

PERANCANGAN SIMULASI PENDINGIN OTOMATIS PANEL SURYA MENGGUNAKAN SENSOR DHT22 BERBASIS ARDUINO UNO

Muhammad Mufti Alfarotzi, Indah Nurakhman, Fina Maharani, Zainar Ridho

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

Jl. Raya Telang, Kamal, Bangkalan, 69162, Telp/Fax : (031)3011146

E-mail: 230431100094@student.trunojoyo.ac.id, 230431100090@student.trunojoyo.ac.id,
230431100041@student.trunojoyo.ac.id, 230431100084@student.trunojoyo.ac.id

Abstract - Panel surya menggunakan energi terbarukan untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Namun, ketika sinar matahari memanaskan permukaan panel, hal ini dapat menurunkan kemampuan panel dalam mengubah energi. Jadi, sistem pendingin otomatis diperlukan untuk menjaga panel pada suhu yang tepat. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan simulasi sistem pendingin otomatis untuk panel surya. Sistem ini menggunakan sensor suhu DHT22 dan mikrokontroler Arduino Uno, sehingga pendinginannya menyesuaikan dengan suhu di sekitarnya. Sistem akan menyalakan pompa pendingin berdasarkan suhu berikut: di bawah 33°C (pompa mati), antara 33-36°C (pompa 1 menyala), dan di atas 37°C (kedua pompa menyala). Desain ini diuji menggunakan perangkat lunak Proteus untuk memastikan sirkuit bekerja, dan program utama dibuat dengan Arduino IDE. Simulasi menunjukkan bahwa sistem secara akurat merespons perubahan suhu secara real-time. Sistem ini juga secara otomatis mengubah status pompa pendingin berdasarkan suhu yang ditetapkan. Sistem ini dapat menjadi cara yang berguna dan hemat energi untuk menjaga panel surya tetap bekerja dengan baik, terutama di daerah yang panas.

Kata kunci: Panel Surya, Pendinginan Otomatis, DHT22, Arduino Uno, Pompa Air

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan meningkat dengan cepat karena dunia membutuhkan lebih banyak energi dan kekhawatiran akan dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil. Energi matahari adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling populer. Panel surya menggunakan efek fotovoltaik untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik.

Teknologi ini efisien, bersih, dan baik untuk lingkungan. Ini adalah pilihan yang baik untuk daerah tropis seperti Indonesia, yang memiliki banyak sinar matahari sepanjang tahun. Namun, seberapa baik panel surya bekerja tidak hanya bergantung pada jumlah cahaya yang diterima, tetapi juga pada suhu permukaannya. Ketika panel semakin panas, panel menjadi kurang efisien dalam mengubah cahaya menjadi listrik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa untuk setiap kenaikan suhu 1°C, efisiensi bisa turun 0,3% hingga 0,5%. Jadi, kita membutuhkan sistem untuk mengontrol suhu dan menjaganya pada tingkat yang terbaik, terutama pada siang hari ketika sinar matahari paling kuat.

Salah satu cara untuk mendinginkan ruangan adalah dengan menggunakan sistem pompa air. Sistem ini dapat diatur untuk bekerja sendiri dengan menambahkan sensor suhu DHT22. Sensor ini dapat melacak suhu di sekitar panel saat terjadi perubahan. Informasi suhu kemudian ditangani oleh komputer kecil, dalam hal ini Arduino Uno. Arduino Uno kemudian mengontrol bagaimana pompa pendingin bekerja berdasarkan suhu yang dirasakannya. Hal ini tidak hanya membuat panel bekerja lebih baik, tetapi juga menggunakan energi dengan cara terbaik.



Gambar 1 Panel Surya di Lingkup Industri

Dalam project ini, kami merancang dan menguji sistem yang secara otomatis mendinginkan panel surya menggunakan sensor DHT22 dan Arduino Uno. Sistem ini dirancang untuk mengontrol suhu secara bertahap, sehingga pompa akan menyala sedikit demi sedikit tergantung pada suhu. Kami menggunakan perangkat lunak Proteus untuk mensimulasikan sistem dan memastikan sistem bekerja secara otomatis dan benar sebelum membangunnya. Kami berharap penelitian ini akan menghasilkan cara yang sederhana, efektif, dan terjangkau untuk menjaga panel surya tetap bekerja dengan baik saat cuaca panas.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Panel Surya dan Pengaruh Suhu

