



Sistem Monitoring HVAC Berbasis IoT untuk Kontrol Suhu *Heat Exchanger* Pemancar Digital Menggunakan Mikrokontroller

Moch Surya Ramadhoni ^a, Edi Prihartono ^{b*}

Teknik Informatika, Universitas Dr. Soetomo, Surabaya, Indonesia

email: ^aramasurya877@gmail.com, ^bedi.prihartono@unitomo.ac.id*

*Corresponding Author

INFORMASI ARTIKEL

History:

Received 29 October 2024

Reviewed 14 November 2024

Revised 25 November 2024

Accepted 30 November 2024

Kata kunci:

Sistem Monitoring,

HVAC,

IoT,

Heat Exchanger,

Mikrokontroller

ABSTRAK

Dengan adanya migrasi dari siaran analog ke digital, infrastruktur TV digital di Indonesia terus berkembang untuk meningkatkan kualitas tayangan, namun menghadirkan tantangan dimana perangkat pemancar harus beroperasi 24 jam. Akibatnya, suhu perangkat dapat meningkat hingga mencapai kondisi overheating, dengan suhu tertinggi tercatat 52°C. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring suhu HVAC pada ruangan dan kontrol suhu heat exchanger pemancar digital berbasis IoT pada TVRI Jawa Timur, guna meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kerusakan akibat panas berlebih. Dengan menggunakan metode Research and Development (R&D), sistem ini dirancang menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 yang digunakan untuk pendinginan serta antarmuka berbasis web untuk pemantauan suhu real-time perangkat. Pengujian sistem ini berhasil 100% dengan menunjukkan sebelum pendinginan, suhu pemancar mencapai 52°C dan suhu heat exchanger 48°C. Setelah uji coba sistem, ditemukan penurunan suhu dengan selisih mencapai 2°C hingga 19°C. Suhu terendah yang tercatat adalah 44°C untuk pemancar dan 33°C untuk heat exchanger. Suhu HVAC pada ruangan stabil pada kisaran 17-19°C. Sistem ini mendukung pengoperasian pemancar yang lebih stabil memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi risiko kerusakan perangkat akibat panas berlebih serta memudahkan teknisi dalam pemeliharaan.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi penyiaran telah membawa perubahan televisi dari siaran analog ke digital, dan memberikan kualitas tayangan yang jauh lebih baik. Infrastruktur TV digital mulai dibangun sejak 2012 dan migrasi penuh dilakukan pada 2017 [1]. Pemerintah, melalui Kementerian Koinfo, mendukung digitalisasi ini dengan melibatkan KPI, LPP TVRI, dan industri perangkat penyiaran [1].

Operasional siaran 24 jam merupakan tantangan besar dalam menjaga peralatan pemancar agar tetap optimal. Sistem pendingin pada saat ini kurang optimal dan pemantauan suhu pada perangkat pemancar masih menggunakan alat konvensional sehingga menyulitkan teknisi untuk memantau suhu secara real-time yang dapat menghambat pemeliharaan. Sistem pemantauan yang masih konvensional tersebut mengakibatkan overheating pada perangkat yang mencapai suhu 52°C memaksa teknisi melakukan penyemprotan air secara manual untuk mempercepat pendinginan peralatan pemancar.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji sistem HVAC berbasis IoT. Penelitian [2] mengembangkan penyemprotan otomatis pada heat exchanger, penelitian [3] memanfaatkan sensor DHT11 dan MPX5500DP untuk monitoring suhu, dan penelitian [4] menggunakan modul ESP32 serta sensor DHT22 untuk kontrol otomatis. Namun, studi tersebut belum menargetkan kontrol suhu spesifik untuk perangkat pemancar digital.

Penelitian ini menawarkan solusi baru dengan mengembangkan sistem berbasis IoT yang dirancang khusus untuk heat exchanger pemancar TVRI. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, solusi

ini memanfaatkan modul ESP32 untuk mengotomatisasi penyemprotan air dan antarmuka berbasis web untuk pemantauan suhu secara real-time, membantu kerja dari sistem HVAC dan memperpanjang umur pemancar.

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol suhu heat exchanger pemancar digital berbasis IoT. Sistem ini memungkinkan pengendalian suhu secara digital dan real-time, meningkatkan efisiensi operasional, mencegah overheat, dan memudahkan teknisi dalam pemeliharaan.

2. Metode

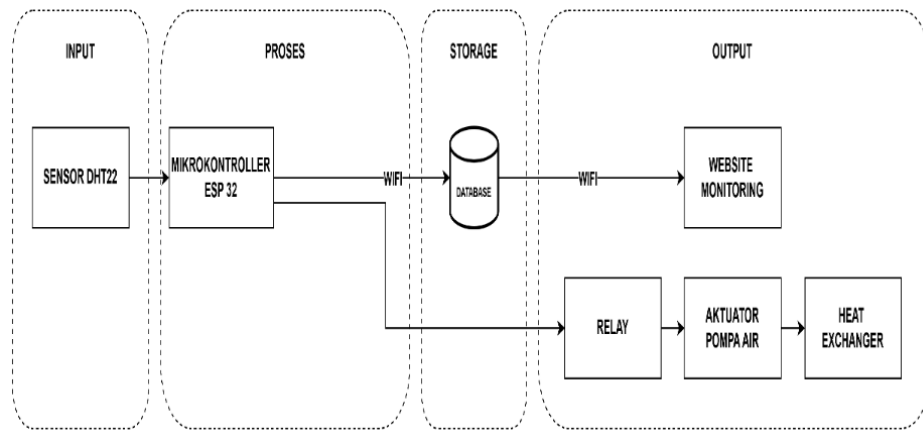
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Research and Development (R&D). Metode ini merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan dari produk, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Tahap Define (Pendefinisian)
 - a) Mengidentifikasi masalah dan kebutuhan terkait kontrol suhu heat exchanger pemancar digital TVRI
 - b) Menganalisis kebutuhan fungsional sistem monitoring HVAC berbasis IoT
2. Tahap Design (Perancangan)
 - a) Menentukan jenis mikrokontroler yang akan digunakan beserta spesifikasinya
 - b) Merancang skema perangkat keras (mikrokontroler, sensor suhu, aktuator, modul IoT, dll)
 - c) Merancang perangkat lunak (pemrograman mikrokontroler, website, database)
3. Tahap Develop (Pengembangan)
 - a) Membangun perangkat keras sistem monitoring sesuai rancangan
 - b) Mengimplementasikan perangkat lunak pada mikrokontroler
 - c) Melakukan pengujian fungsi dan kinerja sistem secara keseluruhan
 - d) Melakukan perbaikan sistem jika diperlukan
4. Tahap Implementasi (Implementation)
 - a) Melakukan implementasi sistem monitoring HVAC berbasis IoT di lokasi pemancar digital TVRI
 - b) Evaluasi hasil uji coba
 - c) Revisi produk atau sistem berdasarkan hasil evaluasi
5. Tahap Disseminate (Penyebaran)
 - a) Mengintegrasikan sistem dengan infrastruktur HVAC dan pemancar digital yang ada
 - b) Melakukan pelatihan kepada operator/teknisi terkait penggunaan sistem
 - c) Melakukan evaluasi kinerja sistem dalam kondisi operasional sebenarnya
 - d) Melakukan penyempurnaan akhir sistem jika diperlukan
 - e) Mendokumentasikan dan menyebarluaskan hasil penelitian

