r adalah jari-jari bidang alas kerucut. Pada perhitungan volume cairan pada persamaan 5, R dan r merepresentasikan jari-jari lingkaran besar dan lingkaran kecil. Sedangkan untuk menghitung tekanan P pada persamaan 6, ρ merepresentasikan massa jenis air (1000 kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi dan h merupakan tinggi permukaan dari lubang jatuh air.

$$t = \sqrt{s^2 - r^2} \quad (4)$$

$$\text{Volume cairan} = \frac{1}{3} \times \pi \times t(R^2 + Rr + r^2) \quad (5)$$

$$P = \rho \times g \times h \quad (6)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Penentuan Kapasitas Beban

Beban yang digunakan pada rancangan ini merupakan sebuah lampu DC dengan daya 5 Watt 12V yang diperkirakan akan digunakan sekitar ± 5 jam per hari. Maka untuk mengetahui total penggunaan beban per hari (E_t), dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_t = 5W \times 5h$$

$$E_t = 25Wh$$

B. Penentuan Kapasitas Pembangkit PV dan Generator DC

Pada penelitian ini, beban yang digunakan yaitu satu buah lampu DC 5 Watt 12V dan diperkirakan akan menyala selama ± 5 jam per hari dengan estimasi daya beban total sebesar 25 Wh per hari. Pembangkit yang akan digunakan adalah satu buah panel surya berjenis monocrystalline dengan daya 10WP dan dua buah Pico Hydro Generator F50 10W 12V DC. Penggunaan panel surya dihitung dengan membagi jumlah total daya beban per hari dengan efektifitas waktu penyerapan panel surya terhadap cahaya matahari selama ± 5 jam. Maka kebutuhan panel dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan panel} = \frac{25W}{5h}$$

$$\text{Kebutuhan panel} = 5WP$$

Untuk mengetahui lama waktu penggunaan baterai terhadap beban lampu 5 Watt dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{5W}{12V}$$

$$I = 0,41A$$

$$t = \frac{5 \text{ Ah}}{0,41 \text{ A}}$$

$$t = 12,19 \text{ jam} - 20\% \text{ efisiensi baterai}$$

$$t = 12,19 - 9,752$$

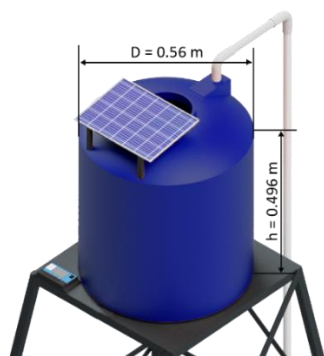
$$t = 9,752 \text{ Jam}$$

C. Perancangan Sistem PV

Panel surya yang digunakan adalah panel surya 10WP berjenis Monocrystalline dan akan diletakkan di atas tangki air dengan tujuan agar panel surya dapat menyerap cahaya matahari dengan baik. Spesifikasi panel surya yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel I. Gambar 5 merupakan topologi rancangan peletakan panel surya pada tangki air.

TABEL I
SPESIFIKASI PANEL SURYA MONOCRYSTALLINE 10 WP

Spesifikasi Alat	
Rated Maximum Power (P_m)	10 WP
Voltage at Pmax (V_{mp})	17,92
Current at Pmax (I_{mp})	0,56
Open-Circuit Voltage (V_{oc})	20,79
Short-Circuit Current (I_{sc})	0,60
Dimension (m)	0,35 x 0,255 = 0,08925 m^2



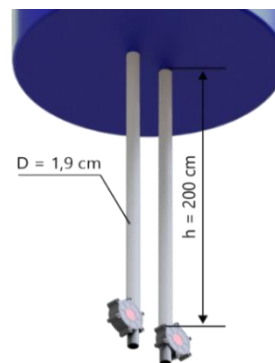
Gambar 5 Rancangan peletakan panel surya pada tangki air

TABEL II
SPESIFIKASI GENERATOR PIKOHIDRO F50 12V DC

Spesifikasi Alat	
Tegangan keluar maksimum	12V
Arus keluar maksimum	$\geq 220\text{mA}$ (12V)
Daya maksimum	10 W
Resistansi	$10.5 \pm 0.5\Omega$
Resistansi isolasi	10M Ω (DC 100 Tramegger)
Tekanan hidrolik	0.05 MPa
Efisiensi	80%

D. Perancangan Sistem Generator Pikohipdro 12V DC

Generator DC yang digunakan pada penelitian adalah generator yang sudah dikopel dengan turbin dan merupakan generator dengan penguat terpisah dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.