Panel surya adalah perangkat yang menggunakan efek fotovoltaik untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Panel surya mengandung sel surya, yang terbuat dari bahan seperti silikon. Sel-sel ini menangkap partikel cahaya dari matahari, yang disebut foton. Ketika cahaya menyinari panel, energi dari foton akan membebaskan elektron, menciptakan arus listrik. Namun, seberapa baik panel surya bekerja sangat dipengaruhi oleh suhu permukaannya. Ketika suhu naik, panel menghasilkan lebih sedikit tegangan, sementara arusnya tetap hampir sama. Hal ini menyebabkan output daya total menurun. Studi menunjukkan bahwa untuk setiap kenaikan 1°C di atas suhu operasi standar (25°C), efisiensi panel dapat menurun sekitar 0,4% hingga 0,5%. Jadi, penting untuk menjaga panel pada suhu yang stabil untuk mendapatkan listrik yang maksimal. Untuk mengatasi penurunan efisiensi yang disebabkan oleh suhu, sistem pendingin aktif digunakan. Sistem pendingin ini dirancang untuk menurunkan suhu permukaan panel, menjaganya tetap pada tingkat terbaik. Dengan pendinginan yang baik, panel dapat terus bekerja dengan baik bahkan ketika ada banyak sinar matahari.



Gambar 2 Panel Surya

2.2 Sensor DHT22 sebagai Pendeteksi Suhu

DHT22 adalah sensor yang mengukur suhu dan kelembapan menggunakan sinyal digital. Sensor ini dibuat untuk mengukur suhu di sekelilingnya secara tepat dan andal. DHT22 dapat mengukur suhu dari -40°C hingga 80°C dan akurat hingga $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Hal ini membuatnya bagus untuk melacak suhu secara real-time. Sensor ini juga dapat mengukur kelembapan dengan akurasi $\pm 2\%$ RH. DHT22 mengirimkan data melalui satu pin digital, yang dapat dibaca oleh perangkat seperti Arduino. Data terdiri dari 40 bit: 16 untuk kelembapan, 16 untuk suhu, dan 8 sebagai checksum. Dibutuhkan pembacaan setiap 2 detik. DHT22 lebih baik daripada DHT11 yang lebih tua karena dapat bekerja dalam kondisi yang lebih luas dan lebih akurat. Sensor ini juga menangani kondisi lingkungan dengan lebih baik. Sensor ini biasa digunakan pada sistem yang menggunakan mikrokontroler karena tidak menggunakan banyak daya dan mudah dihubungkan. Dalam penelitian ini, DHT22 adalah bagian utama yang mengukur perubahan suhu pada panel surya. Kemudian mengirimkan data ke Arduino untuk dianalisis.



Gambar 3 Sensor DHT22

2.3 Arduino Uno sebagai Unit Pengontrol

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler dengan chip ATmega328P. Papan ini populer untuk pembelajaran, penelitian, dan hobi elektronika karena mudah diprogram. Arduino memiliki 14 pin digital untuk input atau output dan 6 pin input analog. Ia juga memiliki koneksi USB untuk pemrograman. Arduino dapat dengan mudah membaca sinyal dari sensor seperti DHT22. Ia juga dapat mengontrol perangkat seperti relay atau motor berdasarkan apa yang dibacanya. Arduino bekerja dengan menggunakan logika pemrograman yang ditulis dalam bahasa C/C++. Kode ini dikompilasi menggunakan Arduino IDE. Setelah program

diunggah ke papan, program akan berjalan berulang kali berdasarkan algoritma yang dibuat. Arduino Uno juga bekerja dengan pustaka yang berbeda, seperti "DHT.h" untuk membaca data sensor suhu. Ia juga menggunakan perintah seperti "Relay.h" atau `digitalWrite()` untuk mengontrol output ke aktuator. Dalam sistem pendingin otomatis ini, Arduino Uno adalah unit kontrol utama sistem. Arduino mengambil data suhu dari DHT22. Kemudian, berdasarkan kisaran suhu yang ditetapkan, ia memutuskan apakah akan menyalakan satu atau dua pompa air. Keunggulan Arduino meliputi kontrol waktu nyata, fleksibilitas, daya tahan, dan harga yang relatif murah untuk sistem pemantauan sederhana.



