

Analisis Hubungan Jarak Sensor Dan Suhu Pada Percobaan Konveksi Kalor Menggunakan Teknologi Internet Of Things

Aldyan Satya Fausta^{1*}, Usamah Aziz Yahya², Faisal Ridhoanto³, Muhammad fadlan al farid⁴, Rudi Susanto⁵, Triyono⁶

¹Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer
(Universitas Duta Bangsa Surakarta)
^{1*}230103005@mhs.ac.id

² Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer
(Universitas Duta Bangsa Surakarta)
² 230103040@mhs.ac.id

³ Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer
(Universitas Duta Bangsa Surakarta)
³ 230103020@mhs.ac.id

⁴ Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer
(Universitas Duta Bangsa Surakarta)
⁴ 230103199@mhs.ac.id

⁵ Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer
(Universitas Duta Bangsa Surakarta)
⁵ rudi_susanto@udb.ac.id

⁶ Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer
(Universitas Duta Bangsa Surakarta)
⁶ triyono5@udb.ac.id

Abstrak— Perpindahan kalor secara konveksi merupakan salah satu konsep penting dalam termodinamika yang sering kali sulit diamati secara real-time dan akurat menggunakan alat ukur konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara jarak sensor terhadap sumber panas dan perubahan suhu pada percobaan konveksi kalor dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Metode penelitian yang digunakan meliputi empat tahapan, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian sistem. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan sensor suhu DHT22 sebagai alat ukur suhu yang ditempatkan secara bertahap pada variasi jarak 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm dari sumber kalor. Data suhu yang diperoleh dikirim secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi dan disimpan ke dalam basis data MySQL untuk dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak sensor dari sumber panas. Pada jarak 5 cm diperoleh suhu rata-rata tertinggi sebesar 42,8°C, sedangkan pada jarak 25 cm diperoleh suhu rata-rata terendah sebesar 31,1°C. Hasil tersebut menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara jarak sensor dan suhu yang terukur, yang sesuai dengan teori perpindahan kalor secara konveksi. Implementasi teknologi IoT juga terbukti mampu mendukung proses akuisisi, penyimpanan, dan visualisasi data suhu secara real-time sehingga pengamatan menjadi lebih efektif, akurat, dan mudah dilakukan.

Kata kunci— Konveksi Kalor, Jarak Sensor, Suhu, *Internet of Things* (IoT), ESP32, DHT22.

Abstract— Convective heat transfer is one of the fundamental concepts in thermodynamics that is often difficult to observe accurately and in real time using conventional measuring instruments. This study aims to analyze the relationship between sensor distance from a heat source and temperature changes in a heat convection experiment by utilizing Internet of Things (IoT) technology. The research method consisted of four stages: requirements analysis, system design, system implementation, and system testing. The system was developed using an ESP32 microcontroller as the main controller and a DHT22 temperature sensor positioned at varying distances of 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, and 25 cm from the heat source. Temperature data were transmitted wirelessly through a Wi-Fi network and stored in a MySQL database for further analysis. The results showed that the measured temperature decreased as the sensor distance from the heat source increased. The highest average temperature of 42.8°C was recorded at a distance of 5 cm, while the lowest average temperature of 31.1°C was obtained at a distance of 25 cm. These findings indicate an inverse relationship between sensor distance and measured temperature, which is consistent with the theory of convective heat transfer. Furthermore, the implementation of IoT technology proved effective in supporting real-time data acquisition, storage, and visualization, making the observation process more efficient, accurate, and practical.

