

Implementasi Data Logger Berbasis IC MUX Pada PLTS Off Grid

Rizki Anugrah ¹, Ali Basrah Pulungan ^{1*}

¹. Universitas Negeri Padang

*Corresponding author, e-mail: alibp@ft.unp.ac.id

Abstrak

Pemantauan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), khususnya sistem *off-grid*, memerlukan solusi data logger yang efektif dan efisien untuk mengumpulkan data dari banyak titik pengukuran. Data logger komersial seringkali terkendala oleh biaya tinggi, kapasitas terbatas, dan kurangnya fleksibilitas. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem data logger berbiaya rendah berbasis *Integrated Circuit (IC) Multiplexer* CD4051B yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino UNO. Sistem ini dirancang untuk mengukur parameter kunci seperti arus (ACS712) dan tegangan (sensor tegangan) dari delapan saluran berbeda, serta parameter lingkungan (sensor DHT11 dan BH1750). Penggunaan IC MUX CD4051B memungkinkan ekspansi input analog Arduino UNO secara signifikan. Akurasi data waktu dipastikan oleh modul *Real-Time Clock (RTC)* DS1307, dan data disimpan dalam kartu SD untuk analisis jangka panjang. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan solusi data logger yang ekonomis, andal, fleksibel, dan dapat diskalakan untuk memenuhi kebutuhan pemantauan PLTS *off-grid*, mengatasi keterbatasan data logger komersial dan mendukung optimalisasi kinerja serta pemeliharaan sistem energi terbarukan.

Keywords: panel surya, PLTS off grid, IC multiplexer, arduino uno, data logger.

Abstract

Monitoring the performance of large-scale solar power plants (PLTS), especially off-grid systems, requires an effective and efficient data logger solution to collect data from multiple measurement points. Commercial data loggers are often constrained by high costs, limited capacity, and a lack of flexibility. This study aims to design and implement a low-cost data logger system based on the CD4051B Integrated Circuit (IC) Multiplexer integrated with an Arduino UNO microcontroller. The system is designed to measure key parameters such as current (ACS712) and voltage (voltage sensor) from eight different channels, as well as environmental parameters (DHT11 and BH1750 sensors). The use of the CD4051B MUX IC significantly expands the analog input capabilities of the Arduino UNO. Data accuracy is ensured by the DS1307 Real-Time Clock (RTC) module, and data is stored on an SD card for long-term analysis. This approach is expected to produce an economical, reliable, flexible, and scalable data logger solution to meet the monitoring needs of off-grid solar power systems, address the limitations of commercial data loggers, and support the optimization of performance and maintenance of renewable energy systems.

Keywords: solar panel, PLTS off-grid, IC multiplexer, arduino uno, data logger.

PENDAHULUAN

Kebutuhan global akan sumber energi bersih dan berkelanjutan terus mendorong inovasi dalam teknologi energi terbarukan, dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) muncul sebagai salah satu solusi yang paling menjanjikan [15]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi energi terbarukan yang krusial, terutama untuk sistem *off-grid*. Pemantauan kinerja sistem ini secara komprehensif sangat penting untuk optimalisasi produksi energi dan pemeliharaan prediktif, memastikan keandalan operasional jangka panjang [8,16].

Data logger memegang peran vital dalam pemantauan PLTS dengan mengumpulkan parameter operasional kunci. Namun, solusi data logger komersial seringkali terkendala oleh biaya tinggi dan kurangnya fleksibilitas, terutama dalam mengakomodasi kebutuhan pengukuran multi-titik pada sistem skala besar [9,17].

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan kelayakan penggunaan *platform* mikrokontroler seperti Arduino untuk data logger berbiaya rendah [1, 2, 3, 20]. Meskipun teknik *multiplexing* dapat mengatasi keterbatasan input analog [4, 5, 18], tantangan tetap ada dalam pengukuran parameter berbeda (tegangan dan arus) secara bergantian sambil menjaga isolasi elektrik yang memadai [19].

Penelitian ini mengusulkan solusi data logger inovatif yang mengintegrasikan mikrokontroler Arduino UNO, IC Multiplexer (MUX) CD4051B, dan mekanisme *switching relay*. Kombinasi ini tidak hanya memperluas kapasitas input analog secara signifikan tetapi juga memberikan isolasi elektrik antar jalur pengukuran, meningkatkan akurasi dan keamanan sistem [14, 20]. Sistem ini dirancang untuk mengukur tegangan dan arus dari empat panel surya, serta data lingkungan, secara sekuensial dan terjadwal, dengan timestamp akurat dari RTC DS1307 [6] dan penyimpanan data pada kartu SD [7]. Tujuannya adalah menghasilkan sistem pemantauan PLTS yang ekonomis, andal, fleksibel, dan dapat diskalakan [21].

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan *prototyping* untuk mengembangkan sistem data logger yang dapat memantau kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* secara komprehensif [22]. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengembangan solusi teknis yang dapat divalidasi dan dioptimalkan melalui serangkaian iterasi pengujian [23].

Tahap awal penelitian melibatkan kajian mendalam terhadap literatur terkait teknologi data logger, karakteristik sistem PLTS, dan teknik *multiplexing* untuk identifikasi parameter kunci yang diperlukan dalam pemantauan sistem [24]. Analisis ini akan menghasilkan spesifikasi fungsional sistem yang mencakup parameter listrik yang harus dimonitor, resolusi pengukuran yang dibutuhkan, dan interval sampling yang optimal [25].