Gambar 4 Arduino Uno

2.4 Pompa Air sebagai Aktuator Pendingin

Pompa air merupakan aktuator. Pompa ini mengalirkan air ke permukaan panel surya, yang akan menurunkan suhu panel. Dalam penelitian ini, digunakan dua pompa air DC 12V. Arduino mengendalikannya secara otomatis menggunakan sinyal digital. Pompa air bekerja dengan menggunakan impeller atau piston untuk memindahkan air dari reservoir ke panel. Penggunaan pompa air untuk mendinginkan merupakan metode aktif. Hal ini karena pompa air menggunakan kerja mekanis untuk memindahkan cairan pendingin. Kelebihannya adalah pompa air dapat mendinginkan lebih cepat dan lebih baik daripada metode pasif seperti ventilasi alami. Dalam sistem ini, pompa bekerja secara bertahap. Jika suhu di bawah 33°C, kedua pompa akan mati. Jika suhu antara 33°C dan 37°C, hanya satu pompa yang menyala. Jika suhu di atas 37°C, kedua pompa akan menyala secara bersamaan. Rencana ini membantu menghemat energi. Sistem hanya menggunakan banyak pendinginan saat suhu sangat tinggi. Untuk mengendalikan pompa dari Arduino,

yang menggunakan logika 5V, modul relay bertindak sebagai sakelar antara logika mikrokontroler dan daya pompa 12V DC. Di sini, pompa air tidak hanya berfungsi mendinginkan. Pompa air juga melindungi kinerja panel surya dalam jangka panjang. Pompa air menghentikan panas berlebih yang dapat merusak permukaan panel.



Gambar 5 Pompa Air Mini

III. BAHAN DAN METODE

Bab ini menjelaskan perangkat keras apa yang digunakan untuk merancang sistem. Bab ini juga menjelaskan langkah-langkah metode yang digunakan untuk melakukan penelitian ini.

3.1 Alat dan Bahan

Untuk membangun proyek ini, diperlukan beberapa komponen dan peralatan pendukung agar sistem pendingin otomatis dapat bekerja. Berikut ini adalah daftar alat dan bahan yang digunakan untuk desain dan simulasi:

Tabel 1. Alat

No.	Nama Alat	Jumlah
1	Solder	1
2	Tang Potong	1
3	Handphone	1
4	Stop Kontak	1
5	Bor Mini	1
6	Avometer	1
7	Obeng	1
8	Gunting	1
9	Amplas	1

Tabel 2. Bahan

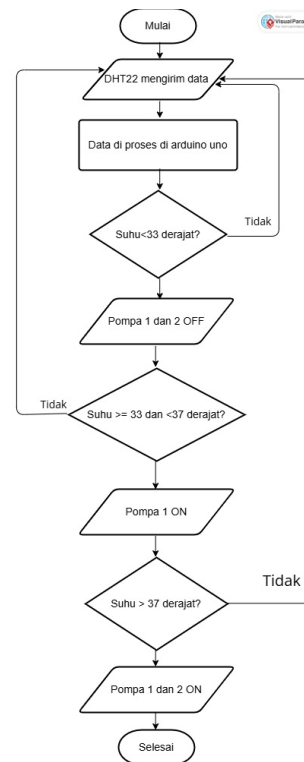
No.	Nama Bahan	Jumlah
-----	------------	--------

1	Relay 5v	1
2	Lampu LED	2
3	LCD 20x4	1
4	Kotak	1
5	Transistor BC547	2
6	Dioda 1N4007	2
7	Resistor 10k	2
8	Kabel Jumper	secukupnya
9	Pompa mini	2
10	Arduino uno	1
11	Papan PCB	1
12	Sensor DHT22	1