Keywords— Heat Convection, Sensor Distance, Temperature, Internet of Things (IoT), ESP32, DHT22

I. PENDAHULUAN

Perpindahan kalor merupakan salah satu fenomena fisika mendasar yang terjadi di alam

dan banyak diaplikasikan dalam teknologi modern, mulai dari sistem pendingin elektronik hingga desain ventilasi termal. Di antara tiga

mekanisme perpindahan panas, konveksi memiliki karakteristik yang paling dinamis karena melibatkan perpindahan energi termal bersamaan dengan pergerakan massa fluida seperti udara atau air [1, 2]. Memahami bagaimana suhu didistribusikan dalam ruang konveksi sangat penting untuk menganalisis efisiensi termal. Namun, dalam eksperimen laboratorium konvensional, pengukuran distribusi suhu ini sering menghadapi kendala akurasi, keterbatasan titik ukur secara bersamaan (*multi-point sensing*), dan risiko kesalahan manusia (*human error*) akibat pembacaan manual menggunakan termometer analog yang tidak kontinu. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem modern yang mampu mengotomatisasi pengumpulan data suhu di berbagai titik jarak secara *real-time* untuk memetakan fenomena ini dengan lebih presisi.

Secara teoritis, penelitian mengenai perpindahan kalor konveksi mengacu pada Hukum Pendinginan Newton, yang menyatakan bahwa laju perpindahan panas berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara permukaan benda dan fluida di sekitarnya [3,4]. Seiring perkembangan teknologi, pemetaan distribusi suhu ruang kini mulai diintegrasikan dengan sistem digital. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan sensor digital memberikan waktu respons (*response time*) yang lebih cepat dan minim bias dibandingkan termometer analog tradisional. Selanjutnya, pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis mikrokontroler canggih seperti ESP32 menjadi tren utama dalam modernisasi laboratorium (*smart laboratory*) [5,6]. ESP32 menawarkan keunggulan berupa modul Wi-Fi terintegrasi dan kecepatan pemrosesan data yang tinggi. Untuk mendukung akurasi pengukuran pada medium udara, sensor DHT22 sering dipilih karena memiliki resolusi pembacaan suhu dan kelembapan yang jauh lebih stabil serta presisi dibandingkan dengan sensor generasi sebelumnya seperti DHT11. Meskipun kombinasi ESP32 dan DHT22 telah banyak digunakan untuk pemantauan lingkungan umum, pemanfaatannya yang secara spesifik menganalisis variasi jarak sensor terhadap pusat

konveksi kalor masih sangat terbatas dan memerlukan kajian yang lebih mendalam.

Berdasarkan permasalahan dan celah penelitian tersebut, riset ini dimaksudkan untuk menerapkan teknologi IoT sebagai instrumen modernisasi dalam eksperimen fisika termal, khususnya pada materi perpindahan kalor secara konveksi. Adapun tujuan utama yang ingin dicapai dari riset ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring konveksi kalor berbasis ESP32 dan sensor DHT22, menganalisis hubungan dan polakorelasi antara jarak penempatan sensor dari sumber panas terhadap nilai suhu yang terukur, serta mengevaluasi efektivitas akuisisi data suhu secara nirkabel dan *real-time*. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh data eksperimen konveksi yang lebih akurat, dinamis, dan objektif.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Analisis Kebutuhan

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menganalisis dan mengidentifikasi seluruh kebutuhan instrumen pendukung eksperimen. Analisis ini dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu kebutuhan perangkat keras (*hardware*) untuk keperluan akuisisi data termal di laboratorium, dan kebutuhan perangkat lunak (*software*) untuk keperluan pemrograman mikrokontroler serta pembangunan sistem monitoring berbasis web [7]. Identifikasi yang tepat memastikan bahwa sistem IoT dapat mentransmisikan data suhu secara kontinu tanpa mengalami kegagalan sistem (*system crash*) atau kehilangan paket data (*packet loss*) [8,9]. Detail mengenai komponen, jenis, dan fungsi dari masing-masing kebutuhan tersebut disajikan pada Tabel I.