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, akan dirancang arsitektur sistem data logger yang mengintegrasikan mikrokontroler Arduino UNO sebagai unit pemroses utama, IC *Multiplexer* CD4051B untuk ekspansi input analog, dan sistem relay untuk isolasi pengukuran [26]. Tahap ini menghasilkan skema rangkaian lengkap dan spesifikasi komponen yang akan digunakan. Perakitan sistem dilakukan sesuai dengan skema rangkaian yang telah dirancang, meliputi integrasi sensor arus ACS712 [10] untuk empat panel surya, modul sensor tegangan DC, sensor lingkungan DHT11 [11] untuk suhu dan kelembaban, sensor intensitas cahaya BH1750 [12], modul RTC DS1307 untuk pencatatan waktu [6], dan modul kartu SD sebagai media penyimpanan data. [7]. Pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE dengan fokus pada algoritma pengontrolan *multiplexer*, koordinasi *switching relay*, akuisisi data sensor, integrasi *timestamp*, dan pengelolaan penyimpanan data dalam format CSV [27]. *Firmware* dirancang untuk mengoptimalkan akurasi pengukuran dan efisiensi energi sistem [28].

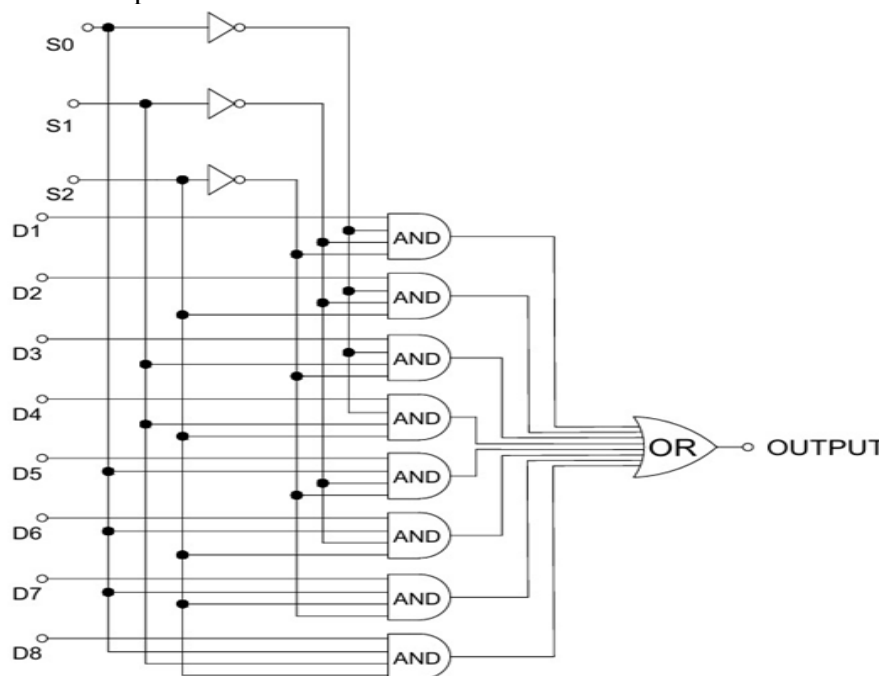
Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan empat panel surya sebagai objek pemantauan. Sistem data logger akan mengukur parameter listrik (arus dan tegangan) dari setiap panel secara berurutan menggunakan mekanisme *multiplexing*, serta parameter lingkungan (suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya) secara bersamaan [29]. Sistem akan mengukur enam parameter utama yaitu arus dan tegangan dari empat panel surya (delapan parameter listrik), suhu dan kelembaban ambient menggunakan sensor DHT11, serta intensitas cahaya menggunakan sensor BH1750 [13]. Setiap siklus pengukuran akan dilengkapi dengan *timestamp* yang akurat dari modul RTC.

Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan analisis tren untuk mengevaluasi akurasi, keandalan, dan stabilitas sistem data logger yang dikembangkan, mengikuti prinsip-prinsip desain data logger yang efektif sebagaimana diuraikan oleh penelitian terdahulu [14,30].

Gerbang Logika IC Multiplexer (MUX)

Multiplexer (MUX) merupakan komponen kunci dalam sistem data logger untuk pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memungkinkan pengukuran multi-titik dengan efisiensi tinggi [31]. IC Multiplexer CD4051B adalah sirkuit terintegrasi CMOS yang berfungsi sebagai saklar analog 8-saluran tunggal yang dikontrol secara digital, memungkinkan seleksi satu dari delapan input analog untuk diteruskan ke output [32].

Dalam penelitian sistem data logger berbasis Arduino UNO ini, IC Multiplexer CD4051B berfungsi sebagai 8-to-1 selector yang memungkinkan satu mikrokontroler untuk mengukur parameter listrik dari empat panel surya secara sekuensial [33]. Dengan menggunakan tiga bit sinyal kontrol (S0, S1, S2), sistem dapat memilih salah satu dari delapan jalur input data untuk mengukur tegangan dan arus dari masing-masing panel, mengatasi keterbatasan pin analog pada Arduino UNO sambil mempertahankan isolasi elektrik yang memadai antar jalur pengukuran [34]. Berikut adalah gerbang logika dari IC Multiplexer CD4051B.