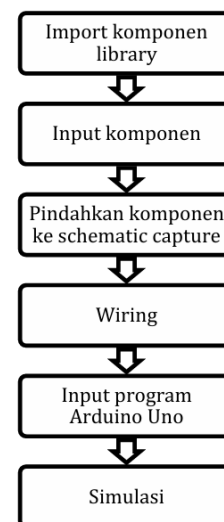
3.2 Metode

Penelitian dalam studi ini menggunakan eksperimen dan simulasi. Ini termasuk merancang sistem, menyiapkan logika kontrol, dan menguji seberapa baik sistem virtual bekerja menggunakan perangkat lunak Proteus. Langkah pertama adalah merancang sistem kontrol suhu otomatis. Sistem ini menggunakan sensor suhu DHT22, mikrokontroler Arduino Uno, dua modul relay sebagai sakelar elektronik, dan dua pompa air untuk mendinginkan benda. Setelah mengetahui semua bagian utama, kami menggambar diagram rangkaian dalam program simulasi Proteus. Dalam diagram ini, setiap bagian dihubungkan berdasarkan pekerjaan dan tata letak pinnya. Dalam rangkaian simulasi, lampu LED menggantikan pompa air untuk menunjukkan apakah pompa sedang hidup atau mati. Program kontrol ditulis dalam bahasa C++ menggunakan Arduino IDE. Kemudian, dikompilasi dan diubah menjadi file .hex, yang dimasukkan ke dalam Arduino virtual di Proteus. Program ini memiliki sistem kontrol suhu dengan berbagai level. Pompa tetap mati jika suhunya kurang dari 33°C. Pompa 1 menyala jika suhunya antara 33–36°C. Kedua pompa akan menyala jika suhu naik di atas 37°C. Setelah rangkaian dan program selesai, kami menjalankan simulasi pengujian. Kami mengubah suhu secara manual untuk melihat bagaimana sistem bereaksi. Kami mencatat

setiap hasil untuk mempelajari logika keluaran dan seberapa akurat sistem tersebut. Kami mengujinya sebanyak 45 kali untuk memastikan sistem konsisten dan kontrol pompa bekerja dengan benar. Kami menganalisis semua data untuk mengetahui seberapa akurat sensor, seberapa cepat Arduino merespons, dan apakah logika kontrol bekerja sebagaimana mestinya berdasarkan rencana kami. Dengan cara ini, kami dapat memeriksa sistem secara menyeluruh sebelum membangunnya di dunia nyata. Ini menghemat waktu dan uang, serta mengurangi kemungkinan kesalahan.



Gambar 6 Flowchart Perancangan



Gambar 7 Diagram Blok Perancangan

3.3 Langkah-Langkah

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi kebutuhan sistem pendingin otomatis pada panel surya dan menentukan parameter yang akan dikendalikan, yaitu suhu permukaan panel. Setelah itu, dilakukan pemilihan komponen utama yang meliputi sensor DHT22 sebagai pengukur suhu, Arduino Uno sebagai pusat kendali logika, dua buah pompa air DC sebagai aktuator, serta dua modul relay untuk mengendalikan pompa berdasarkan logika keluaran dari mikrokontroler. Kemudian, dilakukan proses perancangan rangkaian secara keseluruhan menggunakan software Proteus, yang mencakup koneksi sensor, Arduino, relay, dan indikator sebagai pengganti pompa dalam simulasi. Dalam tahap ini juga dilakukan pemetaan pin, pemberian sumber daya, serta pengaturan komunikasi antara komponen. Setelah skema rangkaian selesai, dibuat program dalam Arduino IDE dengan logika pengendalian suhu tiga level, yaitu pompa mati saat suhu di bawah 33°C , satu pompa menyala saat suhu berada antara 33°C hingga 36°C , dan kedua pompa menyala saat suhu di atas 37°C . Program yang telah selesai kemudian dikompilasi hingga menghasilkan file berekstensi .hex, yang selanjutnya diimpor ke dalam simulasi Proteus untuk pengujian logika dan fungsionalitas sistem secara virtual. Dalam simulasi, LED digunakan sebagai pengganti pompa untuk memudahkan visualisasi status output. Setelah simulasi berjalan, dilakukan pengamatan terhadap respon sistem terhadap berbagai nilai suhu yang dimasukkan secara manual ke sensor DHT22. Setiap perubahan suhu diamati untuk memastikan bahwa logika output bekerja sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Apabila sistem berhasil merespon dengan akurat, maka proses dinyatakan valid, dan simulasi dianggap berhasil. Jika ditemukan kesalahan pada logika atau hasil yang tidak sesuai, maka dilakukan perbaikan baik pada kode program maupun skema rangkaian. Setelah sistem berhasil bekerja sesuai rancangan, kemudian untuk langkah selanjutnya adalah

mendokumentasikan hasil simulasi, analisis performa sistem, serta menyusun kesimpulan dari penelitian sebagai bahan evaluasi dan pengembangan lebih lanjut untuk implementasi secara nyata.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Alat