Tabel I. Kebutuhan Perangkat Sistem

Komponen	Jenis	Fungsi
ESP32	(Hardware)	Sebagai mikroprosesor utama untuk memproses data dari sensor dan mengirimkannya ke server web melalui modul Wi-Fi terintegrasi.
Sensor DHT22	(Hardware)	Mengukur parameter suhu dan kelembapan udara di sekitar area konveksi secara digital dengan akurasi tinggi.
Sumber Kalor	(Hardware)	Menghasilkan energi panas (misalnya lilin atau elemen pemanas elektrik) sebagai objek utama eksperimen konveksi.
Kabel Jumper	(Hardware)	Menghubungkan jalur kelistrikan dan sinyal data antar komponen elektronik tanpa memerlukan penyolderan.
Supabase	(Software)	Sistem manajemen pangkalan data (<i>database</i>) untuk menyimpan log data suhu berdasarkan waktu dan jarak sensor

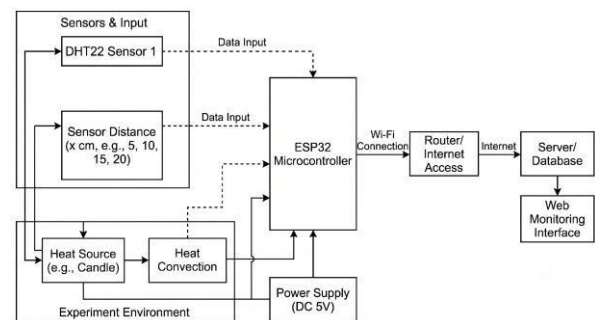
B. Perancangan Arsitektur Hardware

Perancangan arsitektur perangkat keras (*hardware*) difokuskan pada konfigurasi fisik komponen elektronik agar dapat mengukur perubahan suhu konveksi secara presisi menggunakan satu titik ukur. Komponen utama dalam arsitektur ini terdiri dari satu buah *development board* ESP32 sebagai unit pemroses data dan satu buah sensor suhu DHT22 sebagai instrumen pengukur parameter termal udara [10].

Secara struktural, elemen pemanas diletakkan pada titik pusat (0 cm) sebagai sumber kalor utama eksperimen. Sebuah dudukan penyangga linier berbahan isolator termal (seperti akrilik) dirancang untuk menempatkan sensor DHT22. Pengujian hubungan jarak dan suhu dilakukan secara eksperimental dengan mengubah posisi

penempatan satu-satunya sensor DHT22 tersebut secara bertahap pada variasi jarak yang telah ditentukan dari pusat panas, yaitu dimulai dari jarak 5cm, kemudian dipindahkan ke jarak 10cm, 15cm, hingga 20cm.

Mikrokontroler ESP32 diposisikan pada jarak yang aman dan terisolasi dari paparan panas langsung yang dihasilkan oleh sumber kalor. Isolasi posisi ini sangat penting untuk menjaga suhu operasional internal chip ESP32 tetap stabil, serta mencegah terjadinya bias atau kerusakan pada mikrokontroler akibat *overheating*. Sensor DHT22 dihubungkan ke ESP32 menggunakan kabel *jumper* pendek guna meminimalkan distorsi sinyal digital selama proses akuisisi data berlangsung.



Gambar 1. Diagram Block Perancangan Arsitektur Hardware

C. Perancangan Arsitektur Software

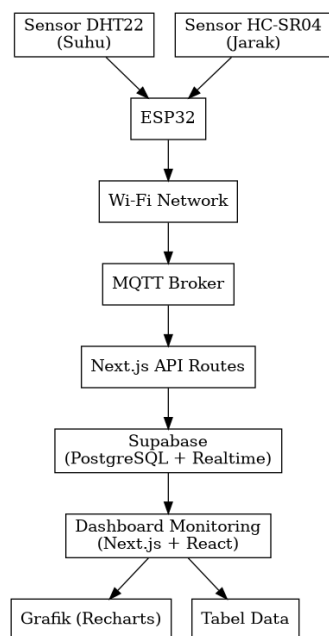
Perancangan arsitektur perangkat lunak (*software*) menggunakan model Client-Server yang terdiri atas tiga lapisan utama, yaitu Lapisan Klien (Firmware IoT), Lapisan Backend dan Basis Data, serta Lapisan Antarmuka Pengguna (Dashboard Monitoring).

Pada lapisan klien, firmware ESP32 dikembangkan menggunakan bahasa C/C++ pada Arduino IDE. ESP32 bertugas membaca data suhu dari sensor DHT22 dan data jarak dari sensor HC-SR04 secara berkala. Data yang diperoleh kemudian dikirim melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT menuju server untuk diproses lebih lanjut.