Gambar 1. Gerbang Logika IC Multiplexer

Implementasi IC MUX dalam sistem data logger PLTS ini mendemonstrasikan bagaimana komponen digital sederhana dapat memberikan solusi ekonomis dan fleksibel untuk pemantauan sistem energi terbarukan [35]. Struktur internal MUX yang menggunakan decoder 3-to-8, gerbang

AND, dan gerbang OR memungkinkan switching data yang presisi dan terjadwal setiap 5 menit, memfasilitasi pengumpulan data komprehensif dari parameter listrik dan lingkungan [36].

Keunggulan CD4051B dalam aplikasi data logger meliputi konsumsi daya rendah (typical 0.5mW), rentang tegangan operasi luas (3V-20V), resistansi ON yang rendah (280Ω typical), dan kemampuan menangani sinyal analog dan digital [37]. Karakteristik ini menjadikan CD4051B ideal untuk aplikasi pemantauan energi terbarukan yang memerlukan akurasi tinggi dan efisiensi energi [38].

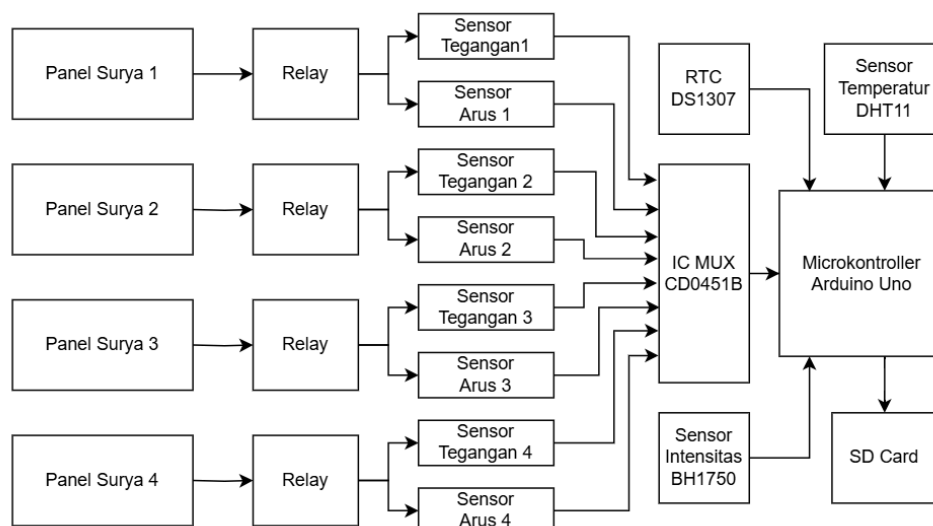
Tabel 1. Tabel Kebenaran

ENABEL	S0	S1	S2	CHANNEL ON
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None

Diagram Blok

Diagram blok merupakan representasi visual tingkat tinggi dari suatu sistem yang menyoroti komponen atau fungsi utamanya, digambarkan dalam bentuk kotak-kotak yang dihubungkan oleh garis untuk menunjukkan hubungan antar komponen. Dalam konteks perancangan sistem data logger ini, diagram blok berfungsi untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai arsitektur sistem dan interaksi antar modul perangkat keras, sehingga memudahkan pemahaman tentang alur kerja dan struktur keseluruhan sistem. Representasi ini tidak hanya membantu perancang dalam memetakan hubungan antar elemen, tetapi juga mempermudah komunikasi teknis kepada pemangku kepentingan, seperti insinyur, teknisi, atau klien, dengan cara yang sederhana namun informatif.

Sistem data logger yang dikembangkan terdiri dari beberapa blok utama yang saling terintegrasi. Empat panel surya terhubung ke relay masing-masing, yang berfungsi sebagai saklar untuk mengalihkan jalur pengukuran antara sensor tegangan dan sensor arus. Setiap panel memiliki sensor tegangan dan sensor arus yang terhubung ke IC *Multiplexer* CD4051B. IC MUX ini berperan sebagai penghubung antara berbagai sensor dan mikrokontroler Arduino UNO. Sistem juga dilengkapi dengan sensor lingkungan: RTC DS1307 [6] untuk pencatatan waktu yang akurat, sensor DHT11 [11] untuk pengukuran suhu dan kelembaban, serta sensor BH1750 [12] untuk pengukuran intensitas cahaya. Semua komponen ini terhubung ke mikrokontroler Arduino UNO yang berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat, mengontrol alur pengukuran, memproses data, dan menyimpannya ke modul SD Card [7]. Penggunaan diagram blok dalam perancangan sistem elektronik, khususnya untuk aplikasi data logger, telah menjadi praktik standar dalam industri.