Gambar 8 Tampilan Alat

Alat dalam penelitian ini dirancang dengan menggabungkan beberapa bagian utama menjadi satu sistem otomatis yang mengendalikan pendinginan panel surya. Pertama, sensor suhu dan kelembapan DHT22 dipilih sebagai input utama untuk memantau suhu di sekitar panel surya secara real-time. Sensor ini dipilih karena sangat akurat dan bekerja dengan baik untuk memantau suhu luar ruangan. Sensor DHT22 dihubungkan ke pin input digital pada mikrokontroler Arduino Uno, yang memproses data suhu dan memutuskan apa yang harus dilakukan berdasarkan pemrograman di dalamnya. Arduino Uno dipilih karena dapat memproses data dengan andal, bekerja dengan banyak pustaka sensor, dan mudah diprogram menggunakan Arduino IDE. Nilai suhu yang diterima Arduino dibandingkan dengan level tertentu, 33°C dan 37°C , yang menentukan kapan harus menyalakan aktuator. Jika suhu di bawah 33°C , kedua pompa dimatikan; jika antara 33°C dan 36°C , hanya satu pompa yang dihidupkan; dan jika di atas 37°C , kedua pompa dihidupkan pada saat yang sama. Pompa dihidupkan oleh dua modul relai 1-saluran, yang bertindak sebagai sakelar elektronik untuk menghubungkan pompa DC 12V ke daya. Relai ini dikontrol langsung oleh sinyal dari Arduino, dan bekerja berdasarkan apakah pin digital TINGGI atau RENDAH. Pompa menyempromatkan air ke permukaan panel untuk mendinginkannya, menyerap panas dan menurunkan suhu secara signifikan. Seluruh rangkaian disatukan dan

diuji secara virtual menggunakan perangkat lunak Proteus, di mana setiap bagian ditampilkan secara digital dan program dari Arduino IDE diubah menjadi file .hex untuk digunakan dalam simulasi. Selama langkah ini, pompa diganti dengan LED untuk melihat dengan mudah saat aktif. Desain ini dimaksudkan untuk membuat sistem yang dapat bekerja sendiri tanpa memerlukan seseorang untuk mengendalikannya secara manual, membuat pendinginan panel surya lebih efisien dalam hal penggunaan energi dan seberapa baik kerjanya.

4.2 Source dan Code Program

```
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
#define RELAY_PIN 8
#define RELAY_PIN_1 9

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Ganti
0x27 jika alamat I2C berbeda

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Kelompok hebat");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("DKE");
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  pinMode(RELAY_PIN_1, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
  digitalWrite(RELAY_PIN_1, LOW);
}

void loop() {
  float suhu = dht.readTemperature();

  if (isnan(suhu)) {
    Serial.println("Gagal membaca dari sensor
DHT22!");
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" Gagal membaca");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" nilai suhu");
    return;
  }

```

```
Serial.print("Suhu: ");
Serial.print(suhu);
Serial.println(" *C");
```

```
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Suhu : ");
lcd.print(suhu);
```

```
if (suhu < 33.0) {
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
  digitalWrite(RELAY_PIN_1, LOW);
  Serial.println("Relay OFF - Suhu belum
mencapai ambang.");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("rendah");
} else if (suhu >= 33.0 && suhu < 37.0) {
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
  digitalWrite(RELAY_PIN_1, LOW);
  Serial.println("Relay OFF - Suhu belum
mencapai ambang.");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("sedang");
} else {
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
  digitalWrite(RELAY_PIN_1, HIGH);
  Serial.println("Relay ON - Suhu tinggi.");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("tinggi");
}

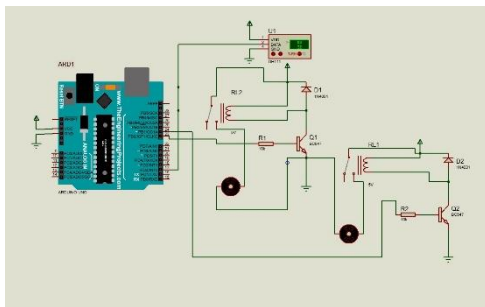
delay(300);
}
```