Dalam setiap tahapan, dapat dilakukan evaluasi dan revisi jika diperlukan untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan dan target kinerja yang diharapkan. Pendekatan ini sangat sistematis dan fleksibel, sehingga cocok digunakan untuk pengembangan sistem monitoring HVAC berbasis IoT dengan menggunakan mikrokontroler.

A. Blok Diagram

Diagram blok menggambarkan sebuah sistem kendali dan pemantauan terintegrasi yang terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung. Diagram blok pada gambar 1 menjelaskan bagaimana alur kerja sistem yang dimulai dari proses input, pengolahan data, dan proses output data.



Gambar 1 Blok Diagram Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

Pada bagian input, sistem menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur parameter suhu dan kelembapan udara. Sensor ini bekerja dengan membaca data lingkungan dan menghasilkan output digital yang sesuai dengan parameter yang diukur. Data digital tersebut kemudian dikirimkan ke bagian pemrosesan melalui pin komunikasi data yang terhubung ke mikrokontroler ESP32.

Pada bagian pemrosesan, mikrokontroler ESP32 bertanggung jawab untuk mengolah data yang diterima dari sensor DHT22. ESP32 memanfaatkan konektivitas WiFi bawaan untuk mengirimkan data yang telah diolah ke sistem penyimpanan database. Selain itu, ESP32 juga mengontrol relay melalui pin GPIO-nya, yang berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator pompa air berdasarkan batasan parameter suhu yang ditentukan.

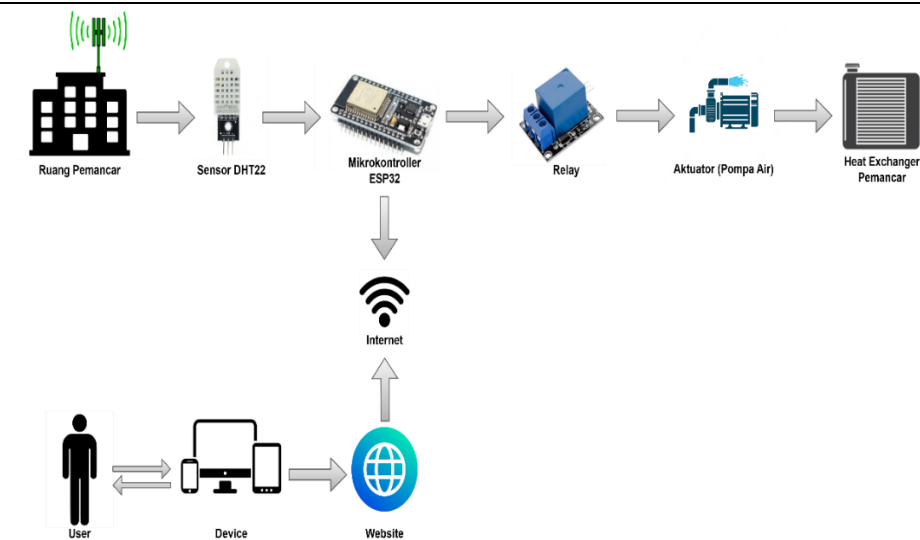
Sistem penyimpanan database, yang terhubung melalui jaringan WiFi, berfungsi sebagai tempat penyimpanan data. Database ini dirancang untuk menyimpan parameter suhu dan kelembapan secara terstruktur, sehingga data tersebut dapat diakses kapan saja untuk keperluan monitoring dan analisis.

Pada bagian output, terdapat dua jalur utama. Jalur pertama adalah website monitoring, yang menggunakan data dari database untuk menampilkan parameter sistem secara real-time. Jalur kedua adalah sistem pengendalian, di mana relay yang dikontrol oleh ESP32 mengatur aktivasi aktuator pompa air. Pompa ini berfungsi sebagai pendingin dengan melakukan menyemprotkan air ke heat exchanger ketika suhu terdeteksi melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Heat exchanger kemudian bekerja untuk menstabilkan suhu perangkat pemancar. Hubungan antara pompa air dan heat exchanger dirancang sedemikian rupa untuk memastikan distribusi air yang efisien dan efektif dalam menurunkan suhu.

Keseluruhan sistem ini membentuk loop kontrol otomatis, di mana parameter suhu dan kelembapan dipantau secara terus-menerus, dan tindakan pengendalian diambil secara langsung berdasarkan data real-time. Hal ini menjadikan sistem mampu menjaga performa perangkat pemancar dengan efisiensi yang optimal.