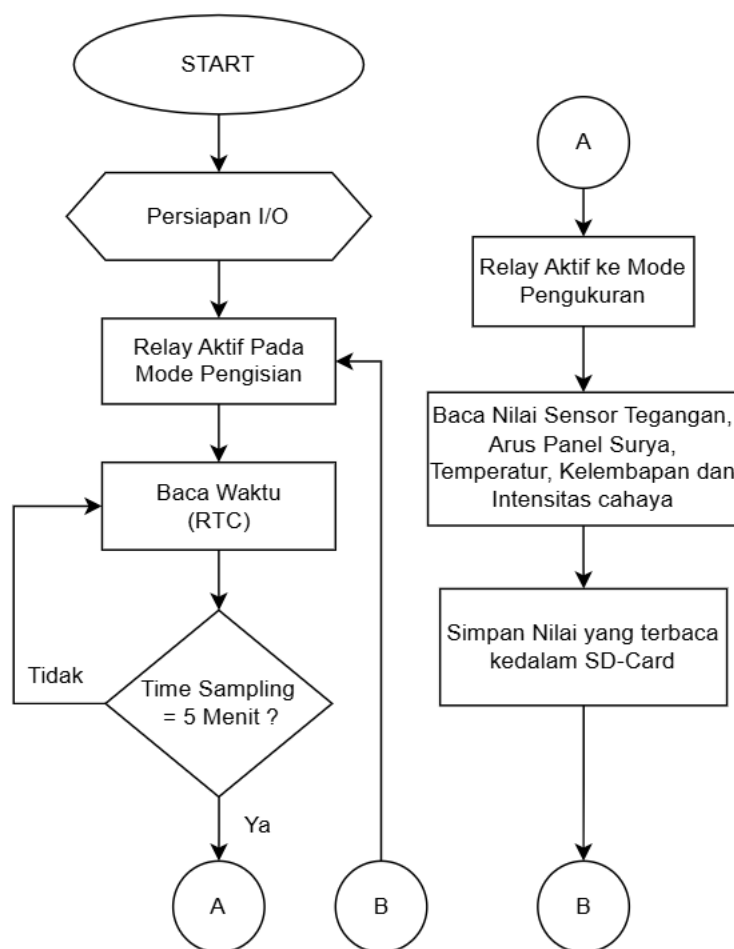


Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Flowchart

Flowchart atau diagram alir adalah representasi grafis dari urutan langkah-langkah atau alur kerja suatu proses atau algoritma [7]. Dalam konteks sistem data logger yang dikembangkan, flowchart berfungsi sebagai peta visual dari logika program yang diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino UNO, menggambarkan alur kerja sistem secara komprehensif dari inisialisasi hingga pengukuran dan penyimpanan data.

Flowchart dimulai dengan tahap START yang dilanjutkan dengan persiapan I/O untuk inisialisasi seluruh komponen hardware, kemudian masuk ke loop utama yang melakukan pembacaan RTC secara kontinyu. Sistem akan memeriksa kondisi waktu sampling setiap 5 menit pada detik ke-0 hingga ke-5, dan jika kondisi tidak terpenuhi, program akan kembali ke pembacaan RTC untuk menunggu waktu yang tepat. Ketika kondisi waktu terpenuhi, sistem akan mengaktifkan relay, melakukan pembacaan data dari sensor-sensor (tegangan, arus, suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya), menyimpan data ke SD Card dengan format yang telah ditentukan, kemudian menonaktifkan relay untuk menghemat energi sebelum kembali ke loop pembacaan SD Card dan RTC. Struktur *flowchart* ini sangat logis karena memastikan sistem bekerja secara terjadwal, efisien dalam penggunaan energi, dan memiliki mekanisme *error handling* yang baik melalui pengecekan berulang terhadap komponen kritis seperti SD Card dan RTC, sehingga cocok untuk aplikasi data logger yang membutuhkan keandalan tinggi dalam jangka panjang.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Prinsip kerja sistem data logger ini bekerja secara otomatis dan terjadwal untuk mengumpulkan data dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO sebagai unit pengendali utama. Setelah proses inisialisasi komponen yang mencakup komunikasi serial dan I2C, sensor DHT11 untuk suhu-kelembaban, sensor BH1750 untuk intensitas cahaya, RTC DS1307 untuk pencatat waktu, dan kartu SD untuk penyimpanan data, sistem akan secara kontinyu memeriksa waktu dan status kartu SD untuk memastikan kondisi operasional yang optimal. Pengukuran hanya akan dimulai jika kartu SD terdeteksi dan waktu menunjukkan interval pengukuran yang ditentukan, yaitu setiap 5 menit pada detik ke-0 hingga ke-5, dengan semua relay dinonaktifkan terlebih dahulu untuk menjamin keamanan sistem saat startup.

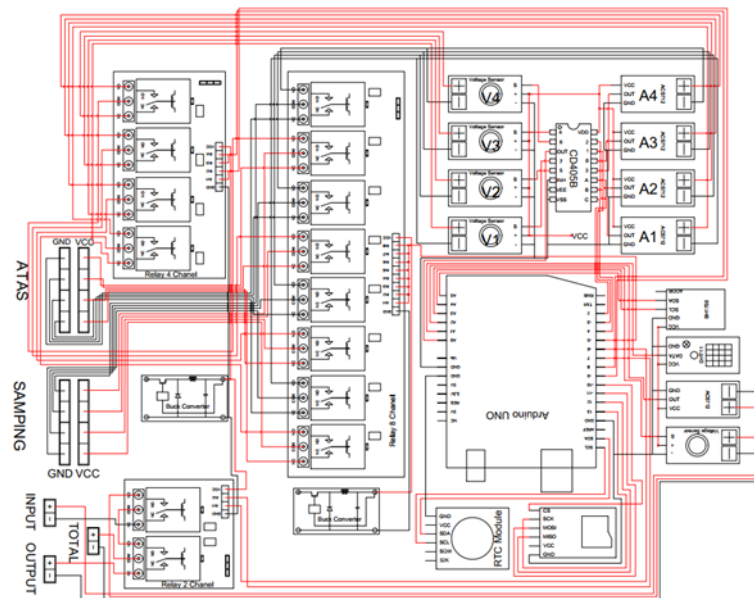
Ketika kondisi waktu terpenuhi, sistem memulai siklus pengukuran terjadwal dengan mengaktifkan relay yang sesuai untuk memilih jalur pengukuran tegangan atau arus, kemudian melakukan pengukuran sekuensial menggunakan IC multiplexer CD4051B dan kombinasi relay 8 chanel, 4 channel, dan 2 channel untuk mengukur tegangan dan arus dari empat panel surya individual menggunakan sensor ACS712, diikuti dengan pengukuran parameter output sistem secara keseluruhan dan kondisi lingkungan. Data yang diperoleh kemudian difilter untuk mengurangi noise, dikalibrasi secara otomatis untuk sensor arus, dan disimpan dalam format CSV ke kartu SD bersama dengan *timestamp* yang akurat dari RTC, setelah itu semua relay dinonaktifkan untuk menghemat energi hingga siklus pengukuran berikutnya.