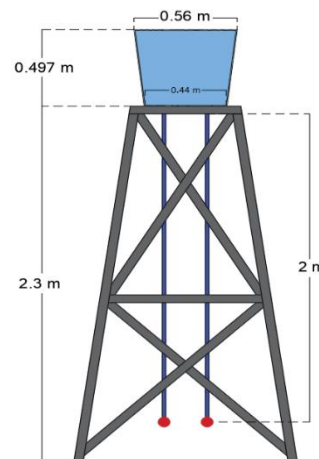


Gambar 6 Rancangan generator picohydro pada pipa outlet

Dua buah generator pikohipdro diletakkan pada aliran pipa outlet secara sejajar di bawah dasar tangki. Bentuk rancangan generator pikohipdro pada pipa outlet dapat dilihat pada Gambar 6.

E. Perancangan Pembuatan Rangka, Tangki dan Pipa

Rangka dan pipa dirancang memiliki tinggi 2,3 meter dan menggunakan pipa berdiameter $\frac{3}{4}$ inch (0,019 m) dengan panjang 2 meter.



Gambar 7 Kerangka prototipe rancangan

Sedangkan tangki/ember yang digunakan memiliki kapasitas 100L dengan ukuran tinggi (sisi miring) 50 cm, diameter atas 56 cm dan diameter bawah 44 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Untuk mengetahui tinggi bak penampung, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$t = \sqrt{50^2 - 5,5^2}$$

$$t = \sqrt{2469,75}$$

$$t = 49,7 \text{ cm}$$

sedangkan volume cairan dapat dihitung menggunakan persamaan (5) sebagai berikut :

$$Volume = \frac{1}{3} \times \pi \times 49,7 (28^2 + (28 \times 22) + 22^2)$$

$$Volume = \frac{1}{3} \times \pi \times 49,7 (784 + 616 + 484)$$

$$Volume = \frac{49,7}{3} \times \pi (1884)$$

$$Volume = 31212 \pi$$

$$Volume = 98.005 \text{ cm}^3$$

Dari pengujian untuk mencapai volume 98.005 cm^3 dibutuhkan waktu selama 663 s. Dengan menggunakan persamaan (3) debit air dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q = \frac{98005 \text{ cm}^3}{663 \text{ s}}$$

$$Q = 147,82 \text{ cm}^3/\text{s} = 147,82 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

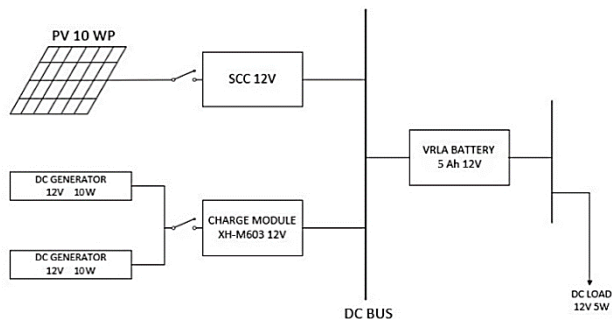
Dan dengan menggunakan persamaan (6) tekanan air dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_a = 1000 \times 9,81 \times 2$$

$$P_a = 19,6 \text{ kPa}$$

F. Perakitan Prototipe

Sebelum dihubungkan ke beban DC, kedua sumber energi akan dirangkai secara paralel dan masing-masing dihubungkan ke *charge controller* sebelum menuju baterai untuk proses pengisian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Hal tersebut bertujuan untuk mengatur tegangan dalam proses pengisian baterai agar tidak terjadi *over voltage*. Gambar 8 merupakan diagram blok prototipe PLTH PV-Hydro.