4.3 Analisa Kebutuhan

Saat membuat sistem pendingin otomatis untuk panel surya menggunakan Arduino Uno, penting untuk mempertimbangkan dengan saksama komponen dan sistem apa yang dibutuhkan agar perangkat berfungsi sebagaimana mestinya. Hal penting pertama adalah mengukur suhu sekitar secara akurat, jadi sensor DHT22 dipilih karena dapat membaca suhu secara digital dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan dapat bekerja pada suhu dari -40°C hingga 80°C . Sensor ini juga bekerja dengan baik dengan mikrokontroler dan dapat mengukur suhu secara berkala, yang diperlukan untuk sistem pemantauan suhu otomatis. Selain itu, diperlukan unit kontrol untuk membaca data sensor dan membuat keputusan berdasarkan batas suhu yang ditetapkan. Arduino Uno merupakan pilihan yang baik di sini karena memiliki cukup banyak koneksi digital, banyak

dukungan untuk pustaka sensor, dan mudah diprogram menggunakan Arduino IDE. Untuk menyalakan pompa DC, yang berfungsi sebagai aktuator, diperlukan modul relai untuk memisahkan tegangan mikrokontroler (5V) dari tegangan pompa (12V). Relai memungkinkan Arduino mengendalikan pompa secara otomatis berdasarkan suhu. Sistem ini menggunakan dua pompa DC 12V yang menyemprotkan air untuk mendinginkan panel surya. Penggunaan dua pompa membantu mengendalikan suhu pada tingkat yang berbeda, yang menghemat energi dan mencegah sistem bekerja terlalu keras saat suhu tidak terlalu tinggi. Selain perangkat keras, sistem juga memerlukan perangkat lunak yang andal untuk menangani data suhu, memahami logika kontrol, dan mengirimkan sinyal kontrol yang tepat. Program tersebut harus dapat membaca data sensor secara teratur, membandingkannya dengan batas suhu, dan menghidupkan atau mematikan relai berdasarkan hasil tersebut. Seluruh sistem harus dapat berjalan sendiri tanpa memerlukan seseorang untuk mengoperasikannya. Dengan mempertimbangkan semua ini, sistem pendingin otomatis ini tidak hanya mudah digunakan dan terjangkau, tetapi juga efektif menjaga panel surya bekerja dengan baik secara real time.

4.4 Rangkaian Kontrol



Gambar 9 Simulasi di Proteus

Rangkaian kontrol dalam sistem pendingin otomatis ini dibuat untuk menghubungkan komponen utama, seperti sensor suhu DHT22, mikrokontroler Arduino Uno, dua modul relai, dan dua pompa air DC 12V. Rangkaian ini bekerja dengan menggunakan logika kontrol suhu yang sepenuhnya dikontrol oleh Arduino. Sensor DHT22 dihubungkan ke pin digital pada Arduino untuk mengirim informasi suhu secara teratur. Arduino kemudian membaca suhu dan membandingkannya dengan dua titik yang ditetapkan: 33°C dan 36°C. Bergantung pada

suhu dan logika kontrol, Arduino mengirimkan sinyal digital ke dua pin keluaran yang berbeda. Setiap pin dihubungkan ke modul relay 1 saluran. Relai ini bertindak seperti sakelar elektronik, menyalakan dan mematikan catu daya 12V ke pompa air. Jika suhu di bawah 33°C, Arduino akan mematikan kedua relay, jadi tidak ada pompa yang akan bekerja. Ketika suhu berada di antara 33°C dan 36°C, Arduino menyalakan relai pertama untuk menyalakan pompa 1 saja. Jika suhu melebihi 37°C, kedua relai menyala, sehingga pompa 1 dan 2 menyala pada saat yang bersamaan. Penggunaan relai ini penting karena memungkinkan Arduino, yang menggunakan 5V, mengendalikan perangkat 12V dengan aman tanpa risiko kerusakan pada mikrokontroler. Rangkaian ini juga memiliki resistor pull-down untuk memastikan sinyal masukan relai tetap stabil, dan dioda flyback pada jalur pompa untuk menghentikan lonjakan arus balik ketika pompa dimatikan. Untuk simulasi dalam perangkat lunak Proteus, pompa air diganti dengan lampu LED berwarna sehingga status ON atau OFF dapat dilihat dengan mudah. Semua koneksi dirancang dengan hati-hati, dengan mempertimbangkan jalur arus, ground bersama, dan pemisahan sumber tegangan logika dan daya beban, sehingga sistem bekerja tanpa masalah. Dengan desain ini, sistem kontrol dapat dengan cepat bereaksi terhadap perubahan suhu dan secara otomatis menyalakan pompa berdasarkan kebutuhan pendinginan panel surya.