Penggunaan flowchart sangat penting untuk memastikan logika program yang terstruktur dan mudah dipahami, serta memfasilitasi komunikasi dan identifikasi masalah dalam pengembangan

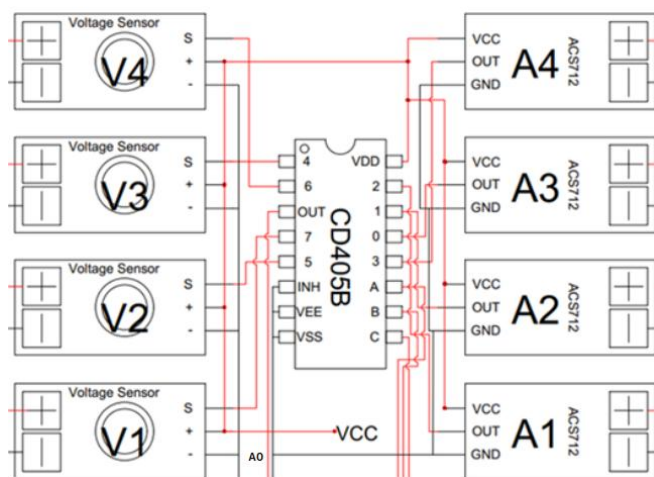
sistem [15]. Pada konteks sistem yang kompleks seperti data logger untuk PLTS, *flowchart* membantu mengidentifikasi alur eksekusi program, kondisi-kondisi khusus yang perlu ditangani, dan struktur logika keseluruhan.

Desain Elektronik

Pada perancangan elektronik meliputi konfigurasi sensor arus, sensor tegangan, sensor suhu dan kelembapan, sensor intensitas cahaya, module RTC, modul SDCard, relay dan mikrokontroler Arduino UNO yang dirancang menggunakan AutoCAD.



Gambar 4. Rangkaian Sistem Keseluruhan



Gambar 5. Konfigurasi IC MUX dengan Sensor

Desain Software

Pada perancangan software pada tugas akhir ini menggunakan software Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), yang dimana Arduino IDE adalah *software compiler* yang dirancang khusus untuk menerjemahkan, membuat dan mengedit bahasa program agar dapat dimengerti oleh controller dan dapat menambahkan ekstensi file *library* untuk memudahkan programmer dalam mengontrol alat yang dibuat. Pada penelitian ini ada beberapa *library* yang digunakan untuk menjalankan fungsi dari beberapa sensor, RTC (*Real Time Clock*), sensor arus, sensor tegangan,

DHT11, dan BH1750. Untuk memprogram RTC dan komponen sensor lainnya, programmer akan dibantu dengan adanya library yang sudah disediakan oleh *developer*. Hal ini bertujuan agar programmer dapat fokus kepada prinsip kerja dari alat yang akan dirancang.

```
1  #include "RTClib.h"
2  #include <Wire.h>
3  #include <SPI.h>
4  #include <SD.h>
5  #define sampling 1000
6  #include <BH1750.h>
7  #include <DHT.h>
8
9  //konfigurasi untuk sensor DHT11
10 #define DHTPIN2 A1
11 #define DHTTYPE DHT11
12
13 BH1750 lightMeter;
14 float Intensitas;
15 RTC_DS1307 rtc;
16
17 //buat variabel untuk sensor DHT
18 float humidity, temperature;
19 DHT dht11(DHTPIN2, DHTTYPE);
20 char daysOfTheWeek[7][12] = {"Minggu", "Senin", "Selasa", "Rabu", "Kamis", "Jumat", "Sabtu"};
21 double hasil1 = 0.0, hasil2 = 0.0, hasil3 = 0.0, hasil4 = 0.0, hasilOp = 0.0;
22 float arus1, arus2, arus3, arus4, arusOp;
23 float R1 = 30000.0;
24 float R2 = 7500.0;
```

Gambar 6. Rancangan Code

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat dimulai dari merangkai semua sensor; Arus, Tegangan, Suhu dan kelembapan, Intensitas Cahaya, RTC module Serta SDCard module ke *microcontroller* Arduino Uno, untuk sensor arus dan tegangan untuk masing masing panel surya terkonfigurasi dengan IC MUX CD405B, pastikan semua terhubung dengan baik.