B. Arsitektur Sistem

Sistem terdiri dari perangkat keras, mikrokontroler sebagai pemroses, sensor untuk pengumpulan data, dan pompa air sebagai aktuator. Komponen-komponen ini bekerja sama untuk memantau dan mengontrol lingkungan secara aktif seperti yang terdeskripsi pada Gambar 2 dibawah ini



Gambar 2 Arsitektur Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

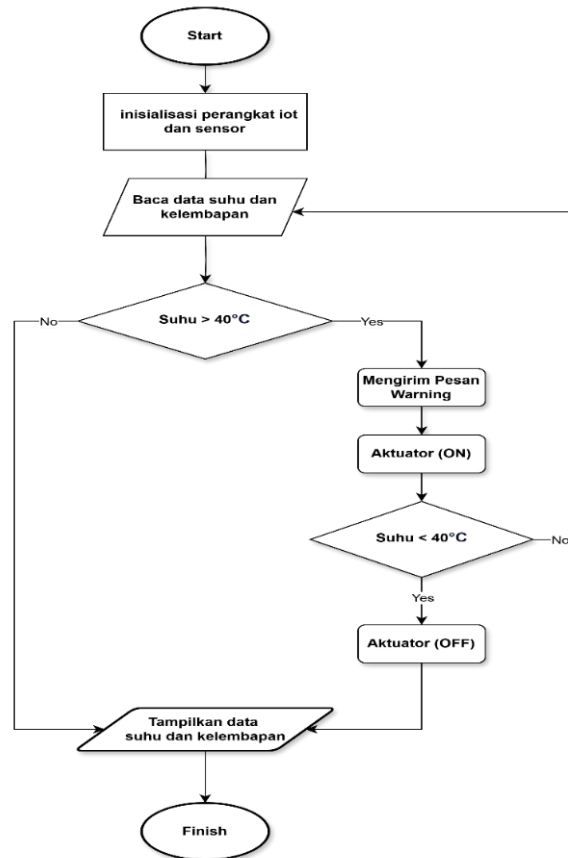
Sistem ini dimulai dari ruang pemancar dimana kondisi lingkungannya dipantau menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur parameter suhu dan kelembaban. Data yang dikumpulkan oleh sensor kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai unit pemrosesan utama.

Mikrokontroler ESP32 tidak hanya memproses data dari sensor, tetapi juga terhubung ke internet melalui konektivitas WiFi yang memungkinkan komunikasi dua arah antara sistem dan pengguna. Data yang telah diproses diteruskan untuk mengendalikan aktuator berupa pompa air yang mengalirkan air ke heat exchanger pemancar. Heat exchanger ini berfungsi sebagai sistem pendingin yang melakukan pertukaran panas untuk menjaga suhu optimal pada peralatan pemancar.

Pada sisi pengguna, sistem dilengkapi dengan antarmuka berbasis website yang dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti komputer, tablet, atau smartphone. Melalui website ini, pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi ruangan secara real-time dan memberikan perintah kendali dari jarak jauh. Ketika pengguna memberikan perintah melalui website, instruksi tersebut akan dikirimkan melalui internet ke ESP32 yang kemudian mengendalikan aktuator sesuai kebutuhan. Arsitektur sistem ini menerapkan konsep Internet of Things (IoT) yang memungkinkan integrasi antara pemantauan, pengendalian, dan akses jarak jauh untuk mengelola sistem pendingin ruang pemancar secara efisien.

C. Flowchat Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

Flowchart dapat digunakan dalam konteks Internet of Things (IoT) untuk menggambarkan alur kerja dari sistem IoT, mulai dari pengambilan data oleh sensor hingga pengolahan data dan tindakan yang diambil berdasarkan informasi yang diberikan. Pada gambar 3 menjelaskan proses kerja sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT.



Gambar 3 Flowchart Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

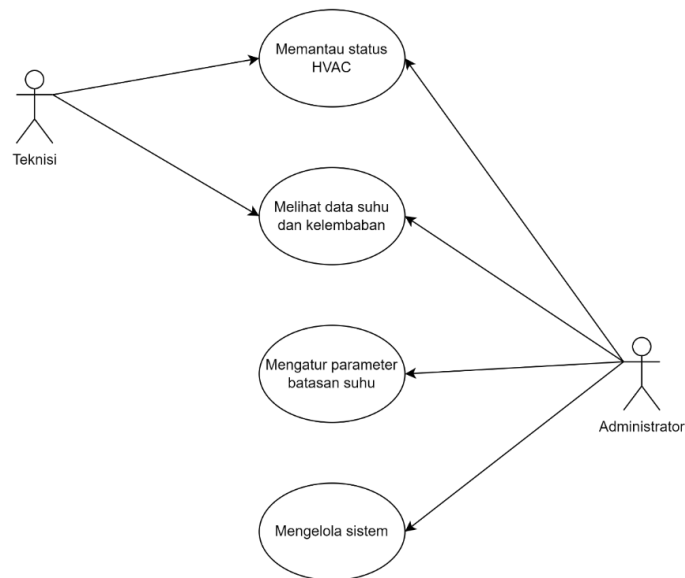
Proses dimulai dengan inisialisasi perangkat IoT dan sensor. Setelah itu, sistem secara kontinu membaca data suhu dan kelembapan dari lingkungan. Data ini kemudian dievaluasi untuk menentukan apakah melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan. Jika kondisi normal, sistem langsung menampilkan data tersebut. Namun, jika suhu atau kelembapan melewati ambang batas, sistem mengirim pesan peringatan dan mengaktifkan aktuator (seperti pompa air) untuk menormalkan kondisi.