4.5 Tabel Hasil Pengujian

Sistem ini diuji 45 kali dengan mengubah suhu secara perlahan baik dalam simulasi maupun pengaturan dunia nyata. Sensor DHT22 digunakan untuk membaca suhu, dan termometer digital digunakan sebagai standar pembandingan. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa akurat pembacaan suhu sensor DHT22 dan untuk memeriksa apakah sistem kontrol Arduino Uno mengelola pompa pendingin dengan benar. Dalam setiap pengujian, suhu dari sensor dibandingkan dengan suhu dari termometer untuk menemukan perbedaan (nilai kesalahan). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembacaan suhu sensor DHT22 hanya sedikit berbeda dari termometer, dengan kesalahan rata-rata $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, yang dapat diterima untuk akurasi sensor. Selain itu, sistem merespons perubahan suhu secara konsisten. Ketika suhu di bawah 33°C, kedua pompa tetap mati; antara 33°C dan 36°C,

hanya pompa 1 yang menyala; dan di atas 37°C, kedua pompa menyala pada saat yang sama. Dalam simulasi, LED indikator menunjukkan saat pompa diaktifkan berdasarkan sinyal dari pin digital Arduino. Akurasi dan keandalan sistem dikonfirmasi karena tidak ada kesalahan logika dalam pengujian apa pun, dan sistem merespons dengan lumayan cepat, membutuhkan waktu sekitar 30 detik sejak sensor membaca perubahan suhu hingga output dihasilkan. Oleh karena itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin otomatis bekerja dengan baik, baik dari segi akurasi sensor maupun stabilitas sistem kontrol, dan dapat digunakan untuk sistem panel surya berukuran kecil hingga sedang dengan efisiensi yang baik.

Pada saat suhu <33°C maka pompa mati

No	Termometer (°C)	DHT22 (°C)	Selisih (Offset)
1	32.0	31.3	+0.7
2	32.0	31.4	+0.6
3	32.0	31.4	+0.6
4	32.0	31.3	+0.7
5	32.0	31.2	+0.8
6	32.0	31.3	+0.7
7	32.0	31.4	+0.6
8	32.0	31.4	+0.6
9	32.0	31.3	+0.7
10	32.0	31.3	+0.7
11	32.0	31.2	+0.8
12	32.0	31.4	+0.6
13	32.0	31.3	+0.7
14	32.0	31.4	+0.6
15	32.0	31.3	+0.7

Pada saat suhu 33°C maka 1 pompa menyala

No	Termometer (°C)	DHT22 (°C)	Selisih (Offset)
1	33.0	32.5	+0.5
2	33.0	32.4	+0.6
3	33.0	32.5	+0.5
4	33.0	32.4	+0.6
5	33.0	32.4	+0.6
6	33.0	32.6	+0.4
7	33.0	32.4	+0.6
8	33.0	32.3	+0.7
9	33.0	32.5	+0.5
10	33.0	32.5	+0.5
11	33.0	32.4	+0.6

12	33.0	32.5	+0.5
13	33.0	32.3	+0.7
14	33.0	32.4	+0.6
15	33.0	32.5	+0.5

Pada saat suhu >37°C maka 2 pompa menyala

No	Termometer (°C)	DHT22 (°C)	Selisih (Offset)
1	37.0	36.1	+0.9
2	37.0	36.2	+0.8
3	37.0	36.0	+1.0
4	37.0	36.2	+0.8
5	37.0	36.1	+0.9
6	37.0	36.1	+0.9
7	37.0	36.0	+1.0
8	37.0	36.2	+0.8
9	37.0	36.1	+0.9
10	37.0	36.1	+0.9
11	37.0	36.1	+0.9
12	37.0	36.2	+0.8
13	37.0	36.0	+1.0
14	37.0	36.2	+0.8
15	37.0	36.1	+0.9