Gambar 7. Desain Alat

Selanjutnya pengujian dilakukan dengan mengalirkan sumber dari PLTS dengan alat yang telah di rakit sehingga dapat melakukan pengukuran dan sistem dapat berjalan dengan baik. Selanjutnya nilai yang terukur nantinya disimpan di SDCard dengan format cvs



Gambar 8. Implementasi Sistem

Tabel 2. Hasil Pengukuran Parameter

Hari	Tanggal	Jam	V1	V2	V3	V4	I1	I2	I3	I4	Suhu	Klmbp	Radiasi
Minggu	25/05/2025	07.45	20,07	19,92	20,00	20,00	0,51	0,47	0,54	0,49	27,69°C	75,86%	49,5W/m ²
Minggu	25/05/2025	07.50	20,09	19,90	19,92	19,95	0,51	0,49	0,54	0,50	28,34°C	75,59%	25,55 W/m ²
Minggu	25/05/2025	07.55	20,00	19,85	19,95	19,97	0,56	0,52	0,59	0,55	28,74°C	75,36%	39,36 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.00	20,07	19,75	19,90	19,87	0,53	0,52	0,57	0,53	27,94°C	77,74%	42,42 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.05	20,02	19,82	19,92	19,92	0,56	0,54	0,62	0,58	28,12°C	75,22%	32,23 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.10	20,07	19,90	20,02	20,02	0,63	0,62	0,69	0,64	28,11°C	71,73%	48,26 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.15	20,00	19,85	19,92	19,95	0,63	0,62	0,69	0,65	28,23°C	74,08%	50,6 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.20	20,19	19,92	20,04	20,04	0,71	0,72	0,79	0,73	28,13°C	73,21%	42,33 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.25	20,07	19,97	20,02	20,02	0,78	0,79	0,87	0,82	28,54°C	74,48%	52,15 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.30	20,21	19,95	20,07	20,14	0,86	0,87	0,94	0,88	28,62°C	73,96%	53,88 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.35	20,19	19,92	20,12	20,14	0,91	0,91	0,99	0,92	30,85°C	73,51%	50,04 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.40	20,04	19,85	20,09	19,95	0,91	0,91	0,99	0,93	29,13°C	75,23%	54,45 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.45	20,12	19,90	20,09	20,04	0,98	0,99	1,06	1,01	29,25°C	77,34%	63,66 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.50	20,00	19,95	19,97	20,04	0,98	1,01	1,09	1,02	29,03°C	73,58%	62,31 W/m ²
Minggu	25/05/2025	08.55	20,24	20,02	20,17	20,07	1,03	1,04	1,11	1,05	30,12°C	72,31%	53,58 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.00	20,07	19,92	19,95	20,07	1,08	1,11	1,19	1,11	28,63°C	75,62%	68,06 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.05	19,85	19,80	19,82	19,90	1,05	1,09	1,16	1,10	30,97°C	71,44%	75,9 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.10	19,90	19,68	19,85	19,75	1,05	1,09	1,16	1,08	29,97°C	72,59%	81,89 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.15	20,02	19,75	20,02	19,90	1,05	1,06	1,14	1,08	29,07°C	71,36%	61,59 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.20	20,04	19,78	20,04	19,97	1,08	1,11	1,19	1,11	30,39°C	68,67%	103,72W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.25	20,14	19,82	20,02	20,00	1,13	1,14	1,24	1,15	30,03°C	67,1%	91,54 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.30	20,24	19,92	20,14	20,02	1,25	1,29	1,36	1,27	29,95°C	67,15%	87,57 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.35	20,12	19,78	20,09	19,97	1,30	1,34	1,41	1,34	32,27°C	70,01%	122,26W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.40	20,02	19,78	19,95	19,85	1,35	1,39	1,49	1,39	31,2°C	70,44%	96,22 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.45	20,02	19,75	20,04	19,92	1,35	1,41	1,49	1,40	30,9°C	68,09%	99,24 W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.50	20,02	19,70	20,02	19,90	1,38	1,44	1,49	1,42	31,3°C	73,72%	107,24W/m ²
Minggu	25/05/2025	09.55	20,04	19,75	20,02	19,82	1,33	1,36	1,46	1,36	31,66°C	70,21%	119,72W/m ²
Minggu	25/05/2025	10.00	20,12	19,80	20,04	19,90	1,38	1,41	1,49	1,42	31,96°C	66,46%	89,54 W/m ²
Minggu	25/05/2025	10.05	20,04	19,82	20,02	19,92	1,38	1,44	1,51	1,42	31,38°C	69,93%	84,33 W/m ²
Minggu	25/05/2025	10.10	19,90	19,68	19,85	19,78	1,40	1,44	1,54	1,45	32,44°C	64,71%	107,58W/m ²
Minggu	25/05/2025	10.15	20,00	19,73	19,90	19,87	1,38	1,44	1,51	1,43	31,66°C	66,72%	126,96W/m ²
Minggu	25/05/2025	10.20	20,02	19,78	19,87	19,78	1,43	1,46	1,56	1,48	32,84°C	67,89%	80,88 W/m ²
Minggu	25/05/2025	10.25	20,02	19,75	19,95	19,85	1,48	1,56	1,64	1,55	32,78°C	67,2%	210,53W/m ²

