

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK SISTEM HYBRID TENAGA AIR DAN SURYA DENGAN SISTEM KONTROL BERBASIS ARDUINO

Fahrurrozi¹, Ghulam Asrofi Buntoro², Jawwad Sulthon Habiby³

^{1,2,3}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo; Jl. Budi Utomo No.10, Ronowijayan, Kec. Ponorogo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur 63471; (0352) 481124

Received: 2 Maret 2025
Accepted: 27 Maret 2025
Published: 14 April 2025

Keywords:

PLTS;
PLTA;
Panel Surya;
Generator;
Arduino.

Correspondent Email:

fahrurrozi117@gmail.com

Abstrak. Kabupaten Pacitan merupakan salah satu wilayah di Jawa Timur dengan luas sekitar 1.390 km² dengan kondisi geografis berupa hutan dan pegunungan. Pasokan listrik utama di daerah ini didapatkan dari gardu induk yang lokasinya jauh serta jaringan listrik yang melalui medan pegunungan. Kondisi ini menyebabkan beberapa wilayah salah satunya di Desa Nogosari, Kecamatan Ngadirojo sering terjadi gangguan pasokan listrik akibat dari kabel yang tertimpa pohon. Dari permasalahan tersebut maka dibutuhkan cadangan energi listrik sebagai backup apabila terjadi gangguan listrik PLN. Desa Nogosari terdapat potensi energi dari air yang bersumber dari sungai dan energi dari matahari yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan dan digabungkan menjadi sistem hybrid. Kondisi tersebut melatarbelakangi peneliti merancang sebuah pembangkit listrik sistem hybrid tenaga air dan surya dengan sistem kontrol berbasis arduino. Rancang bangun ini menggunakan panel surya dan generator untuk mengkonversi energi serta arduino sebagai pengontrol sistem. Hasil pengujian dalam penelitian ini didapatkan bahwa pembangkit listrik sistem hybrid menghasilkan daya maksimal pada panel surya sebesar 58 watt dan daya maksimal yang dihasilkan generator sebesar 18,8 watt. Total daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga air dan surya mendapat hasil tertinggi pada tanggal 2 Januari 2025 pukul 12.00 yaitu sebesar 74,9 watt.

Abstract. Pacitan Regency is one of the areas in East Java with an area of approximately 1,390 km² with geographical conditions in the form of forests and mountains. The main electricity network in this area is passes through mountainous terrain. This condition causes several areas in Nogosari Village, Ngadirojo District, to often power supply disruptions due to cables being hit by trees. From this problem, a backup of electrical energy is needed as a backup in the event of a PLN power outage. Nogosari Village has the potential for energy from water and energy from the sun which can be utilized as renewable energy. This condition is the background for researchers to design a hybrid hydro and solar power plant with an Arduino based control m. This design uses solar panels and generators to convert energy and Arduino as a system controller. The test results in this study showed that the hybrid power plant system produces a maximum power of 58 watts on the solar panels and a maximum power produced by the generator of 18.8 watts. The total power generated from hydroelectric and solar power plants reached its highest result on January 2, 2025 at 12.00, which was 74.9 watts.

1. PENDAHULUAN

Untuk mencukupi kebutuhan listrik konsumen, PLN saat ini masih menggunakan

pembangkit dengan tenaga fosil dan batubara sebagai bahan bakar utamanya. Penggunaan energi untuk pembangkitan tenaga listrik,

menurut sumber dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) adalah sebagai berikut: 50% dari batubara, 29% dari gas, 7% dari minyak bumi, dan 14% berasal dari energi baru dan terbarukan (EBT)[1]. Dari data tersebut, penggunaan sumber energi terbarukan di Indonesia masih belum maksimal. Data lain menunjukkan potensi yang berasal dari pembangkit listrik tenaga air sebesar 95 gigawatt (GW). Saat ini, total produksi PLTA baru mencapai 6,7 gigawatt (GW). Selain itu, potensi sumber energi surya yang dimiliki Indonesia sebesar 3.294 gigawatt (GW), namun baru terserap hanya sekitar 0,3 gigawatt (GW)[2].

Di lain sisi, wilayah Kabupaten Pacitan memiliki kondisi geografis berupa hutan dan pegunungan. Meskipun hampir semuanya sudah teraliri listrik, namun pasokan listrik utama didapatkan dari gardu induk yang lokasinya jauh dengan beban serta jaringan listrik yang melalui medan seperti pegunungan. Dengan kondisi tersebut, mengakibatkan beberapa desa di Kecamatan Ngadirojo sering terjadi gangguan pasokan listrik pada saat terjadi hujan dan tanah longsor. Untuk itu perlu dibuat suatu rancangan untuk menggabungkan energi yang diperoleh dari PLTA dan PLTS sehingga *output* yang dihasilkan lebih besar. Dengan adanya pembangkit sistem *hybrid* ini, pembangkit akan saling bekerja bersama dalam menghasilkan energi listrik, sehingga akan maksimal dalam menyuplai arus listrik menuju baterai dan beban[3].

Beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh Naufal Wahyu, dkk (2022) telah dirancang sistem pembangkit *hybrid* yang berfungsi memproduksi energi listrik. Pembangkit PV dan turbin angin tipe savonius dikombinasikan untuk menerangi jalan tol. Energi yang dihasilkan dari dua pembangkit lebih besar berdasarkan percobaan selama 2 hari[4]. Penelitian lain juga dilakukan oleh Tomy Wahyudi, dkk (2022) yang membahas rancangan PLTPH dengan tipe crossflow terapung di Desa Sungai Jelayan, Kecamatan Kendawangan, Kabupaten Ketapang sehingga dapat diketahui daya listrik yang diperoleh dari aliran sungai[5].

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan mengenai perancangan pembangkit energi terbarukan, masih terdapat kesenjangan dalam hal penerapan sistem *hybrid* agar sistem

berjalan dengan lebih baik. Rancang bangun yang sudah dikembangkan tidak memberikan fungsi kontrol di dalam sistem, sehingga pembangkit dirancang tanpa ada sistem kontrol yang baik. Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang suatu pembangkit dengan sistem *hybrid* yang menggabungkan energi dari PLTA dan PLTS menggunakan Arduino sebagai alat untuk mengontrol *relay* yang berfungsi memutus dan menghubungkan arus dari pembangkit menuju baterai dan mengetahui output tegangan serta arus yang dihasilkan dari pembangkit tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini berisi tentang referensi untuk berbagai kebutuhan komponen dan sistem yang digunakan pada pembuatan rancang bangun pembangkit listrik sistem *hybrid* tenaga air dan surya dengan sistem kontrol berbasis Arduino.

2.1 Panel Surya

Panel surya merupakan perangkat yang berfungsi mengkonversikan sinar matahari menjadi energi listrik melalui penggunaan bahan semikonduktor. Efek fotovoltaiik merupakan proses berubahnya sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya tersusun atas lapisan tipis dari materi semikonduktor, yang diolah dari bahan silikon. Jumlah sel surya yang dikombinasikan di dalam modul surya tersebut akan mempengaruhi besarnya energi listrik yang diproduksi oleh modul surya. Panel surya ini akan menghasilkan energi berupa listrik arus searah (DC)[6][7].



Gambar 2.1 Panel Surya Jenis Monokristal

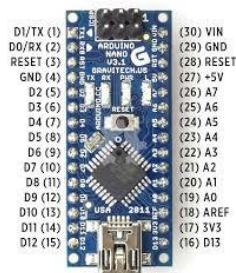
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air

PLTA adalah pembangkit listrik yang prinsipnya menggerakkan turbin dan generator secara bersama-sama dengan penggerak utama yang digunakan yaitu tenaga air. Tiga komponen utama yang dimiliki PLTA, yaitu : turbin, air, dan generator. PLTA menggunakan jatuhnya air (*head*) yang memiliki energi potensial. Cara untuk mendapatkan tinggi jatuhnya air selain karena faktor geografis yaitu dengan membuat bendungan pada aliran air,

sehingga ketinggian permukaan air menjadi naik. Energi potensial akan semakin besar, apabila ketinggian air semakin meningkat. Air akan melewati kincir-kincir pada turbin sehingga dihasilkan energi mekanik pada saat poros turbin berputar. Poros turbin ini terhubung dengan generator sehingga putaran generator akan menghasilkan energi listrik. Fungsi generator adalah mengkonversi energi mekanik ke dalam bentuk energi listrik. Generator memiliki cara kerja sesuai prinsip induksi elektromagnetik. Biasanya generator terdiri dari stator dan rotor. Generator menghasilkan tegangan bolak-balik yang nilai tegangan serta frekuensinya disesuaikan dengan spesifikasi peralatan listrik. Penggerak mula mentransfer energi mekanik pada putaran rotor, kemudian terjadi proses induksi elektromagnetik, dan menghasilkan energi listrik. Apabila spesifikasi output yang diperlukan berupa tegangan searah (DC), maka harus ditambahkan rangkaian penyearah pada terminal output generator[8].

2.3 Arduino

Arduino merupakan sebuah mikrokontroler yang termasuk dalam open source dan sering diimplementasikan dalam perancangan proyek elektronik. Arduino memiliki desain yang memudahkan perancangan rangkaian elektronik dalam berbagai penerapan. Selain itu dengan tersedianya berbagai sensor dan modul yang mudah dikombinasikan, memudahkan Arduino untuk dijadikan bahan berbagai proyek elektronika seperti robotika, otomasi, dan monitoring. Pada penelitian ini digunakan Arduino jenis nano yang menggunakan mikrokontroler Atmega 168 dan di dalamnya terdapat flash memory berukuran 16 kbyte yang diperuntukkan sebagai penyimpan kode program. Arduino nano memiliki 14 buah I/O digital dan 8 input analog[9].