V. KESIMPULAN

Setelah merancang, melakukan simulasi, dan pengujian, kami menemukan bahwa sistem pendingin otomatis untuk panel surya menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler Arduino Uno bekerja dengan baik. Sistem dapat membaca suhu secara langsung dan merespons perubahan suhu dengan cepat. Hasil pembacaannya akurat hingga $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Logika kontrol suhu bertingkat bekerja seperti yang diharapkan. Kedua pompa mati di bawah 33°C. Hanya satu pompa yang bekerja antara 33°C dan 36°C. Kedua pompa menyala di atas 37°C. Menggunakan relay sebagai sakelar elektronik secara efektif menghubungkan logika mikrokontroler dengan beban DC pompa air 12V. Sistem diuji sebanyak 45 kali dan menunjukkan kinerja yang stabil tanpa kesalahan logika. Sistem bekerja secara otomatis tanpa memerlukan siapa pun untuk mengendalikannya. Sistem ini dapat dengan mudah digunakan pada panel surya asli, terutama di daerah panas. Ini adalah cara yang sederhana dan hemat energi untuk menjaga panel surya tetap bekerja dengan baik. Di masa mendatang, sistem ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur Internet of Things

(IoT) untuk pemantauan jarak jauh. Sistem ini juga dapat mencatat data kelembapan dan suhu secara berkala untuk menciptakan sistem yang cerdas dan adaptif guna memelihara sumber energi terbarukan. Sistem yang dibuat juga bagus karena mudah diatur dan tidak memerlukan biaya banyak. Ini karena semua komponen yang digunakan mudah ditemukan dan tidak memerlukan alat khusus untuk merakitnya. Selain itu, penggunaan Arduino Uno untuk mengontrol sistem memudahkan penambahan fitur baru di kemudian hari. Misalnya, Anda dapat menambahkan sensor untuk kelembapan, pengatur waktu untuk pompa, atau menghubungkannya ke sumber daya cadangan. Rangkaian kontrol juga dapat dengan mudah dibuat menjadi PCB untuk pengaturan permanen. Selain itu, program dapat dengan mudah diubah agar sesuai dengan suhu dan lingkungan yang berbeda. Karena fungsinya, sistem ini dapat digunakan dalam banyak proyek energi surya skala kecil hingga menengah. Ini termasuk menggunakannya di rumah, untuk mengajar, dan di pertanian yang menggunakan energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyadi, A., & Hidayat, M. T. (2021). *Efisiensi Panel Surya terhadap Perubahan Suhu Lingkungan*. *Jurnal Energi Terbarukan*, 8(1), 15–22.
- [2] Susanto, R. H., & Firdaus, A. (2022). *Analisis Sistem Pendinginan Aktif pada Panel Surya Menggunakan Pompa Air dan Sensor Suhu*. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 9(2), 30–37.
- [3] Nugroho, D., & Yuliani, R. (2020). *Implementasi Sensor DHT22 pada Sistem Monitoring Suhu Otomatis Berbasis Arduino Uno*. *Jurnal Sistem Terintegrasi*, 5(1), 45–51.
- [4] Santoso, I., & Maulana, R. (2021). *Perancangan Sistem Kontrol Suhu Menggunakan Arduino Uno dan Modul Relay*. *Jurnal Otomasi dan Elektronika*, 4(3), 60–67.
- [5] Priyanto, T. A., & Amalia, S. (2022). *Studi Efektivitas Pompa Pendingin DC dalam Sistem Panel Surya Skala Rumah Tangga*. *Jurnal Energi Alternatif*, 7(1), 23–29.
- [6] Wibowo, H., & Lestari, D. (2021). *Pengendalian Otomatis Aktuator Berbasis Sensor Suhu dan Mikrokontroler*. *Jurnal Teknologi Elektronika*, 6(2), 35–41.
- [7] Putra, F. N., & Azzahra, L. (2020). *Simulasi Sistem Pendingin Otomatis dengan Arduino dan Proteus*. *Jurnal Simulasi Elektronika*, 3(1), 12–19.
- [8] Saputra, E., & Rachmawati, N. (2023). *Perbandingan Akurasi Sensor DHT11 dan DHT22 pada Sistem Kendali Suhu*. *Jurnal Instrumentasi dan Kontrol*, 5(2), 50–56.
- [9] Kurniawan, Y., & Zulkarnain, M. (2019). *Pemanfaatan Arduino dalam Otomatisasi Sistem Energi Terbarukan*. *Jurnal Rekayasa Sistem*, 10(3), 75–82.
- [10] Rahman, A. S., & Dewi, L. M. (2022). *Desain Sistem Pompa Berbasis Suhu untuk Meningkatkan Efisiensi Panel Surya*. *Jurnal Sains Terapan dan Inovasi*, 8(1), 33–40.