Setelah aktuator diaktifkan, sistem terus memantau suhu dan kelembapan. Jika kondisi belum kembali normal, proses pembacaan data dan pengaktifan aktuator akan terus berulang. Begitu suhu kembali ke tingkat yang dapat diterima, sistem akan menampilkan data terbaru. Proses ini berjalan dalam siklus terus-menerus, memastikan pemantauan yang konstan terhadap kondisi lingkungan.

Flowchart ini menggambarkan bagaimana sistem monitoring suhu heat exchanger bekerja secara umum. Ketika suhu melebihi batas maksimum, aktuator akan diaktifkan untuk menurunkan suhu, sementara data suhu juga dikirimkan ke platform IoT untuk pemantauan dan pencatatan.

D. Use Case Diagram

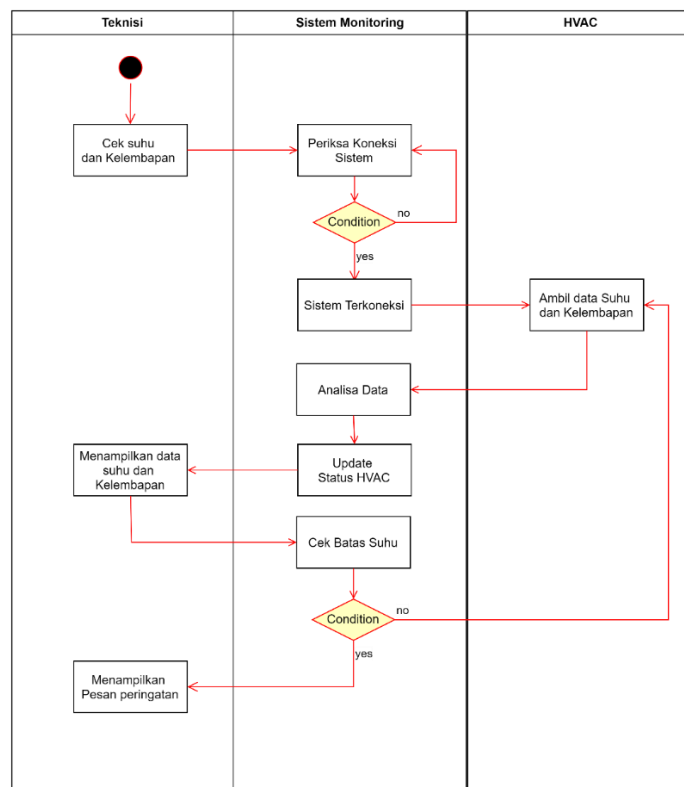
Use Case Diagram untuk proses sistem monitoring menggambarkan interaksi antara pengguna dengan sistem dalam bentuk skenario penggunaan (use cases). Pada gambar 4 yang menjelaskan sistem monitoring HVAC di TVRI Jawa Timur melibatkan dua aktor utama yaitu Teknisi dan Administrator.



Gambar 4 Use Case Diagram Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

E. Activity Diagram

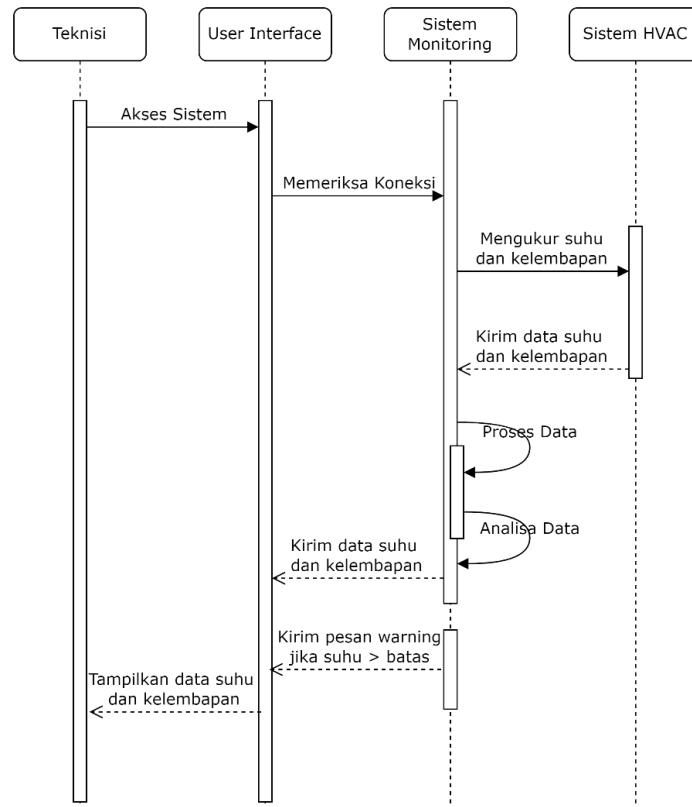
Activity diagram memainkan peran penting dalam mengilustrasikan langkah-langkah dan keputusan yang terjadi selama operasi sistem. Diagram ini menggambarkan proses pemantauan sistem HVAC yang melibatkan interaksi antara Teknisi, Sistem Monitoring, dan perangkat HVAC. Pada gambar 5 dibawah ini, proses dimulai dengan Teknisi melakukan pengecekan awal terhadap suhu dan kelembapan.



Gambar 5 Activity Diagram Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

F. Sequence Diagram

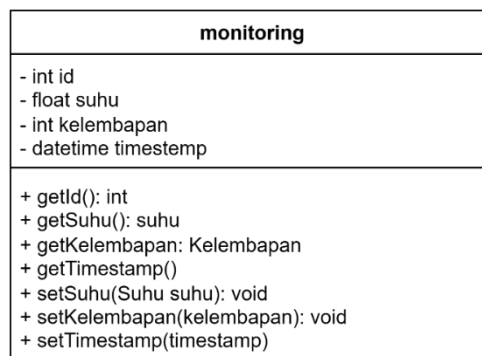
Diagram ini menggambarkan interaksi antara teknisi, antarmuka pengguna, sistem monitoring, dan sistem HVAC dalam memantau dan mengatur kondisi lingkungan. Diagram pada gambar 6 dibawah ini menggambarkan interaksi antara beberapa komponen dalam sistem.