Gambar 2.2 Arduino Nano

2.4 Relay

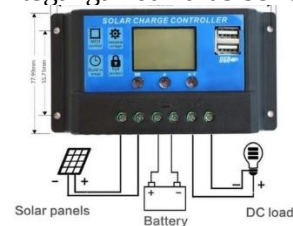
Relay adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian elektronik dengan penggerak arus listrik. Relay memiliki komponen berupa kawat yang dililit pada batang besi (solenoid). Dengan cara mengalirkan arus listrik pada solenoid, maka akan menarik tuas yang disebabkan oleh munculnya gaya magnet pada solenoid sehingga mengakibatkan menutupnya kontak pada saklar. Relay dapat mengontrol switching dengan nilai arus dan tegangan yang besar (peralatan elektronik dengan spesifikasi maksimal 10A 220 VAC) menggunakan nilai arus dan tegangan yang kecil yaitu sebesar 5-24 VDC[9].



Gambar 2.3 Relay

2.5 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah perangkat yang berfungsi sebagai pengatur arus dan tegangan yang masuk ke baterai dan yang keluar baterai untuk menyuplai beban. *Solar charge controller* mampu mengontrol pengisian arus baterai apabila terjadi pengisian baterai yang melebihi batas (*overcharging*) dan tegangan yang berlebih dari panel surya. Umur baterai akan berkurang apabila terus menerus mengalami tegangan dan arus berlebih[10].



Gambar 2.4 Solar charge controller

2.6 Baterai

Baterai adalah peralatan yang menggunakan reaksi reduksi-oksidasi (redoks) sehingga terjadi perubahan dari energi kimia menjadi energi listrik. Energi listrik pada baterai dapat dimanfaatkan untuk digunakan menjadi energi cahaya, panas ataupun mekanik. Umumnya baterai tersusun atas satu hingga beberapa sel yang dihubungkan dengan konfigurasi secara seri, paralel, atau gabungan

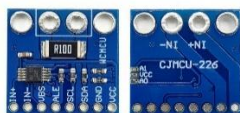
seri-paralel. Kebutuhan tegangan dan kapasitas baterai akan menentukan seberapa banyak jumlah sel yang digunakan[10].



Gambar 2.5 Baterai

2.7 Sensor INA226

Sensor INA226 merupakan sensor yang mampu membaca arus dan tegangan DC pada suatu rangkaian listrik. Modul ini menggunakan antarmuka I2C sebagai jalur komunikasi data dengan mikrokontroler dan dapat memonitor tegangan tegangan shunt dan tegangan bus pada suatu rangkaian. Tegangan bus yang dapat terukur pada modul INA 226 yaitu pada rentang 0 hingga 36 V. Sensor ini bekerja dengan cara mendeteksi tegangan bus dan tegangan shunt secara bergantian, lalu data sinyanya analog dikonversi secara langsung menjadi sinyal digital menggunakan ADC pada modul ini. Kemudian sensor akan mengirimkan sinyal digital tersebut ke register arus dan register tegangan. Nilai daya pada sensor, diketahui dengan cara melakukan perkalian antara nilai tegangan dan arus yang diperoleh dari masing-masing register[11].



Gambar 2.6 Sensor INA226

2.8 Sensor Infrared Barrier Obstacle

Sensor *Infrared Barrier Obstacle* merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi halangan. Ketika sebuah halangan atau objek terdeteksi di depan sensor maka sensor akan memperoleh pantulan cahaya dengan pengaturan sensitivitasnya melalui potensiometer. Pengukuran sensor ini didasarkan pada pergerakan suatu objek atau poros yang berputar dan didapatkan nilai pulsa yang proporsional sesuai kecepatan putaran suatu objek[9].



Gambar 2.7 Sensor Infrared Barrier Obstacle

2.9 Sensor Cahaya GY302-BH1750

Sensor ini digunakan untuk pengukuran intensitas cahaya ke dalam satuan lux. Lux merupakan satuan intensitas cahaya yang memiliki pengertian bahwa 1 lux senilai 1 lumen per meter persegi. Sensor GY302-BH1750 dapat berkomunikasi dengan berbagai jenis arduino menggunakan interface I2C. Nilai yang dapat dibaca sensor ini mencapai 65535 lux. Sensor cahaya ini perlu diberi catu daya dengan tegangan 2,4V – 3,6V agar dapat berfungsi dengan baik dimana untuk pembacaan nilai menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) yang memiliki fungsi agar nilai intensitas cahaya dikonversi menjadi nilai digital [12].



Gambar 2.8 Sensor Intensitas Cahaya

2.10 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display merupakan komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk menampilkan karakter huruf, angka, dan simbol lainnya. Karakter ditampilkan dalam kristal yang berbentuk bar dan proses untuk menampilkan karakter yaitu dengan mengatur ke dalam pola titik. Setiap kristal dapat dikontrol secara tersendiri melalui koneksi masing-masing. Cahaya kristal akan terlihat sama dengan bahan latar belakangnya, pada saat kristal tidak dialiri listrik sehingga membuat kristal terlihat. Pada saat kristal dialiri arus listrik, maka terjadi penyerapan cahaya yang membuat kristal tampak lebih gelap dan bentuk bar atau titik menjadi terlihat karena terdapat perbedaan latar belakang[13].