Data yang diperoleh dari sistem *multiplexing* menunjukkan karakteristik yang konsisten dengan parameter operasional normal panel surya. Rentang tegangan 18,8 sampai 21,0V dan rentang arus 0,11 sampai 1,51A sesuai dengan spesifikasi panel surya monokristalin (Vmp: 18-21V)

PENUTUP

Implementasi IC *Multiplexer* CD4051B telah berhasil membuktikan bahwa keterbatasan pin analog Arduino UNO dapat diatasi secara efektif. Dengan hanya menggunakan 4 pin (3 pin digital + 1 pin analog untuk data), sistem berhasil mengekspansi kapasitas input menjadi 8 *channel* analog. Hal ini memungkinkan pengukuran 8 parameter listrik 4 sensor tegangan, 4 sensor arus dan dua parameter lingkungan secara sekuensial dengan satu mikrokontroler (suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya) dengan interval sampling 5 menit.

Integrasi IC *Multiplexer* CD4051B dengan sistem relay *switching* terbukti efektif dalam mengatasi keterbatasan pin analog mikrokontroler Arduino UNO, Sistem ini berhasil mengimplementasikan penyimpanan data dalam format CSV pada kartu SD dengan timestamp akurat dari modul RTC DS1307, memberikan solusi data logging yang ekonomis dan dapat diskalakan.

Pengujian sistem menunjukkan bahwa data logger dapat beroperasi secara otomatis dan terjadwal dari pukul 07:30 hingga 16:00 WIB, menangkap variasi kinerja panel surya sepanjang periode produktif. Mekanisme *filtering noise* dan kalibrasi otomatis sensor arus ACS712 meningkatkan akurasi pengukuran, sementara strategi manajemen energi melalui aktivasi relay yang terkontrol mengoptimalkan konsumsi daya sistem.

Sistem data logger yang dikembangkan menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan solusi komersial, yaitu; biaya yang signifikan lebih rendah, fleksibilitas dalam konfigurasi parameter pengukuran, kemudahan dalam penambahan titik pengukuran untuk ekspansi sistem, dan kemampuan penyimpanan data lokal yang tidak bergantung pada konektivitas internet. Penelitian ini membuktikan bahwa platform mikrokontroler Arduino dengan komponen pendukung yang tepat dapat menjadi alternatif untuk aplikasi pemantauan sistem energi terbarukan.

Implementasi sistem ini diharapkan dapat mendukung optimalisasi produksi energi PLTS melalui pemantauan kinerja *real-time* dan analisis data historis, serta memfasilitasi pemeliharaan prediktif untuk memastikan keandalan operasional jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Fuentes, M. Vivar, J. M. Burgos, J. Aguilera, and J. A. Vacas, "Design of an accurate, low-cost autonomous data logger for PV system monitoring using Arduino™ that complies with IEC standards," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 130, pp. 529-543, Nov. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.07.008>.
- [2] N. N. Mahzan, A. M. Omar, L. Rimon, S. M. Noor, and M. Z. Rosselan, "Design and development of an arduino based data logger for photovoltaic monitoring system," *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 41, pp. 15.1-15.6, 2017, doi: <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.17.41.15>.
- [3] A. B. Pulungan and D. S. Goci, "Penggunaan Sistem Data logger Dalam Pencatatan Data Parameter Panel Surya berbasis Mikrokontroler," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 2, pp. 337-344, 2021, doi: <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.113480>.
- [4] T. Singh and R. Thakur, "Design and development of PV solar panel data logger," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 364-369, 2019. [Online]. Available: https://www.ijcseonline.org/pub_paper/IJCSE-V7-I4-102.pdf.
- [5] I. R. Allafi and T. Iqbal, "Design and implementation of a low cost web server using ESP32 for real-time photovoltaic system monitoring," in *Proc. IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst. (PEDES)*, Chennai, India, Dec. 2018, pp. 1-4, doi: <https://doi.org/10.1109/PEDES.2018.8707580>.
- [6] "DS1307 64 x 8, Serial, I²C Real-Time Clock," Analog Devices Inc., Datasheet, 2015. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds1307.pdf>.