Gambar 8 Diagram blok prototipe PLTH PV-Hydro

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Akhir Prototipe

Rancangan akhir prototipe dapat dilihat Gambar 9. Prototipe rangka tangki dibuat dengan menggunakan metode pengelasan bahan besi siku berukuran $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ dan memiliki tinggi 230 cm untuk memungkinkan peletakan generator pikohidro 200 cm ke bawah dari dasar tangki. Dengan luas penampang rangka atas $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ dan luas bawah $70 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$ yang bertujuan untuk membuat rangka memiliki bentuk besar kebawah agar lebih kokoh.

Kapasitas tangki yang digunakan adalah 100 L, pipa yang digunakan pada kedua saluran outlet seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 10 masing-masing memiliki diameter sebesar $\frac{3}{4}$ inch (0,019 m) dengan panjang 200 cm dan dipasangkan generator pikohidro pada masing-masing pipa outlet.



(a) (b)

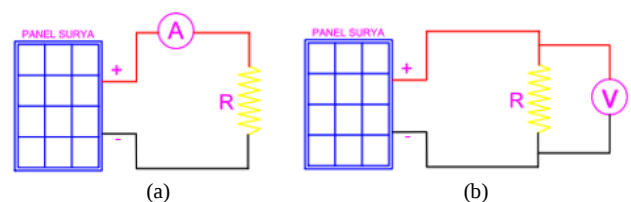
Gambar 9 Rancangan akhir prototipe (a) Tampak depan, (b) Tampak atas



Gambar 10 Rangkaian pipa outlet dan generator pikohidro

B. Pengujian Panel Surya

Pada pengujian ini, dilakukan pengukuran tegangan dan arus terhadap keluaran dari panel surya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pengukuran antara arus dan tegangan dilakukan secara bergantian dengan menggunakan satu buah multimeter digital. Rangkaian pengukuran yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 11 Rangkaian Pengukuran Panel Surya (a) Arus, (b) Tegangan

Sebelum dilakukan pembebanan, dilakukan pengukuran untuk V_{oc} dan I_{sc} serta melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai Fill Factor dan daya output yang dihasilkan oleh panel surya. Hasil dari pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III
PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN DAYA MAKSIMAL PANEL SURYA 10 WP

Jam (WIB)	Irradiansi (W/m ²)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	Fill Factor	P _{out} (W)
STC	1000	20,79	0,6	0,80	10,03
10.00	868	18,23	0,6	0,79	8,70
11.00	902	18,84	0,6	0,79	9,04
12.00	937	19,46	0,6	0,80	9,39
13.00	918	19,12	0,6	0,80	9,20

Berdasarkan Tabel III dapat dilihat bahwa daya pada saat STC (*Standard Test Conditions*) sebesar 10.03 Watt, artinya daya tersebut adalah daya ideal sebuah panel surya 10 WP. Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa nilai Voc paling tinggi adalah pada saat jam 12.00 WIB sebesar 19,46 dengan nilai iradiansi sebesar 937 W/m².

Setelah dilakukan percobaan tanpa beban, kemudian panel surya dibebankan dengan beban berupa resistor 56 Ω dan 100 Ω . Jeda waktu dalam pergantian beban resistor dari 56 Ω ke 100 Ω adalah 10 detik. Setelah dilakukan pengukuran, maka didapatkan hasil tegangan dan arus seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV.

TABEL IV
PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS PANEL SURYA DENGAN BEBAN RESISTOR

Tanggal	Jam (WIB)	Resistor (Ω)	V _{oc} (V)	V _{load} (V)	Arus (A)	Daya (W)
28 Oktober 2022	10.00	56	18,23	14,52	0,31	5,38
		100	18,23	17	0,19	3,61
	11.00	56	18,84	15,15	0,33	6,09
		100	18,84	17,6	0,18	3,24
	12.00	56	19,46	15,73	0,33	6,09
		100	19,46	18,25	0,2	4
	13.00	56	19,12	15,39	0,33	6,09
		100	19,12	17,96	0,19	3,61