Gambar 2.9 LCD 20x4

2.11 Inverter

Inverter merupakan perangkat elektronika yang memiliki fungsi supaya tegangan arus searah (DC) bisa diubah menjadi tegangan arus bolak-balik (AC) dengan nilai tegangan dan frekuensi yang sesuai spesifikasi peralatan. Tegangan yang diperoleh inverter

merupakan keluaran dari baterai, sel surya, atau suplai tegangan searah (DC) lainnya. Tegangan yang dihasilkan inverter dapat menjadi tegangan AC dengan bentuk pulsa persegi, dikarenakan penggunaan semikonduktor yang berfungsi sebagai saklar. Metode yang biasanya dipakai dalam menghasilkan tegangan keluaran inverter, yaitu tegangan dengan bentuk pulsa persegi dan modulasi lebar pulsa (pulse width modulation) atau PWM[10].

2.12 Modul Stepdown LM2596

Stepdown LM2596 merupakan modul yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC ke dalam nilai tegangan tertentu yang dibutuhkan menggunakan IC Regulator LM2596. Rangkaian converter ini bekerja dengan memanfaatkan dioda MOSFET yang memiliki fungsi kendali untuk pensaklaran (switching) sehingga dapat membuka dan menutup rangkaian. Dioda ini dapat mengendalikan aliran arus listrik berdasarkan duty cycle yang diinginkan. Tegangan masukan yang diperbolehkan pada modul ini mulai dari 3V – 40V DC. Output tegangan yang dihasilkan sebesar 1.5 – 35V DC[7].



Gambar 2.10 Modul Stepdown LM2596

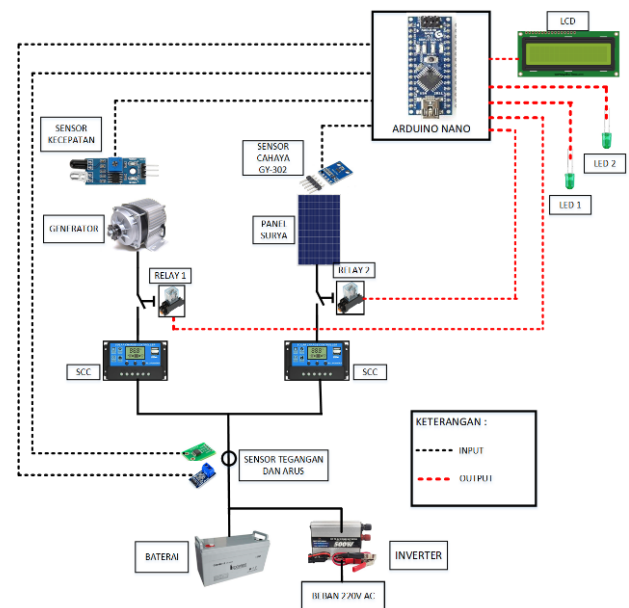
3. METODE PENELITIAN

3.1 Perencanaan Sistem

Perencanaan sistem memiliki tujuan agar memiliki acuan dalam pembuatan alat. Terdapat tiga bagian penjelasan pada tahap ini, yakni gambar rancangan, kebutuhan komponen, dan cara kerja yang dijelaskan sebagai berikut :

3.1.1 Gambar Rancangan

Tahap perancangan ini merupakan proses awal untuk menentukan desain dan spesifikasi komponen yang dibutuhkan. Berikut ini merupakan gambar rancangan sistem



Gambar 3.1 Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Sistem Hybrid

3.1.2 Kebutuhan Komponen

Berikut ini komponen yang diperlukan dalam rancangan sistem yang disajikan dalam bentuk tabel :

Tabel 3.1 Komponen Alat Pembangkit Listrik Sistem Hybrid Tenaga Air dan Surya dengan Sistem Kontrol Berbasis Arduino

Nama Komponen	Spesifikasi
Arduino Nano	Mempunyai 14 digital I/O dan 8 input analog
Generator	Mempunyai kapasitas 50 watt
Panel Surya	Mempunyai kapasitas 50 Wp
Relay	Relay 5V 4 Channel Output 30VDC 10A
Solar Charge Controller	Kapasitas 10 A, 2 buah
Baterai	Baterai 24V 50 Ah
Inverter	DC 24V to AC 220V, Power 500 W
LCD	LCD 20X4
MCB	MCB DC 1P 125V 20A
Sensor Kecepatan	Sensor Infrared Barrier Obstacle (3,3V - 5V)
Sensor Intensitas Cahaya	Sensor GY302-BH1750 (2,4V - 3,6V)
Sensor Tegangan	Sensor Tegangan 0-25 VDC
Sensor Arus	Sensor INA226