Gambar 6 Sequence Diagram Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

G. Class Diagram

Class diagram menggambarkan struktur statis sistem, menunjukkan kelas-kelas yang ada beserta atribut serta hubungan antar kelas dalam sistem monitoring yang dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini



Gambar 7 Class Diagram Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

H. Implementasi Sistem Kontrol Suhu

Pada perangkat keras memiliki fungsi sebagai input, proses, dan output data yang berupa suhu dan kelembapan. Spesifikasi perangkat keras yang digunakan dalam perancangan :

1. Board Mikrokontroler : ESP32 DevKit
2. Mikrokontroler : ESP32-WROOM 32U

-
- | | |
|--------------|--|
| 3. Sensor | : DHT 22 |
| 4. Relay | : 5V DC - Low Level Trigger (1 Channel) |
| 5. Catu Daya | : <i>Power supply 5V DC, Power supply 220V AC.</i> |

Komponen yang disebutkan diatas kemudian dirakit sesuai dengan skema rangkaian yang telah dibuat sehingga dapat terintegrasi sesuai dengan kebutuhan alat dan tujuan pembuatan monitoring HVAC yang berbasis website ini. Adapun isi atau bagian pin kaki yang digunakan di ESP32 dan relay yang diterapkan komponen alat lainnya dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Koneksi pin perangkat keras

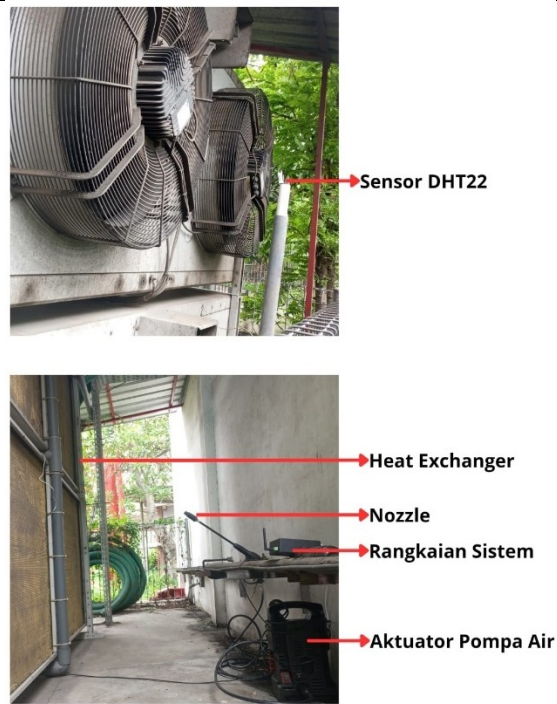
No.	Pin Kaki ESP 32	Terhubung ke
1.	3.3V	Pin (+) DHT22
2.	Pin 5V	VCC Relay
3.	GND 1	Pin (-) DHT22
4.	GND 2	GND Relay
5.	GPIO 4	Out DHT22
6.	GPIO 5	Input Relay
No.	Pin Kaki DHT22	Terhubung Ke
1.	+ (Plus)	Pin 3.3V ESP32
2.	Out	GPIO 4
3.	- (Minus)	Pin GND 1 ESP32
No.	Pin Kaki Relay	Terhubung Ke
1.	VCC	Pin 5V ESP32
2.	GND	GND 2 ESP32
3.	IN	GPIO 5 ESP32
4.	COM	Phase 220V
5.	NO	Phase Aktuator

Sensor DHT22 pada rangkaian ini berfungsi sebagai input. Hasil pembacaan suhu dan kelembapan ini kemudian diterima dan diproses, dimana pada data suhu diberikan batasan atau set point yaitu 40°C. Jika suhu telah mencapai batas yang ditentukan, maka modul ESP32 akan mengirimkan pesan ON pada relay. Rangkain ini dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8 Rangkaian Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

Rangkaian ini kemudian diimplementasikan pada peralatan heat exchanger. Pemasangan rangkaian ini dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini



Gambar 9 Implementasi rangkaian pada heat exchanger

I. Implementasi Website Monitoring

Implementasi perangkat lunak ini bertujuan untuk memberikan tampilan *User interface*. Perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan :

1. Sistem Operasi : Windows 10, Web Browser.
2. IDE Kompailer : Arduino IDE.
3. Media Editor : Visual Studio Code, Xampp.
4. Penyimpanan Data : MySQL

Dalam sistem ini data suhu dan kelembapan yang telah diproses pada perangkat keras akan ditampilkan dalam bentuk website.

Dalam pembuatan program sistem monitoring hvac berbasis iot untuk kontrol suhu heat exchanger pemancar digital menggunakan mikrokontroler terdapat dua kelompok yaitu : program untuk merancang sistem ESP32 dan program website monitoring.

A. Program ESP32

Pada perancangan ini program terdapat dua function yang memiliki fungsi dan penjelasan sebagai berikut :

1. `void setup()` fungsi ini digunakan untuk menginisialisasi sistem dan hanya dijalankan satu kali saat perangkat mulai atau di-reset.
2. `void loop()` fungsi ini dijalankan berulang-ulang selama perangkat hidup yang bertujuan untuk cek koneksi wifi, membaca data suhu dan kelembapan, menampilkan pada serial monitor, mengontrol relay berdasarkan suhu, dan mengirim data ke server

B. Program Website Monitoring

Pada perancangan *user interface* monitoring ini terdapat beberapa kode program yang memiliki fungsi dan penjelasan sebagai berikut:

1. `Index.php` berfungsi sebagai tampilan utama dalam website.
2. `Ukursuhu.php` berfungsi untuk mengambil data suhu dari perangkat keras.

```
$data = mysqli_fetch_array($sql);
$suhu = $data['suhu'];
```