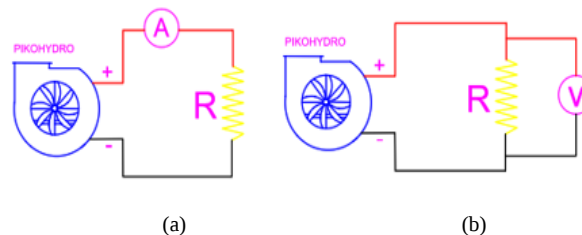
Dari Tabel IV di atas dapat dilihat bahwa pada jam 11.00 WIB sampai dengan jam 13.00 WIB dengan percobaan nilai resistor 56 Ω daya output panel surya paling tinggi adalah sebesar 6,09 W yang didapatkan pada jam 11.00, 12.00 dan 13.00 dan daya output panel surya paling rendah adalah sebesar 3,24 W pada jam 11.00 WIB dengan hambatan 100 Ω .

A. Pengujian Generator Pikohidro

Pengujian generator pikohidro seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 dimulai saat kran air pada pipa outlet dibuka dan pengukuran antara arus dan tegangan dilakukan secara bergantian dengan menggunakan satu buah multimeter digital. Pengujian dilakukan pada salah satu generator dengan beban Resistor 56 Ω dan 100 Ω dengan hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel V.

Dari kedua pengujian tersebut dapat dihitung daya yang dihasilkan oleh satu buah generator pikohidro dengan beban resistor 56 Ω adalah sebesar 1,9 W dan generator pikohidro dengan beban resistor 100 Ω sebesar 1,42 W. Nilai daya yang dihasilkan generator pikohidro kecil dikarenakan pada saat pembebanan beban membuat putaran generator semakin

lambat, hal ini dikarenakan adanya pembebanan resistor yang lebih besar nilainya.



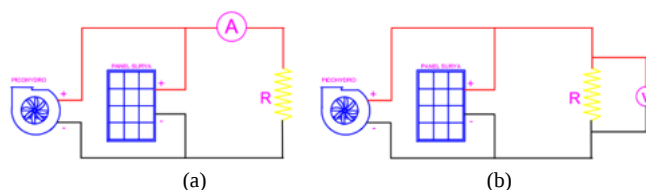
Gambar 6 Rangkaian Pengukuran Generator Pikohidro (a) Arus (b) Tegangan

TABEL V
PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS GENERATOR PIKOHIDRO

Tekanan (kPa)	Resistor (Ω)	Tegangan (V)	Arus (mA)
19,6	56	9,36	203
	100	9,36	152

B. Pengujian Output PLTH PV-Hydro

Pengujian output PLTH PV-Hydro dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besaran nilai tegangan, arus dan daya yang dapat dihasilkan oleh kedua sumber pembangkit listrik setelah digabungkan.



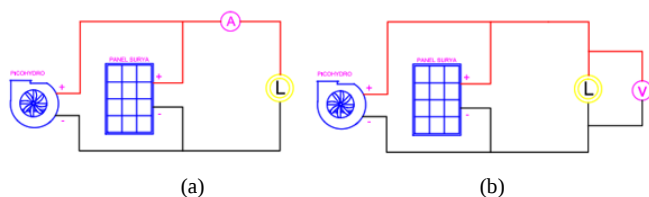
Gambar 13 Rangkaian Pengukuran PLTH PV-Hydro Beban Resistor (a) Arus (b) Tegangan

Rangkaian pengukuran seperti Gambar 13 di atas dapat dilihat bahwa kedua sumber yaitu panel surya dan pikohidro dirangkai secara paralel, hal ini diperlukan karena untuk menaikkan nilai arus dari output hybrid. Dari hasil pengujian dapat dilihat seperti pada Tabel VI.