Pada lapisan backend, sistem dibangun menggunakan Next.js API Routes yang berfungsi menerima, memproses, dan mengelola data hasil pembacaan sensor. Data yang diterima

kemudian disimpan ke dalam basis data Supabase yang menggunakan PostgreSQL serta mendukung sinkronisasi data secara real-time.

Pada lapisan antarmuka pengguna, dashboard monitoring dikembangkan menggunakan Next.js dan React. Tampilan antarmuka memanfaatkan Tailwind CSS untuk desain responsif, sedangkan visualisasi data suhu dan jarak ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel menggunakan Recharts. Mekanisme sinkronisasi real-time dari Supabase memungkinkan data hasil pengukuran diperbarui secara otomatis pada dashboard tanpa memerlukan pemuatan ulang halaman (refresh).



Gambar 2. Diagram Block Perancangan Arsitektur Software

D. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem pemantauan konveksi kalor berbasis IoT ini dibagi menjadi dua proses utama yang saling terintegrasi, yaitu proses pada sisi perangkat keras (embedded system) dan proses pada sisi aplikasi web (monitoring system).

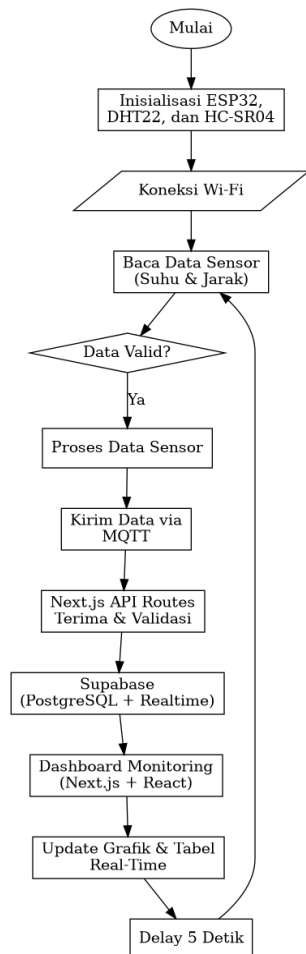
Pada sisi perangkat keras, proses dimulai ketika ESP32 menerima suplai daya dan melakukan inisialisasi sensor DHT22 serta sensor HC-SR04. Selanjutnya, ESP32 terhubung ke jaringan Wi-Fi dan mulai membaca data suhu serta jarak secara berkala. Data hasil pembacaan

sensor kemudian diproses dan dikirim menggunakan protokol MQTT melalui jaringan internet. Proses akuisisi dan pengiriman data dilakukan secara berulang sesuai interval waktu yang telah ditentukan pada program mikrokontroler.

Pada sisi perangkat lunak, backend yang dibangun menggunakan Next.js API Routes menerima data sensor yang dikirim melalui MQTT. Data yang diterima kemudian divalidasi dan disimpan ke dalam basis data Supabase yang menggunakan PostgreSQL. Selain berfungsi sebagai media penyimpanan data, Supabase juga menyediakan fitur sinkronisasi data secara real-time sehingga setiap perubahan data dapat langsung diteruskan ke aplikasi monitoring.

Pada lapisan antarmuka pengguna, dashboard monitoring dikembangkan menggunakan Next.js dan React. Dashboard menampilkan data suhu dan jarak dalam bentuk tabel maupun grafik sehingga pengguna dapat memantau hasil pengukuran secara langsung. Melalui mekanisme real-time yang disediakan oleh Supabase, data terbaru akan diperbarui secara otomatis pada dashboard tanpa memerlukan pemuatan ulang (refresh) halaman web.

Alur kerja tersebut memungkinkan proses pemantauan konveksi kalor dilakukan secara real-time, mulai dari pengambilan data oleh sensor, pengiriman data melalui jaringan internet, penyimpanan pada basis data, hingga visualisasi hasil pengukuran pada dashboard monitoring.