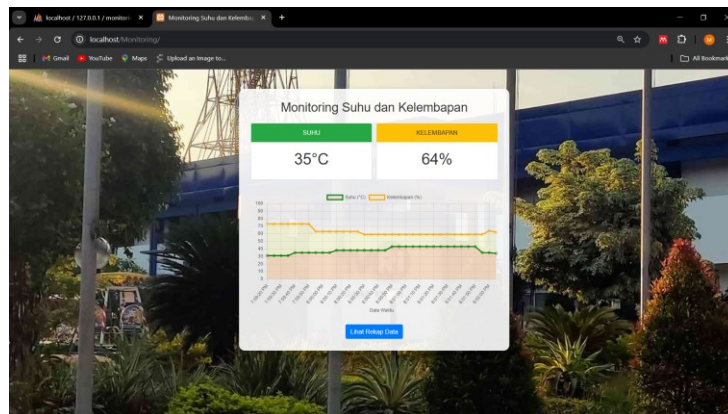
3. Ukurkelembapan.php berfungsi untuk mengambil data kelembapan dari perangkat keras.

```
$data = mysqli_fetch_array($sql);
$kelembapan = $data['kelembapan'];
```
4. Kirimdata.php berfungsi mengirim dan menyimpan data pada server atau database.

```
$query = "INSERT INTO sensor (suhu, kelembapan) VALUES ('$suhu', '$kelembapan')";
$simpan = mysqli_query($konek, $query);
```
5. Rekap.php berfungsi menampilkan data rekap suhu dan kelembapan serta waktu dari database.

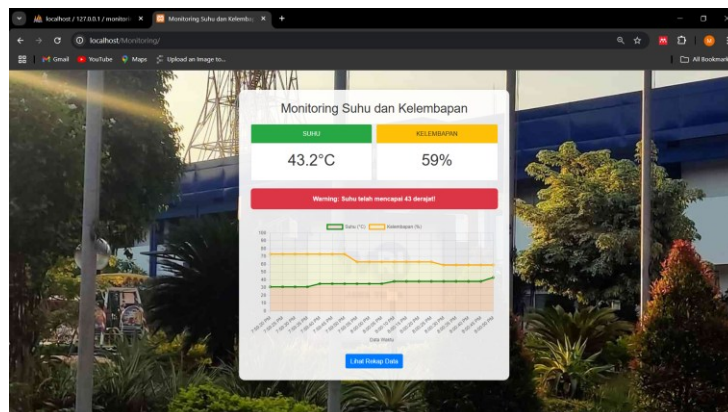
```
$sql="SELECT suhu, kelembapan, DATE_FORMAT(timestamp, '%d-%m-%Y %H:%i:%s') AS waktu FROM sensor WHERE MINUTE(timestamp) %10=0 ORDER BY timestamp DESC";
```

Implementasi perangkat lunak ini bertujuan untuk memberikan tampilan *User interface*. Dalam sistem ini data suhu dan kelembapan yang telah diproses pada perangkat keras akan ditampilkan dalam bentuk website. Beberapa hal yang ditampilkan dalam website ini, antara lain data realtime suhu dan kelembapan udara disertai grafik yang dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10 Tampilan User Interface

Selain menampilkan data suhu dan kelembapan udara secara realtime, website ini juga akan menampilkan pesan warning yang akan muncul jika suhu melebihi batas yang telah ditentukan seperti pada gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11 Tampilan warning pada User Interface

3. Hasil and Pembahasan

Pada tahap ini akan dilakukan uji coba terhadap rangkaian perangkat keras yang telah dirancang, hal ini mulai dari pengujian pada input sensor suhu dan kelembapan, proses pada mikrokontroler ESP32, dan output berupa aktuator yang dikendalikan melalui relay yang telah terkoneksi dengan mikrokontroler berdasarkan batasan suhu yang telah ditentukan.

Pengujian ini dilakukan untuk menguji dan memperbaiki modul perangkat keras maupun perangkat lunak tersebut.

A. Black Box Testing

Uji black box testing ini fokus pada pengujian fungsi-fungsi yang dapat diamati oleh pengguna tanpa melihat implementasi kode program. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat bisa dikatakan layak atau tidak. Pada tabel 2 dilakukan pengujian pada sensor DHT22 untuk mengetahui komponen tersebut dapat membaca suhu dan kelembapan udara dengan baik atau tidak.

Tabel 2 Pengujian Black Box Sensor DHT22

No.	Komponen yang diuji	Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
1.	Sensor DHT22	Sensor ditempelkan pada benda yang dingin	Suhu menurun	Berhasil
2.		Sensor dipanaskan dengan korek api	Suhu naik	Berhasil

Pada tabel 3 dilakukan pengujian pada mikrokontroler ESP32 untuk mengetahui komponen tersebut dapat dengan baik atau tidak dengan melakukan pengujian koneksi dan pengiriman data ke database.

Tabel 3 Pengujian Black Box Mikrokontroler ESP32

No.	Komponen yang diuji	Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
1.	Mikrokontroler ESP32	Terkoneksi dengan jaringan wifi	Terdapat pesan "connected" pada serial monitor	Berhasil
2.		Tidak terkoneksi jaringan wifi	terdapat pesan "connecting..." pada serial monitor	Berhasil
3.		Mengirim data ke database	Data terkirim dan tersimpan pada database	Berhasil

Pada tabel 4 dilakukan pengujian pada komponen relay dan aktuator untuk mengetahui komponen tersebut dapat memberikan respon saat suhu yang dibaca oleh sensor telah melewati batas yang ditentukan.

Tabel 4 Pengujian Black Box Relay Aktuator

No.	Komponen yang diuji	Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
1.	Relay (Aktuator)	Ketika suhu diatas 40°C	Buzzer bunyi dan aktuator ON	Berhasil
2.		Ketika suhu dibawah 40°C	Buzzer tidak bunyi dan aktuator OFF	Berhasil

Pada tabel 5 dilakukan pengujian pada website untuk melihat apakah website bisa menampilkan data suhu dan kelembapan secara real time dan data dapat tersimpan dalam database.