3.1.3 Cara Kerja

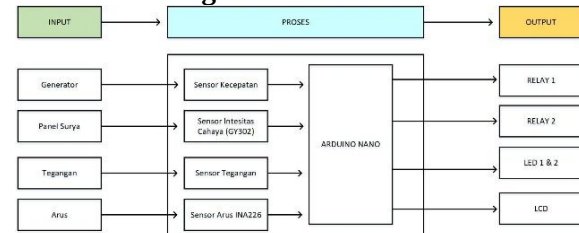
Cara kerja dari rancang bangun ini berfokus pada proses konversi energi pada pembangkit serta mengetahui nilai *ouput* berupa arus, daya, dan tegangan yang dihasilkan dari pembangkit serta sistem kontrol pada pembangkit. Pembangkit listrik *hybrid* ini merupakan penggabungan antara dua jenis pembangkit yaitu pembangkit listrik bertenaga air dan pembangkit listrik bertenaga surya. PLTA sendiri dapat menghasilkan tegangan listrik yang berasal dari putaran generator yang seporos dengan turbin air. Sedangkan PLTS dapat menghasilkan tegangan listrik dari panel surya yang terkena sinar matahari. Pembangkit ini dirancang menggunakan sensor kecepatan untuk memantau kecepatan turbin dan sensor cahaya untuk mengukur seberapa besar panel surya menerima intensitas cahaya.

Keluaran tegangan dari kedua pembangkit tersebut merupakan tegangan DC (searah) dan besar kecilnya tegangan yang dihasilkan dapat berubah bergantung dari kecepatan generator dan intensitas sinar matahari. Maka, apabila kedua pembangkit tersebut akan dihubungkan, maka harus menyamakan tegangan keluaran terlebih dahulu. Penulis disini merancang PLTA dan PLTS yang dapat beroperasi secara masing-masing maupun beroperasi bersama secara otomatis. Kemudian digunakan modul *solar charge controller* agar tegangan yang keluar dari kedua pembangkit bisa sama dan stabil pada tegangan 24 VDC. Apabila tegangan dari kedua pembangkit tidak sama atau lebih besar maupun kurang dari 24 VDC, maka akan merusak peralatan serta komponen baterai. Tegangan dari PLTA dan PLTS yang telah terhubung selanjutnya masuk ke dalam baterai sehingga terjadi proses *charging* pada baterai. Kemudian baterai dihubungkan dengan *inverter* agar dapat menyuplai tegangan 220 V AC.

3.2 Perancangan Alat

Setelah komponen dan desain alat terpenuhi selanjutnya adalah perancangan alat. Untuk membuat rancang bangun ini dibutuhkan perancangan alat yakni perancangan *hardware* maupun perancangan *software*.

3.2.1 Perancangan Hardware



Gambar 3.2 Diagram Blok *Hardware* Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing blok yang terdiri dari input, proses, dan output.

1. Input

- Generator merupakan komponen utama yang dibutuhkan dalam proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik pada PLTA.
- Panel Surya merupakan peralatan utama yang dibutuhkan untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik pada PLTS.
- Tegangan adalah variabel yang dibutuhkan untuk pengujian dalam pembuatan alat ini dan merupakan *output* dari pembangkit.
- Arus adalah variable yang dibutuhkan untuk pengujian dalam pembuatan alat ini dan merupakan *output* dari pembangkit.

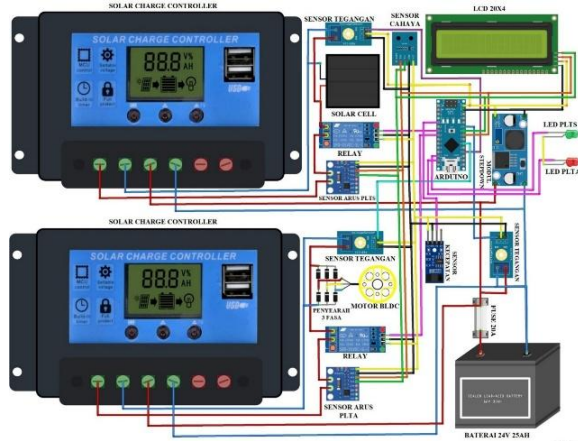
2. Proses

- Arduino Nano berfungsi sebagai pengendali utama atau pengontrol alat dari sebuah sistem.
- Sensor *Infrared Barrier Obstacle* berfungsi sebagai pengukur kecepatan pada generator.
- Sensor GY302 berfungsi sebagai pengukur intensitas cahaya yang diterima panel surya.
- Sensor tegangan berfungsi sebagai sensor pengukur tegangan (0-25 VDC) yang dipasang pada sebuah aliran listrik.
- Sensor arus INA226 berfungsi sebagai sensor pengukur arus listrik DC.

3. Output

- Relay 1 berfungsi untuk memutus dan menyambungkan aliran listrik yang dihasilkan dari PLTA menuju baterai atau beban.
- Relay 2 berfungsi untuk memutus dan menyambungkan aliran listrik yang dihasilkan dari PLTS menuju baterai atau beban.
- LED 1 dan 2 sebagai indikator PLTA dan PLTS sedang bekerja atau tidak.
- LCD berfungsi untuk menampilkan informasi berupa arus, daya, dan tegangan yang dihasilkan pembangkit listrik *hybrid*.