TABEL VI
PENGUKURAN OUTPUT PLTH PV-HYDRO BEBAN RESISTOR

Tanggal	Waktu	Beban			
		Resistor 56 Ω		Resistor 100 Ω	
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
28 Oktober 2022	10.00	11,7	0,2	11,8	0,11
	11.00	11,9	0,21	12,1	0,12
	12.00	12,6	0,25	12,8	0,12
	13.00	12,4	0,22	12,6	0,11

Dari data Tabel. VI diatas dapat dilihat bahwa sesuai dengan hukum ohm, semakin kecilnya suatu nilai resistor maka arus akan semakin tinggi dan tegangan semakin rendah. Hal ini dibuktikan pada jam 12.00 WIB saat pengujian pada resistor 56 Ω didapatkan daya sebesar 3,15 Watt dan pada saat menggunakan resistor 100 Ω didapatkan daya sebesar 1,53 Watt.



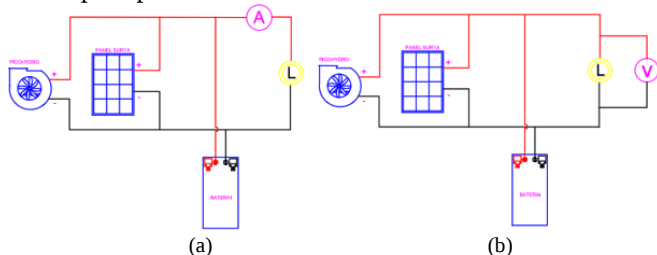
Gambar 14 Rangkaian Pengukuran PLTH PV-Hydro Beban Lampu (a) Arus, (b) Tegangan

Kemudian dari data di atas (Tabel. VI) juga dapat dianalisa bahwa rata-rata daya dihasilkan oleh PLTH dari jam 10.00 WIB sampai 13.00 WIB dengan nilai resistansi yang sama yaitu sebesar 2,67 Watt pada beban resistor 56 Ω , kemudian dengan beban resistor 100 Ω didapatkan daya sebesar 1,41 Watt. Setelah dilakukan percobaan menggunakan beban resistor, kemudian dilakukan percobaan dengan menggunakan beban lampu LED 5 Watt dengan mengikuti rangkaian ekivalen seperti pada Gambar 14 dengan output arus, tegangan dan daya seperti yang ditunjukkan pada Tabel VII.

TABEL VII
OUTPUT PLTH PV-HYDRO BEBAN LAMPU

Beban	Pengukuran			
	V _{oc} PV + PICO (V)	I _{load} (A)	V _{load} (V)	Daya (W)
Lampu DC 5 Watt	12,07	0,41	11,69	5

Pengujian pembebanan PLTH menggunakan baterai dan lampu LED ditunjukkan seperti pada rangkaian ekivalen Gambar 15. Dari tersebut dapat dilihat bahwa kedua sumber yaitu panel surya dan pikohidro dirangkai secara paralel, kemudian dihubungkan dengan baterai dan menggunakan beban lampu LED 5 Watt. Dari hasil pengujian didapatkan data seperti pada Tabel VIII.



Gambar 15 Rangkaian Pengukuran PLTH PV-Hydro dan Baterai (a) Arus, (b) Tegangan

TABEL VIII
PENGUKURAN OUTPUT PLTH DAN BATERAI BEBAN LAMPU DC 5 WATT

Beban	Pengukuran		
	Tegangan (V)	Arus (A)	V _{load} (V)
Lampu DC 5 Watt	12,54	0,43	12,38

Dari Tabel VIII di atas dapat dilihat tegangan yang dihasilkan adalah sebesar 12, 54V dengan arus sebesar 0, 43A

maka dapat dihitung daya yang dapat dihasilkan adalah sebesar 5, 32 Watt.

C. Pengujian Lampu 5 Watt dengan Baterai

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran saat percobaan pembebanan pada baterai dan dilakukan perhitungan lama waktu pemakaian baterai VRLA 12V 5Ah dengan beban lampu 5 watt dan didapatkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel IX.