Gambar 3. flowchart proses alur kerja sistem pemantauan

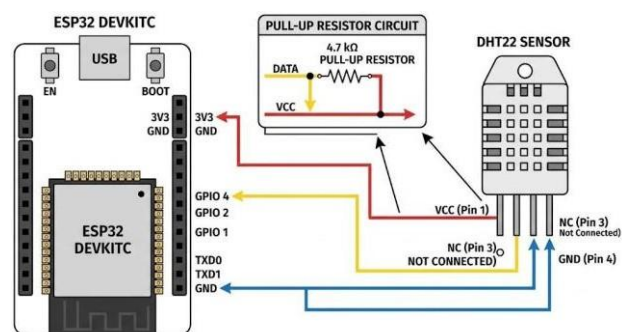
E. Rangkaian dan Pengkabelan

Perancangan rangkaian elektronik dan sistem pengkabelan (*wiring*) dilakukan untuk menghubungkan sensor DHT22 dengan mikrokontroler ESP32 secara aman dan stabil. Karena sistem ini hanya menggunakan satu buah sensor DHT22 yang dipindahkan secara berkala, konfigurasi pin dibuat sesederhana mungkin untuk memudahkan proses mobilisasi sensor selama eksperimen konveksi berlangsung.

Pinout pada sensor DHT22 memiliki empat pin fisik (VCC, DATA, NC, dan GND), namun hanya tiga pin utama yang digunakan dalam konfigurasi ini. Untuk menjaga stabilitas pembacaan data digital dan mencegah terjadinya *floating signal*, sebuah resistor *pull-up* eksternal sebesar **4.7 kΩ** hingga **10 kΩ** dipasang di antara jalur VCC dan jalur DATA.

Tabel II. Rangkaian Pengkabelan

NO	Pin Sensor DHT22	Pin Mikrokontroler ESP32	Fungsi
1	VCC (Pin 1)	3V3	Suplai daya positif (3.3V)
2	DATA (Pin 2)	GPIO 4	Transmisi data suhu (Sinyal Digital)
3	NC (Pin 3)	Tidak Dihubungkan	Tidak digunakan (No Connection)
4	GND (Pin 4)	GND	Ground Referensi negatif



Gambar 4. Skema Perkabelan ESP32, Sensor DHT22

F. Pengujian dan Analisis Data

Tahap pengujian dan analisis data dilakukan untuk mengevaluasi fungsionalitas sistem IoT yang telah dirancang serta menganalisis karakteristik perpindahan kalor secara konveksi berdasarkan variasi jarak sensor. Pengujian sistem dilakukan secara eksperimental dengan menempatkan lilin sebagai sumber kalor pada posisi tetap. Sensor DHT22 ditempatkan pada kedudukan linier dan dipindahkan secara bertahap pada variasi jarak 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm dari sumber panas. Pada setiap variasi jarak, ESP32 melakukan akuisisi data suhu secara kontinu dan mengirimkan data tersebut melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT. Data yang diterima oleh backend kemudian divalidasi dan disimpan ke dalam basis data Supabase (PostgreSQL) untuk

selanjutnya ditampilkan pada dashboard monitoring berbasis web secara real-time.

Pengujian sistem dinyatakan berhasil apabila data suhu dari setiap variasi jarak dapat diterima dengan baik oleh backend, tersimpan secara terstruktur pada basis data, serta ditampilkan secara otomatis pada dashboard monitoring tanpa memerlukan pemuatan ulang halaman. Mekanisme sinkronisasi data real-time memungkinkan pengguna memantau perubahan suhu secara langsung selama proses eksperimen berlangsung.