Tabel 5 Pengujian Black Box Interface Website

No.	Komponen yang diuji	Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
1.	Interface Website	Data suhu dan kelembapan ditampilkan dalam bentuk grafik.	Tampilan sesuai desain antarmuka.	Berhasil
2.		Peringatan (warning) muncul jika suhu melebihi batas.	Peringatan bekerja dengan benar.	Berhasil

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa seluruh komponen berfungsi dengan baik dan website berjalan dengan baik. Dari pengujian perangkat tersebut kemudian diimplementasikan dan didapatkan hasil pada percobaan hari pertama pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6 Hasil Uji Coba Hari ke-1

No.	Waktu	Suhu Awal			Aktuator	Durasi	Suhu Akhir			Selisih
		TX	H-E	R			TX	H-E	R	
1.	08.00	52°C	48°C	19°C	ON	12 mnt	45°C	34°C	17°C	14°C
2.	09.00	46°C	37°C	17°C	OFF	-	46°C	37°C	17°C	0°C
3.	10.00	49°C	40°C	19°C	ON	5 mnt	45°C	38°C	17°C	2°C
4.	11.00	50°C	40°C	19°C	ON	8 mnt	46°C	36°C	19°C	4°C
5.	12.00	47°C	38°C	19°C	OFF	-	47°C	38°C	19°C	0°C
6.	13.00	45°C	38°C	17°C	OFF	-	45°C	38°C	17°C	0°C
7.	14.00	45°C	36°C	17°C	OFF	-	45°C	36°C	17°C	0°C
8.	15.00	44°C	35°C	17°C	OFF	-	44°C	35°C	17°C	0°C
9.	16.00	44°C	33°C	17°C	OFF	-	44°C	33°C	17°C	0°C

Pada tabel 7 merupakan hasil percobaan yang dilakukan kembali pada hari kedua dan menunjukkan bawah suhu lebih stabil dibandingkan dengan percobaan pada hari pertama dan menunjukkan durasi penyemprotan yang lebih cepat.

Tabel 7 Hasil Uji Coba Hari ke-2

No	Waktu	Suhu Awal			Aktuator	Durasi	Suhu Akhir			Selisih
		TX	H-E	R			TX	H-E	R	
1.	08.00	46°C	41°C	19°C	ON	3 mnt	46°C	39°C	19 °C	2°C
2.	09.00	46°C	37°C	17°C	OFF	-	46°C	37°C	17°C	0°C
3.	10.00	46°C	39°C	19°C	OFF	-	46°C	39°C	19°C	0°C

4.	11.00	47°C	42°C	19°C	ON	5 mnt	45°C	38°C	17°C	4°C
5.	12.00	49°C	45°C	19°C	ON	8 mnt	47°C	38°C	19°C	7°C
6.	13.00	48°C	44°C	17°C	OFF	8 mnt	45°C	36°C	17°C	8°C
7.	14.00	46°C	38°C	17°C	OFF	-	46°C	38°C	17°C	0°C
8.	15.00	46°C	35°C	17°C	OFF	-	46°C	35°C	17°C	0°C
9.	16.00	45°C	35°C	17°C	OFF	-	45°C	35°C	17°C	0°C

Pada tabel 8 merupakan hasil percobaan pada hari ketiga yang menunjukkan mulai berkurangnya kasus overhear pada perangkat pemancar dan suhu ruangan lebih stabil.

Tabel 8 Hasil Uji Coba Hari ke-3

No.	Waktu	Suhu Awal			Aktuator	Durasi	Suhu Akhir			Selisih
		TX	H-E	R			TX	H-E	R	
1.	08.00	45°C	34°C	17°C	OFF	-	45°C	34°C	17°C	0°C
2.	09.00	45°C	37°C	19°C	OFF	-	45°C	37°C	19°C	0°C
3.	10.00	47°C	36°C	19°C	OFF	-	47°C	36°C	19°C	0°C
4.	11.00	51°C	42°C	19°C	ON	5'	46°C	38°C	19°C	3°C
5.	12.00	47°C	38°C	19°C	OFF	-	47°C	38°C	19°C	0°C
6.	13.00	49°C	44°C	19°C	OFF	8 mnt	45°C	37°C	19°C	7°C
7.	14.00	46°C	36°C	17°C	OFF	-	46°C	36°C	17°C	0°C
8.	15.00	44°C	33°C	17°C	OFF	-	44°C	33°C	17°C	0°C
9.	16.00	44°C	33°C	17°C	OFF	-	44°C	33°C	17°C	0°C

Keterangan :

1. TX : Suhu Pemancar
2. H-E : Suhu Heat Exchanger
3. R : Suhu Ruangan (HVAC)
4. Selisih : Hasil dari (suhu awal Heat Exchanger - suhu akhir Heat Exchanger)

Dari pengujian blackbox tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem ini secara teknis dapat berjalan dengan baik dan mampu menurunkan suhu secara signifikan serta mempercepat proses pendinginan.