TABEL IX
PENGUKURAN OUTPUT PLTH DAN BATERAI BEBAN LAMPU DC 5 WATT

Beban	Pengukuran			
	V _{oc} (V)	I _{load} (A)	V _{load} (V)	Daya (W)
Lampu DC 5 Watt	12	0,42	11,92	5

Dari Tabel IX di atas dapat dilihat bahwa tegangan baterai sebelum dilakukan pembebanan masih pada tegangan 12 Volt, kemudian pada saat dilakukan pembebanan tegangan turun menjadi 11, 92 Volt. Tetapi daya yang dihasilkan oleh baterai tetap 5 watt dengan beban 1 lampu sebesar 5 Watt.

Perhitungan lama waktu pemakaian baterai terhadap beban lampu DC 5 Watt dapat dihitung:

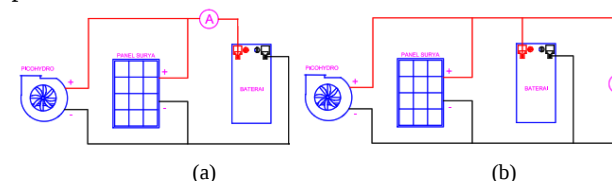
$$t = \frac{5Ah}{0,42A}$$

$$t = 11,9 \text{ h} - 20\% \text{ efisiensi baterai}$$

$$t = 9,52 \text{ h}$$

D. Pengujian Lama Pengisian Baterai

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran saat pengisian baterai dan dilakukan perhitungan lama waktu pengisian baterai VRLA 12V 5Ah. Pengukuran antara tegangan dan arus dilakukan secara bergantian dengan menggunakan satu buah multimeter digital dengan rangkaian ekivalen seperti pada Gambar 16.



Gambar 7 Rangkaian Pengukuran Proses Charging Baterai (a) Arus, (b) Tegangan

Dari Gambar 16 rangkaian pengukuran di atas dapat dilihat bahwa sumber untuk charging baterai berasal dari 2 sumber yaitu panel surya dan pikohidro. Setelah dilakukan pengukuran maka didapatkan data untuk charging seperti Tabel X. Dari Tabel X di atas dapat dilihat bahwa proses charging dimulai pada pukul 10.00 WIB dengan tegangan baterai masih tersisa sebesar 11,95 V, sehingga tegangan baterai dalam waktu 6 jam dapat mencapai 13,5 V (*Standby Use Voltage*) dengan arus rata-rata sebesar 0,5 A.

Berdasarkan perhitungan lama pemakaian baterai terhadap beban lampu DC 5 Watt yaitu selama 9,52 jam, maka PLTH PV-Hydro dapat dinyatakan layak mengisi daya baterai dan digunakan untuk melayani beban lampu DC 5W selama ± 5 jam per hari.

TABEL X
PENGUKURAN LAMA WAKTU PENGECAHAN BATERAI

Waktu (WIB)	Tegangan Charging (V)	Arus (A)	Tegangan Baterai (V)
10.00	12,23	0,51	11,95
11.00	12,31	0,54	12,09
12.00	12,41	0,56	12,16
13.00	12,53	0,53	12,52
14.00	12,96	0,48	12,9
15.00	13,37	0,46	13,35
16.00	13,55	0,45	13,5

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan prototipe alat Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) PV-Hydro pada tangki water reservoir untuk pengaplikasian pengisian baterai VRLA 12V 5 Ah dan pembebanan lampu DC 5 Watt. Total Daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH PV-Hydro dengan penggabungan baterai VRLA 12V DC berkapasitas 5Ah adalah sebesar 5,32 Watt dengan menggunakan beban lampu 5 Watt. Daya yang mampu dihasilkan panel surya pada pengujian dengan beban resistor 56 Ω paling tinggi adalah sebesar 6,09 W pada jam 11.00, 12.00 dan 13.00 WIB dan daya yang dihasilkan oleh satu buah generator pikohidro

dengan beban resistor 56 Ω adalah sebesar 1,9 W dan generator pikohidro dengan beban resistor 100 Ω sebesar 1,42 W. Lama durasi waktu pengecasan baterai VRLA 12V DC berkapasitas 5Ah dari kondisi baterai tersisa 11,95 V sampai penuh (13,5V) adalah selama 6 jam dan dapat dinyatakan layak untuk untuk melayani beban lampu DC 5 Watt selama ± 5 jam per hari.