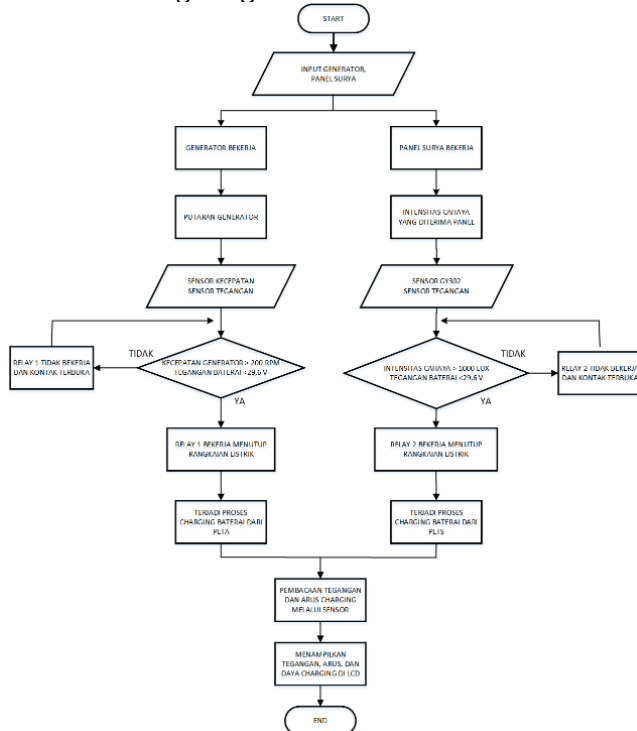
Berikut ini merupakan rancangan *wiring diagram* Pembangkit Listrik Sistem Hybrid Tenaga Air dan Surya dengan Sistem Kontrol Berbasis Arduino.



Gambar 3.3 Wiring Diagram

3.2.2 Perancangan Hardware

Agar perangkat keras dapat berjalan sesuai fungsinya maka diperlukan perangkat lunak sebagai penggerak sistem. Sebelum dilakukan pemrograman, diperlukan suatu flowchart untuk menjelaskan alur proses dalam sebuah program. Berikut merupakan *flowchart* dari rancang bangun ini.



Gambar 3.4 Flowchart Alat

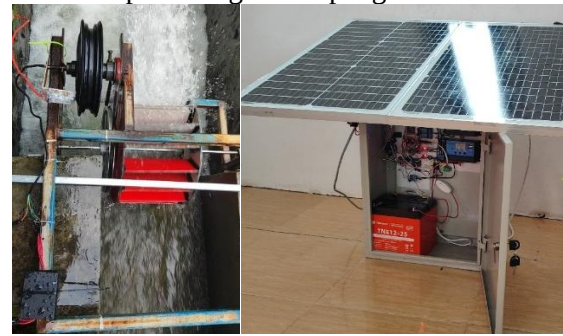
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini dijelaskan hasil pembuatan alat yang berdasarkan perencanaan yang sudah didesain sebelumnya. Alat yang telah dirancang akan dilakukan serangkaian uji coba berdasarkan alur dan cara kerja yang telah dibuat. Hasil uji coba ini selanjutnya dianalisa yang memiliki tujuan mengetahui apakah ada kesalahan maupun kekurangan dalam pembuatan alat. Kemudian dilakukan evaluasi yang merupakan bagian yang penting sehingga dapat menyempurnakan alat.

4.1 Hasil Perancangan

4.3.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras

Berikut ini gambar hasil rancangan pembangkit listrik sistem *hybrid* tenaga air dan surya dengan sistem kontrol berbasis Arduino dan hasil pemasangan di lapangan.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan Alat

4.3.2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Dalam perancangan perangkat lunak akan dibahas beberapa tahapan untuk menyelesaikan sistem sesuai dengan percanaan awal. Pembuatan *source code* dilakukan menggunakan *software Arduino IDE* sebagai perintah untuk mikrokontroler agar berjalan sesuai dengan flowchart.



Gambar 4.2 Tampilan pada Software saat Compile Berhasil

4.2 Pengujian Alat

4.2.1 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pada pengujian ini penulis mengambil data variasi kecepatan generator pada aliran air dan data tegangan output generator yang dihasilkan. Pengukuran kecepatan generator dilakukan menggunakan alat *tachometer*. Sedangkan tegangan output generator diukur menggunakan multimeter. Berikut hasil dari pengukuran tegangan yang dihasilkan generator.

Tabel 4.1 Pengujian PLTA

No.	Kecepatan Generator (RPM)	Tegangan (Volt)
1.	106	10
2.	148	13
3.	174	18
4.	205	22
5.	258	26
6.	279	29
7.	305	32
8.	339	36



Gambar 4.3 Pengujian PLTA

4.2.2 Pengujian Sensor terhadap Fungsi Relay

Jumlah *relay* yang digunakan sebanyak dua buah. *Relay* 1 berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik dari panel surya ke baterai. *Relay* 2 berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik dari generator menuju baterai. *Relay* nomer 1 menyala jika sensor mendeteksi intensitas cahaya sudah memenuhi persyaratan minimal yaitu 1000 lux. Ketika sensor mendeteksi intensitas cahaya di bawah 1000 lux maka *relay* 1 akan mati. *Relay* nomer 2 menyala jika sensor mendeteksi putaran generator sudah memenuhi persyaratan minimal yaitu 200 rpm. Ketika sensor mendeteksi putaran generator di bawah 200 rpm maka *relay* 2 akan mati. Berikut hasil pengujian relay.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Relay