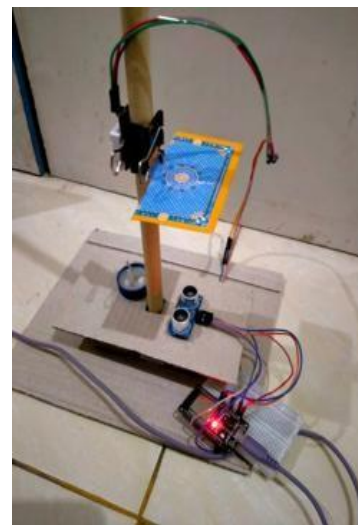
Setelah seluruh data hasil pengukuran berhasil direkam, tahap berikutnya adalah melakukan analisis data menggunakan pendekatan statistik deskriptif. Data suhu yang diperoleh secara kontinu pada setiap variasi jarak diolah untuk mendapatkan nilai suhu rata-rata sehingga diperoleh representasi data yang lebih stabil dan objektif. Nilai rata-rata tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas berupa jarak sensor terhadap sumber panas dan variabel terikat berupa suhu yang terukur. Selanjutnya, hasil pengukuran dibandingkan dengan teori perpindahan kalor secara konveksi dan Hukum Pendinginan Newton untuk memvalidasi kesesuaian antara data eksperimen dan teori yang mendasarinya. Melalui tahapan ini dapat diketahui pola perubahan suhu akibat bertambahnya jarak sensor dari sumber kalor serta efektivitas sistem IoT dalam mendukung proses pengamatan secara real-time.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Hasil implementasi sistem menunjukkan bahwa sistem monitoring konveksi kalor berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor DHT22 sebagai pengukur suhu, dan sensor HC-SR04 sebagai pengukur jarak. Sistem pendukung terdiri atas breadboard sebagai media perakitan rangkaian dan distribusi koneksi listrik secara paralel, kabel jumper sebagai penghubung antarkomponen, tongkat dan jepitan sebagai

penyangga sensor, kartu/kertas karton sebagai penanda variasi jarak pengukuran, serta kardus sebagai alas perakitan. Sumber kalor yang digunakan dalam penelitian ini adalah lilin yang ditempatkan pada titik tetap sebagai penghasil panas. Data yang diperoleh dari sensor DHT22 dan HC-SR04 diproses oleh ESP32, kemudian dikirim melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT. Data selanjutnya diterima oleh backend berbasis Next.js API Routes, disimpan ke dalam basis data Supabase (PostgreSQL), dan ditampilkan pada dashboard monitoring secara real-time.



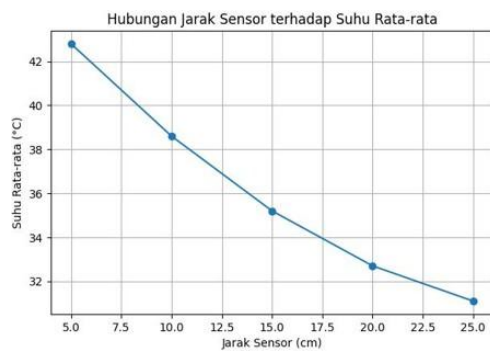
Gambar 5. Alat IoT Setelah Dirakit

Backend yang dibangun menggunakan Next.js API Routes berfungsi mengelola dan menyimpan data hasil pembacaan sensor ke dalam basis data Supabase. Dashboard monitoring yang dikembangkan menggunakan Next.js dan React digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran suhu dan jarak dalam bentuk tabel maupun grafik secara real-time. Hasil integrasi menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem dapat bekerja dengan baik sehingga proses pengamatan perpindahan kalor secara konveksi dapat dilakukan secara real-time, lebih efektif, dan terstruktur.

B. Hasil Pengujian Alat dan Sensor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil melakukan pembacaan suhu dan

mengirimkan data ke server dengan baik. Setiap data yang diterima server dapat ditampilkan pada dashboard monitoring sesuai dengan variasi jarak yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32, sensor DHT22, basis data, dan dashboard web berjalan sesuai dengan rancangan sistem yang telah dibuat.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian.

Tabel III. Hasil Pengujian.

Jarak (cm)	Sensor	Suhu Rata-rata (°C)
5		42,8
10		38,6
15		35,2
20		32,7
25		31,1

Berdasarkan data pada Tabel III dan Gambar 6, terlihat bahwa suhu yang terukur mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak sensor dari sumber panas. Suhu tertinggi diperoleh pada jarak 5 cm sebesar 42,8°C, sedangkan suhu terendah diperoleh pada jarak 25 cm sebesar 31,1°C.