REFERENSI

- [1] T. Shantika and L. Hartawan, "Perancangan konsep Pembangkit Listrik Hybrid Solar PV-Hydro," *Semin. Nasional-XVI ISSN*, pp. 16–24, 2017.
- [2] S. Hani, G. Santoso, and M. Wahyu Firmansyah, "Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar Cell dan Pico Hydro di Dusun Wukirsari," *J. Appropriate Technol. Community Serv.*, vol. 2, no. 1, pp. 15–23, 2021, doi: 10.20885/jattec.vol2.iss1.art3.
- [3] D. Hidayanti and G. Dewangga, "Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis pada Panel Surya," *Eksergi*, vol. 15, no. 3, p. 93, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1784.
- [4] S. Barus, S. Aryza, P. Wibowo, S. Anisah, and Hamdani, "Rancang Bangun Pemanfaatan Aliran Tandon Air Gedung Bertingkat Sebagai Pembangkit Listrik Mikro Hidro," *Soc. Sci. Eng. Humanoria*, pp. 29–42, 2020.
- [5] R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2014.
- [6] Z. Iqimal and I. Devi, "Aplikasi Sistem Tenaga Surya Sebagai Sumber Tenaga Listrik Pompa Air," *Kitektro*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [7] P. S. Ningsih, "Pengukuran Tegangan, Arus, Daya pada Prototype PLTS Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *SainETIn*, vol. 5, no. 1, pp. 8–16, 2020, doi: 10.31849/sainetin.v5i1.4370.
- [8] P. G. Chamdareno, E. Nuryanto, and E. Dermawan, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) pada Kapal KM. Kelud," *Resist. (elektRONika kEndali Telekomun. tenaga List. kOMputeR)*, vol. 2, no. 1, p. 59, 2019, doi: 10.24853/resistor.2.1.59-64.
- [9] H. Prasetyo, H. P. Widhiatmoko, P. S. Nugroho, H. Prasetyo, H. P. Widhiatmoko, and P. S. Nugroho, "Transfer Pengetahuan Pembuatan Pembangkit Listrik Knowledge Transfer For Making Pycohidro Power Plant Dusun Siwarak Desa Watugung Provinsi Jawa Tengah Terletak Pada 70 Lintang Selatan Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Karena Terpisahkan Oleh Hutan Pinus," *J. Pengabd. dan Pemberdaya. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 33–38, 2019.
- [10] R. Windani, V. Antono, and W. Alfalah, "Kajian Rancangan Dan Permasalahan Instalasi Pengujian Pompa Dan Turbin Model PLMTH Di STT-PLN," *J. Power Plant*, vol. 6, no. 1, p. 14, 2018.
- [11] I. M. Arsana, S. Pd, D. T. Mesin, T. Mesin, F. Teknik, and U. N. Surabaya, "Rancang Bangun Baterai Charger Otomotif Muhammad Jazuli Asfan D3 Teknik Mesin , Fakultas Teknik , Universitas Negeri Surabaya," vol. 06, pp. 105–109, 2021.
- [12] W. N. Saputra, D. Despa, N. Soedjarwanto, and A. S. Samosir, "Prototype Generator Dc Dengan Penggerak Tenaga Angin," *Jurusan Teknik Elektro Univ. Lampung*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [13] S. Muttaqin, "Analisa Karakteristik Generator Dan Motor DC," *Je-Undip*, vol. 2, no. 21060112130034, pp. 1–11, 2015.
- [14] R. Lazzoria, E. Putri, and U. Telkom, "Ombak Laut Menggunakan Sistem Generator Dc Untuk Design and Implementation of Ocean Wave Power Plant Using Dc Generator System To Charging Battery Electric Boat," vol. 3, no. 1, pp. 91–98, 2016.
- [15] Y. Prabowo, S. B. N. Nazori, and G. Gata, "Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pmlth) Pada Saluran Irigasi Gunung Bunder Pamijahan Bogor," *J. Ilm. FIFO*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2018, doi: 10.22441/fifo.v10i1.2939.