Hasil Pembacaan Sensor		Kondisi Relay	
Kecepatan Generator	Intensitas Cahaya	Relay 1	Relay 2
240 rpm	-	Mati	Hidup
150 rpm	-	Mati	Mati
-	2000 lux	Hidup	Mati
-	500 lux	Mati	Mati
240 rpm	2000 lux	Hidup	Hidup

4.2.3 Pengujian Sistem Hybrid

Pengujian sistem secara menyeluruh menunjukkan bahwa alat ini dapat menghasilkan listrik melalui panel surya ketika matahari sedang panas atau cerah dan menghasilkan listrik saat generator berputar saat mendapat tekanan dari air. Kedua sumber energi tersebut dapat digunakan secara bersama dan menghasilkan energi listrik yang disimpan dalam baterai. Arduino nano bekerja mendeteksi dan mengolah data apada sensor dan memerintahkan *relay* sebagai pengendali rangkaian listrik. Secara keseluruhan alat ini dapat bekerja dengan baik dan berfungsi seperti rancangan yang telah dibuat. Berikut merupakan tampilan LCD saat sistem sedang bekerja.



Gambar 4.3 LCD Menunjukkan Pengukuran



Gambar 4.4 Pengujian Pembangkit Listrik Sistem Hybrid secara Keseluruhan

4.2.4 Pengujian Daya PLTS

Data yang diambil pada saat bersamaan yaitu tegangan, arus, dan intensitas cahaya matahari yang dibaca dengan arduino. Pengambilan data dilaksanakan pada pukul 08.00-16.00 selama 7 hari. Daya listrik yang diproduksi oleh panel surya atau listrik DC bisa dihitung menggunakan rumus berikut :

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Keterangan :

P = Daya keluaran dari panel surya (watt)

V = Tegangan listrik (volt)

I = Kuat arus listrik (ampere)

Berikut ini tabel pengujian tegangan, arus, dan daya panel surya maksimal tiap harinya.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Daya Panel Surya

Hari	Jam	Intensitas Cahaya (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Minggu	13.00	8745	26,5	2,1	55,7
Senin	14.00	6534	26,8	1,8	48,2
Selasa	13.00	6132	26,6	1,7	45,2
Rabu	09.00	2943	26,1	0,8	20,9
Kamis	12.00	6284	26,7	2,2	58,7
Jumat	13.00	6782	26,8	2,0	53,6
Sabtu	13.00	6201	26,6	1,6	42,6

Dari data tabel diatas, dapat diketahui bahwa daya maksimal yang dihasilkan panel surya terjadi pada hari Kamis, 2 Januari 2025 dengan pembacaan nilai tegangan 26,7 volt dan arus 2,2 ampere. Daya yang dihasilkan sebesar 58,7 watt. Tingkat intensitas cahaya matahari dapat bervariasi sepanjang hari dan tergantung pada beberapa faktor, termasuk waktu, cuaca, dan sebagainya. Sehingga beberapa faktor tersebut menyebabkan daya yang dihasilkan panel surya dapat berubah-ubah dengan cepat setiap saat.

4.2.5 Pengujian Daya PLTA

Data yang diambil pada saat bersamaan yaitu tegangan, arus, dan kecepatan generator yang dibaca dengan arduino. Pengambilan data dilaksanakan pada pukul 08.00-16.00 selama 7 hari. Berikut ini tabel pengujian tegangan, arus, dan daya PLTA maksimal tiap harinya.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Daya PLTA

Hari	Jam	Kecepatan Generator (RPM)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Minggu	15.00	260	27,0	0,66	17,82
Senin	16.00	260	27,5	0,64	17,6
Selasa	13.00	260	26,6	0,70	18,62
Rabu	13.00	260	26,4	0,65	17,16
Kamis	16.00	260	27,1	0,66	17,89
Jumat	12.00	260	26,5	0,71	18,82
Sabtu	12.00	260	26,4	0,67	17,69

Dari data tabel di atas menunjukkan bahwa produksi energi listrik dari generator tertinggi terjadi pada hari Jum'at, tanggal 3 Januari 2025. Tegangan yang dihasilkan sebesar 26,5 volt dan arus yang dihasilkan

sebesar 0,71 ampere, dengan daya 18,82 watt. Daya yang dihasilkan oleh generator tidak mengalami kenaikan ataupun penurunan daya yang signifikan selama pengujian. Kecepatan generator yang tercatat berkisar antara 240 sampai dengan 260 rpm. Hal ini dikarenakan air bersumber dari saluran irigasi persawahan dengan debit air yang cukup stabil. Kenaikan arus listrik pada percobaan tersebut dipengaruhi oleh debit air yang meningkat dikarenakan terjadi peningkatan intensitas hujan.