Hasil pengujian menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara jarak sensor dan suhu yang terukur. Semakin jauh posisi sensor dari sumber panas, semakin rendah suhu yang dideteksi oleh sensor DHT22. Fenomena ini terjadi karena energi panas yang berpindah melalui konveksi mengalami

penyebaran ke lingkungan selama proses perpindahan kalor. Akibatnya, jumlah energi panas yang mencapai sensor semakin berkurang seiring bertambahnya jarak dari sumber panas. Hasil penelitian ini sesuai dengan teori perpindahan kalor konveksi yang menyatakan bahwa distribusi temperatur fluida akan menurun ketika jarak dari sumber kalor semakin besar.

C. Evaluasi Kerja Sistem IoT

Implementasi teknologi Internet of Things (IoT) pada penelitian ini memberikan kemudahan dalam proses akuisisi data suhu. Penggunaan ESP32 memungkinkan data sensor dikirim secara otomatis melalui jaringan Wi-Fi tanpa memerlukan pencatatan manual. Selain itu, dashboard web mampu menampilkan data pengukuran secara real-time sehingga pengguna dapat memantau perubahan suhu secara langsung.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, sistem menunjukkan stabilitas komunikasi yang baik antara perangkat keras dan aplikasi monitoring. Data yang diperoleh tersimpan secara otomatis pada basis data sehingga memudahkan proses analisis dan dokumentasi hasil eksperimen.

Pemanfaatan sistem monitoring berbasis IoT juga mampu mengurangi potensi kesalahan pembacaan yang sering terjadi pada metode pengukuran konvensional. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat digunakan sebagai media pendukung praktikum maupun penelitian pada bidang perpindahan kalor dan termodinamika.

D. Pembahasan Data Uji Coba

Pembahasan data uji coba dilakukan untuk mengevaluasi keandalan (reliability) serta validitas integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak sebelum sistem digunakan pada pengambilan data eksperimen utama. Uji coba awal difokuskan pada pengujian fungsionalitas sensor DHT22 dalam membaca perubahan suhu serta kemampuan ESP32 dalam mengirimkan data melalui jaringan nirkabel. Berdasarkan

hasil pengujian di laboratorium, sensor DHT22 mampu membaca perubahan suhu pada area konveksi dengan baik dan menghasilkan data yang stabil selama proses pengamatan. Selain itu, ESP32 berhasil mengirimkan data hasil pembacaan sensor melalui protokol MQTT secara berkelanjutan sehingga backend dapat menerima dan memproses data tanpa kendala yang teramati selama pengujian.

Lebih lanjut, pengujian juga dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian data yang tersimpan pada basis data Supabase dengan data yang ditampilkan pada dashboard monitoring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme sinkronisasi data secara real-time mampu menampilkan perubahan suhu pada dashboard sesuai dengan data yang diterima dari ESP32. Dashboard monitoring yang dikembangkan menggunakan Next.js dan React berhasil menampilkan data dalam bentuk tabel dan grafik secara dinamis sehingga memudahkan proses observasi. Selama pengujian berlangsung, data hasil pembacaan sensor dapat diterima, disimpan, dan ditampilkan dengan baik tanpa ditemukan kegagalan pengiriman yang memengaruhi proses monitoring. Berdasarkan hasil tersebut, sistem monitoring konveksi kalor berbasis IoT dinyatakan telah berfungsi sesuai dengan kebutuhan perancangan dan siap digunakan sebagai instrumen pendukung pengambilan data eksperimen.

E. Pengujian Integrasi IoT dengan Website

Pengujian integrasi IoT dengan website dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor dapat dikirim dari perangkat ESP32 menuju aplikasi website secara real-time. Proses komunikasi dimulai ketika ESP32 membaca data suhu dari sensor DHT22 dan data jarak dari sensor HC-SR04 yang ditempatkan pada variasi jarak tertentu dari sumber panas. Data yang diperoleh kemudian dikirim melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT. Selanjutnya, backend yang dibangun menggunakan Next.js API Routes menerima dan memproses data yang masuk, kemudian menyimpannya ke dalam basis data Supabase (PostgreSQL). Data yang tersimpan selanjutnya

ditampilkan pada dashboard monitoring secara real-time melalui mekanisme sinkronisasi data yang disediakan oleh Supabase.