B. White Box Testing

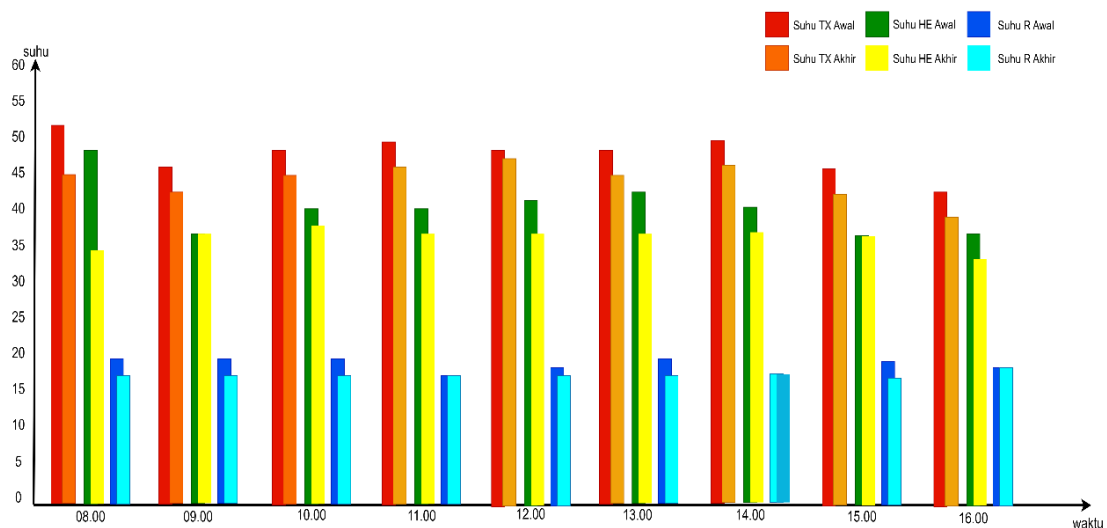
Tahap Uji White Box ini melibatkan pengujian kode program untuk memverifikasi jalannya logika sistem. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah program yang telah dibuat berjalan dengan baik atau tidak. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini.

Tabel 9 Hasil Pengujian Whitebox Testing

No.	Komponen yang diuji	Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
-----	---------------------	-----------	-----------------------	--------

1.	Fungsivoid setup()	Jalannya inisialisasi WiFi dan perangkat keras.	Perangkat berhasil terkoneksi ke jaringan WiFi.	Berhasil
			Sensor dan relay siap digunakan.	
2.	Fungsi void loop()	Membaca data dari sensor.	Semua fungsi berjalan tanpa error.	Berhasil
		Menampilkan data di serial monitor.		
		Mengirim data ke server.	Data dikirim ke server secara konsisten.	Berhasil
		Mengontrol relay berdasarkan kondisi suhu.		
3.	Script PHP (index.php, ukursuhu.php, ukurkelembapan.php, kirimdata.php)	Proses pengambilan data dari database.	Query berhasil dijalankan tanpa error.	Berhasil
		Penyimpanan data suhu dan kelembapan.	Data disimpan dan ditampilkan dengan benar.	Berhasil

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, telah didapatkan data yang tersimpan dalam database dan ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 12 dibawah ini



Gambar 12 Grafik perbedaan suhu

Sistem dirancang khusus untuk heat exchanger pada pemancar digital di LPP TVRI Jawa Timur, dengan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 sebagai inti perangkat kerasnya. Ambang batas suhu ditetapkan pada 40°C untuk mengaktifkan penyemprotan air, sesuai kebutuhan perangkat pemancar. Uji coba dilakukan dalam kondisi normal tanpa gangguan jaringan WiFi atau pasokan listrik, sehingga hasil dapat bervariasi jika terjadi gangguan tersebut. Antarmuka berbasis web memungkinkan monitoring dan kendali jarak jauh, dengan asumsi pengguna memiliki akses internet. Efisiensi pendinginan diuji menggunakan prototipe

yang dikembangkan. Pengujian dilakukan menggunakan metode black-box dan white-box untuk memastikan kinerja sistem sesuai desain.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian perangkat, terlihat perbedaan suhu yang dihasilkan setelah proses pendinginan. Sebelum pendinginan, suhu pemancar mencapai 52°C dan suhu heat exchanger 48°C. Setelah uji coba sistem, ditemukan penurunan suhu dengan selisih mencapai 2°C hingga 19°C. Suhu terendah yang tercatat adalah 44°C untuk pemancar dan 33°C untuk heat exchanger. Suhu HVAC pada ruangan stabil pada kisaran 17-19°C. Proses pendinginan juga berlangsung lebih cepat, yaitu 3 hingga 15 menit. Data berhasil disimpan dan ditampilkan pada antarmuka pengguna di website. Secara keseluruhan, sistem monitoring dan kontrol suhu ini bekerja 100% dengan baik.

5. Referensi

- [1] Abdul Hakim, Marwiyati, A. Wahyudin, and D. Kristiadi, "Penerapan Teknologi Siaran Digital Bagi Lpp Tvri Jawa Timur," *J. Herit.*, vol. 10, no. 1, pp. 50–71, 2022.
 - [2] T. Bengkulu, "1,2 1," vol. 1, no. 2, pp. 339–344, 2023.
 - [3] Rizki Aulia Nanda, Agus Supriyanto, Karyadi, Fathan Mubina Dewadi, Ramadhan Ronggo Jati, and Laurentinus Agus Kurniawan, "Perancangan Dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler Berbasis Iot Untuk Studi Pengukuran Sistem Hvac," *Buana Ilmu*, vol. 7, no. 1, pp. 43–55, 2022.
 - [4] E. Prihartono and D. Pondra, "Sistem Pengendalian Waktu Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit Menggunakan Metode Fuzzy Logic," vol. 4, pp. 7–18, 2024.
 - [5] M. F. Yordani and A. Sudaryanto, "Pengujian Sistem Monitoring Listrik Berbasis NodeMCU Menggunakan Blackbox Testing," *Informatics, Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 2, p. 50, 2021.
 - [6] R. F. Maulana, M. A. Ramadhan, W. Maharani, and M. I. Maulana, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT Studi Kasus Ruang Server IT Telkom Surabaya," *Indones. J. Multidiscip. Soc. Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 224–231, 2023.
 - [7] A. Ridho'i, K. Setyadjit, and B. Era Yordhan, "Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan ESP32," *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 20–26, 2023.
 - [8] R. Pratama, M. Z. Siambaton, and T. Haramaini, "Implementasi Internet of Things pada Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Rak Server Berbasis Mikrokontroler," *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 4, pp. 145–153, 2022.
 - [9] A. Sudaryanto, Y. Aditya, W. Wisnu, and A. Kridoyono, "Accuracy of DHT11 Temperature and Humidity Sensor in Egg Incubator," vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2024.
-