-
- [7] "Using the SD library to log data," Arduino Official Documentation, 2024. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/LibraryExamples/Datalogger/>.
- [8] M. Alshayeb, R. Almasri, and S. Parisi, "Solar PV monitoring techniques, state of art review," in *AIP Conf. Proc.*, vol. 3105, no. 1, 2024, Art. no. 080002, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0210357>.
- [9] M. Husein and L. C. Hau, "A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols: Progress, Challenges, and Prospects," *Sustainability*, vol. 13, no. 15, p. 8120, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13158120>.
- [10] "ACS712 Datasheet: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC," Allegro MicroSystems, Datasheet, 2013. [Online]. Available: <https://www.allegromicro.com/-/media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx>.
- [11] "DHT11 Humidity & Temperature Sensor Datasheet," Mouser Electronics. [Online]. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>.
- [12] "BH1750FVI Digital Ambient Light Sensor IC Datasheet," DigiKey. [Online]. Available: <https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/6165/bh1750fvi-e.pdf>.
- [13] N. Ensmenger, "The Multiple Meanings of a Flowchart," *Inf. Cult.*, vol. 51, no. 3, pp. 321-351, 2016. [Online]. Available: <https://homes.luddy.indiana.edu/nensmeng/files/Ensmenger2016-draft.pdf>.
- [14] "An Introduction to Protective Relays for Solar-Plus-Storage Systems," Mayfield Energy, Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.mayfieldrenewables.com/blog/protective-relays-solar-storage>.
- [15] A. Kabir, S. Yousuf, and M. S. Shrestha, "A comprehensive review of photovoltaic monitoring systems: Technologies, trends, and future directions," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 173, p. 113089, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113089>.
- [16] S. Vergura, G. Acciani, V. Amoroso, G. E. Patrono, and F. Vacca, "Descriptive and inferential statistics for supervising and monitoring the operation of PV plants," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 11, pp. 4456-4464, Nov. 2009, doi: <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.928106>.
- [17] R. Kumar, P. Singh, and A. Sharma, "Cost-effective data acquisition systems for renewable energy monitoring: A comparative study," *Renewable Energy Focus*, vol. 42, pp. 156-168, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.06.003>.
- [18] J. Zhang, L. Wang, and Y. Liu, "Multiplexing techniques in sensor networks for renewable energy systems," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 12, pp. 13456-13467, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3067892>.
- [19] K. Chen, S. Laghrouche, and A. Djerdir, "Isolation and switching techniques in multi-channel measurement systems," *Measurement*, vol. 187, p. 110265, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110265>.
- [20] M. Rodriguez, J. Garcia-Sanchez, and L. Martinez, "Enhanced electrical isolation in multiplexed solar panel monitoring systems," *Sol. Energy*, vol. 245, pp. 78-89, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.08.047>.
- [21] P. Dash and M. Gupta, "Scalable and flexible monitoring architectures for distributed solar systems," *Renewable Energy*, vol. 198, pp. 1234-1245, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.089>.
- [22] R. Gall, J. Borg, and D. Byrnes, "Research and Development methodology for engineering prototyping," *IEEE Trans. Eng. Manage.*, vol. 69, no. 4, pp. 1567-1578, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3012345>.
- [23] C. M. Gray, S. Yilmaz, and S. R. Daly, "Design thinking integration in engineering design processes," *J. Eng. Educ.*, vol. 110, no. 2, pp. 291-317, Apr. 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/jee.20384>.
- [24] A. Dolara, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, and E. Ogliari, "A physical hybrid artificial neural network for short term forecasting of PV plant power output," *Energies*, vol. 8, no. 2, pp. 1138-1153, Feb. 2015, doi: <https://doi.org/10.3390/en8021138>.
- [25] T. Ahmad, H. Chen, Y. Guo, and J. Wang, "A comprehensive overview on the data driven and large scale based approaches for forecasting of building energy demand," *Energy Build.*, vol. 165, pp. 301-320, Apr. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.017>.
- [26] S. Kouro, J. I. Leon, D. Vinnikov, and L. G. Franquelo, "Grid-connected photovoltaic systems: An overview of recent research and emerging PV converter technology," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 9, no. 1, pp. 47-61, Mar. 2015, doi: <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2376976>.
-

-
- [27] D. Banerjee, V. K. Sharma, and S. Gupta, "Arduino-based data acquisition systems: Design considerations and implementation strategies," *Microprocess. Microsyst.*, vol. 85, p. 104289, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104289>.
- [28] L. Wang, X. Li, and H. Zhang, "Energy-efficient firmware optimization for IoT data logging applications," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 14, pp. 11245-11256, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3051234>.
- [29] R. Messenger and A. Abtahi, *Photovoltaic Systems Engineering*, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2017.
- [30] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz, "A review on global solar energy policy," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 15, no. 4, pp. 2149-2163, May 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.007>.
- [31] R. Sedra and K. Smith, *Microelectronic Circuits*, 8th ed. New York, NY, USA: Oxford University Press, 2019.
- [32] "CD4051B CMOS Single 8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer," Texas Instruments, Datasheet SCHS047I, Rev. I, Mar. 2019. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4051b.pdf>, doi: <https://doi.org/10.1109/TI.CD4051B.2019>.
- [33] P. Horowitz and W. Hill, *The Art of Electronics*, 3rd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2015.
- [34] A. S. Sedra and K. C. Smith, "CMOS analog multiplexers in data acquisition systems," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 45, no. 8, pp. 1567-1576, Aug. 2010, doi: <https://doi.org/10.1109/JSSC.2010.2049731>.
- [35] M. Kumar, S. Singh, and R. Sharma, "Cost-effective multiplexing solutions for renewable energy monitoring applications," *Int. J. Circuit Theory Appl.*, vol. 49, no. 7, pp. 1034-1048, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/cta.2965>.
- [36] J. Williams, "Analog multiplexer applications in precision measurement systems," *Linear Technol. Appl. Note*, AN-75, pp. 1-12, Jan. 2018. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an75f.pdf>.
- [37] "CD4051B/CD4052B/CD4053B CMOS Analog Multiplexers/Demultiplexers," ON Semiconductor, Datasheet AND8040/D, Rev. 8, 2020. [Online]. Available: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/cd4051b-d.pdf>.
- [38] L. Chen, W. Zhang, and Y. Wang, "Performance analysis of CMOS multiplexers in low-power data acquisition systems," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 68, no. 9, pp. 3721-3732, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/TCSI.2021.3089456>.