Gambar 7. Tampilan Dashboard Monitoring

Tampilan dashboard monitoring pada Gambar 7 menunjukkan bahwa website mampu menampilkan informasi utama berupa data jarak sensor dan suhu hasil pengukuran yang diterima dari ESP32. Selain itu, dashboard juga dilengkapi dengan grafik real-time yang menampilkan perubahan suhu berdasarkan data yang masuk dari sensor DHT22. Data yang diterima backend dapat ditampilkan secara otomatis pada antarmuka website tanpa memerlukan pemuatan ulang (refresh) halaman.

Berdasarkan hasil pengujian integrasi sistem dan tampilan dashboard monitoring, mekanisme komunikasi data mulai dari sensor DHT22 dan HC-SR04, mikrokontroler ESP32, layanan MQTT, backend Next.js API Routes, basis data Supabase, hingga website monitoring telah berjalan sesuai dengan rancangan yang dibuat. Data hasil pengukuran berhasil dikirim melalui jaringan Wi-Fi, disimpan ke dalam basis data, dan ditampilkan pada dashboard secara real-time. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dan website mampu mendukung proses monitoring suhu pada percobaan konveksi kalor secara efektif, terstruktur, dan responsif.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring konveksi kalor berbasis Internet of Things (IoT)

menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 sebagai pengukur suhu, sensor HC-SR04 sebagai pengukur jarak, serta dashboard monitoring berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi data sensor, mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT, menyimpan data pada basis data Supabase (PostgreSQL), serta menampilkan hasil pengukuran pada dashboard web secara real-time.

Berdasarkan data pengujian, suhu yang terukur mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak sensor dari sumber panas. Suhu tertinggi diperoleh pada jarak 5 cm sebesar 42,8°C, sedangkan suhu terendah diperoleh pada jarak 25 cm sebesar 31,1°C. Hasil tersebut menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara jarak sensor dan suhu yang terukur, yang sesuai dengan teori perpindahan kalor secara konveksi.

Implementasi teknologi IoT pada penelitian ini mampu mempermudah proses akuisisi, penyimpanan, dan visualisasi data suhu secara real-time sehingga dapat digunakan sebagai media pendukung praktikum maupun penelitian pada bidang perpindahan kalor. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan lebih banyak titik pengukuran, menggunakan sensor dengan tingkat presisi

yang lebih tinggi, serta menerapkan metode analisis data yang lebih mendalam untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

REFERENSI

- [1] Y. A. Çengel dan A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2020.
- [2] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, dan A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 8th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2017.
- [3] H. Yan dan H. Guo, "Efficiency and Its Bounds for Thermal Engines at Maximum Power using Newton's Law of Cooling," *arXiv preprint arXiv:1211.6789*, 2012.
- [4] V. Panković dan D. V. Kapor, "Mpemba Effect, Newton Cooling Law and Heat Transfer Equation," *arXiv preprint arXiv:1005.1013*, 2010.
- [5] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," Espressif Systems, 2025. [Online]. Available: <https://www.espressif.com>.
- [6] Espressif Systems, "ESP32-WROOM-32 Datasheet," Espressif Systems. [Online]. Available: <https://www.espressif.com>.
- [7] L. Da Xu, W. He, dan S. Li, "Internet of Things in Industries: A Survey," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, 2014.
- [8] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, dan M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [9] M. A. Razzaque, M. Milojevic-Jevric, A. Palade, dan S. Clarke, "Middleware for Internet of Things: A Survey," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 70–95, 2016.
- [10] Aosong Electronics, "DHT22 (AM2302) Temperature and Humidity Sensor Datasheet," Aosong Electronics, Guangzhou, China.