4.2.5 Pengujian Total Daya dari Pembangkit Listrik Sistem Hybrid

Data berikut ini merupakan gabungan antara hasil pengujian daya dari pembangkit listrik tenaga surya dengan pembangkit listrik tenaga air. Pengujian dilakukan selama satu minggu dengan menampilkan pada tabel daya maksimal tiap harinya.

Tabel 4.5 Total Daya Pembangkit Listrik Sistem Hybrid PLTS dan PLTA

Hari	Jam	Daya PLTS	Daya PLTA	Total Daya
Minggu	13.00	55,7	16,43	72,13
Senin	14.00	48,2	16,62	64,82
Selasa	13.00	45,2	18,62	63,82
Rabu	09.00	20,9	16,97	37,87
Kamis	12.00	58,7	16,29	74,99
Jumat	12.00	53	18,82	71,82
Sabtu	13.00	42,6	15,96	58,56

Dari data tabel di atas menunjukkan total daya yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga air dan surya mendapat hasil tertinggi pada tanggal 2 Januari 2025 pukul 12.00 sebesar 74,9 watt. Berdasarkan data tersebut, penggabungan daya dari panel surya dan generator berjalan efektif pada siang hari. Sehingga total produksi daya yang dihasilkan lebih besar.

5. KESIMPULAN

- Pembangkit listrik tenaga surya yang telah dirancang dapat menghasilkan maksimal nilai tegangan 26,7 volt dan arus 2,2 ampere dengan intensitas cahaya 6284 lux pada saat cuaca cerah.
- Pembangkit listrik tenaga air yang telah dirancang dapat menghasilkan maksimal nilai tegangan 26,5 volt dan arus 0,71 ampere dengan kecepatan generator sebesar 260 rpm.

- c. Perancangan pembangkit listrik sistem *hybrid* ini merupakan penggabungan output panel surya dengan sumber energi dari matahari dan output generator dengan sumber energi dari tekanan air. Arduino berfungsi untuk mengontrol *relay* yang berfungsi memutus dan menghubungkan arus dari pembangkit menuju baterai.
- d. Pengujian pembangkit listrik sistem *hybrid* ini menghasilkan daya maksimal dari panel surya sebesar 58 watt dan daya maksimal dari generator sebesar 18,8 watt. Total daya yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga air dan surya mendapatkan hasil tertinggi yaitu sebesar 74,9 watt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT yang memudahkan dalam penelitian ini dan mengucapkan terima kasih kepada dosen dan teman-teman atas bimbingan, saran, dan dukungan yang telah diberikan terhadap penelitian ini. Sehingga dukungan tersebut dapat meningkatkan kualitas penulisan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Satry Nugraha, "Indonesia Energy Outlook," *Outlook Energi Indonesia*, vol. 44, no. 8, pp. 085–201, 2019, [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-indonesia-energy-outlook-2010-484r1pu.pdf>
- [2] Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Outlook Energi Indonesia 2023," *Jakarta*, pp. 1–85, 2023, [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>
- [3] W. W. Sri Anggoro Prahastono, Ahmad Agus Setiawan, "The Design of Hybrid Renewable Energies Utilization To Increase," vol. 02, no. 02, pp. 18–29, 2023.
- [4] N. Wahyu Pramasetya and B. Yan Dewantara, "Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Pv Dan Turbin Angin Type Savonius Untuk Penerangan Pada Jalan Tol," *Naufal Wahyu Pramasetya*, vol. 9, no. 1, pp. 2615–7764, 2022, [Online]. Available: <https://journal.trunojoyo.ac.id/triac>
- [5] T. Wahyudi, M. I. Arsyad, and M. Ivanto, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Aliran Arus Sungai," 2022.
- [6] C. Samsurizal, Kartika Tresya Mauriraya, Miftahul Fikiri, Nurmiati Pasra, "PENGENALAN PLTS," 2021.
- [7] A. P. Yuda, D. Riyanto, and J. S. Habiby, "Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya dilengkapi Informasi Lokasi," *Digital Transformation Technology (Digitech)*, vol. 3, no. 1, pp. 316–325, 2023.
- [8] N. Yuniarti and I. W. Aji, "Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik," *Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT. Universitas Negeri Yogyakarta*, pp. 41–48, 2019.
- [9] A. S. Romadhon and F. Umam, *Project Sistem Kontrol Berbasis Arduino*. MNC, 2021.
- [10] B. Rudiyanto, R. E. Rachmanita, and A. Budiprasojo, *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. 2023. [Online]. Available: https://sipora.polije.ac.id/27973/2/ebook_panel_surya.pdf
- [11] N. Soedjarwanto, Z. Huda, and A. Z. Kurniawan, "Perancangan Prototype Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis IOT," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4549.
- [12] A. Aldi, "Rancang Bangun Sistem Kendali Intensitas Cahaya Lampu Ruangan Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler Arduino MEGA," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3642.
- [13] M. Junaldy, S. R. U. A. Sompie, and S. Patras, "Rancang Bangun Alat Pemantau Arus Dan Tegangan Di Sistem Panel Surya Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 9–14, 2019.