



**CYBER-PHYSICAL SYSTEM FINAL PROJECT REPORT
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
UNIVERSITAS INDONESIA**

INTELLIGENT COOLING SOLUTIONS FOR DATA CENTERS

GROUP 7

AULIA ANUGRAH AZIZ	2206059364
BERES BAKTI PARSAORAN SIAGIAN	2206817585
NAUFAL RUSYDA SANTOSA	2206813353
RAIHAN MUHAMMAD IHSAN	2206028232

PREFACE

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas rahmat dan petunjuk-Nya yang telah memungkinkan kelompok kami untuk menyelesaikan projek akhir kami tentang Sistem Siber-Fisik yang berjudul "Intelligent Cooling Solutions for Data Centers" tepat pada waktunya.

Proyek ini dikerjakan dalam rangka memenuhi proyek akhir dari mata kuliah Sistem Siber-Fisik. Proyek ini merupakan bagian dari upaya kami untuk menjawab tantangan dalam pengelolaan energi dan efisiensi pendinginan di pusat data, yang semakin penting seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan teknologi informasi. Dari proyek ini, kami menyadari bahwa pusat data modern membutuhkan solusi pendinginan yang tidak hanya efisien tetapi juga cerdas dalam mengurangi konsumsi energi.

Kami kelompok 7 mengucapkan terima kasih kepada para anggota kelompok yang telah saling bekerja sama dalam membuat program, merancang perangkat keras, melakukan simulasi, hingga menyusun laporan sehingga proyek dapat diselesaikan tepat waktu dengan hasil yang baik. Kami juga berterima kasih kepada asisten lab yang telah membimbing kami. Kami menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Depok, May 28, 2024

Group 7

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER 1.....	4
INTRODUCTION.....	4
1.1 PROBLEM STATEMENT.....	4
1.2 PROPOSED SOLUTION.....	6
1.3 ACCEPTANCE CRITERIA.....	6
1.4 ROLES AND RESPONSIBILITIES.....	6
1.5 TIMELINE AND MILESTONES.....	7
CHAPTER 2.....	9
IMPLEMENTATION.....	9
2.1 HARDWARE DESIGN AND SCHEMATIC.....	9
2.2 SOFTWARE DEVELOPMENT.....	10
2.3 HARDWARE AND SOFTWARE INTEGRATION.....	12
CHAPTER 3.....	13
TESTING AND EVALUATION.....	13
3.1 TESTING.....	13
3.2 RESULT.....	15
3.3 EVALUATION.....	16
CHAPTER 4.....	18
CONCLUSION.....	18

CHAPTER 1

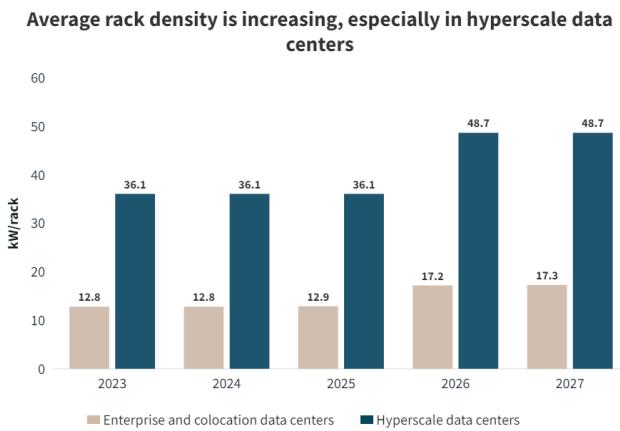
INTRODUCTION

1.1 PROBLEM STATEMENT

Dalam era digital yang terus berkembang, pusat data menjadi tulang punggung dari berbagai aktivitas ekonomi dan sosial. Pusat data menyimpan, mengelola, dan memproses sejumlah besar informasi, yang sangat penting bagi berbagai industri seperti perbankan, telekomunikasi, pemerintahan, dan layanan kesehatan. Namun, peningkatan volume data dan kebutuhan untuk pemrosesan yang cepat membawa tantangan tersendiri dalam hal manajemen energi dan pendinginan.

Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh pusat data adalah bagaimana menjaga suhu operasional perangkat keras agar tetap dalam batas yang aman dan optimal. Perangkat keras yang terlalu panas dapat menyebabkan kerusakan, kehilangan data, dan downtime. Untuk mengatasi hal ini, pusat data biasanya mengandalkan sistem pendinginan konvensional yang sering kali kurang efisien dan boros energi.

Berdasarkan riset terbaru yang dilakukan oleh JLL, kemajuan pesat dalam bidang kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin mendorong gelombang perubahan transformasional dalam desain pusat data, pemilihan lokasi, dan strategi investasi. Untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat akan daya komputasi, pusat data skala besar diproyeksikan akan meningkatkan kepadatan rak mereka dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) sebesar 7,8%. Menurut penelitian dari JLL, pada tahun 2027, rata-rata kepadatan rak diperkirakan akan mencapai 50kW per rak, melampaui rata-rata saat ini sebesar 36kW.



Source: JLL Research, 2024

Selain itu, berdasarkan marketsandmarkets.com, pasar pendinginan pusat data diproyeksikan akan tumbuh dari USD 12,7 miliar pada tahun 2023 menjadi USD 29,6 miliar pada tahun 2030, dengan CAGR sebesar 12,8% dari tahun 2023 hingga 2030. Alasan utama pertumbuhan ini adalah meningkatnya jumlah data yang dibuat dan digunakan di seluruh dunia. Dengan peningkatan aplikasi yang membutuhkan data dalam jumlah besar, komputasi awan, dan Internet of Things (IoT), pusat data menghadapi beban kerja yang semakin tinggi, sehingga membutuhkan solusi pendinginan yang efisien dan canggih. Ketergantungan yang semakin besar pada layanan digital dan ekspansi berkelanjutan infrastruktur TI mendorong permintaan akan teknologi pendinginan yang menjamin kinerja optimal, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan. Kebutuhan utama untuk mempertahankan dan meningkatkan operasi pusat data di tengah ekosistem digital yang terus berkembang menjadi dorongan utama bagi pasar Pendinginan Pusat Data.

Sebagai contoh, berdasarkan studi yang dilakukan oleh Intel, suhu pusat data dapat mencapai 40 derajat Celcius dalam 18 detik dan dapat mencapai 57 derajat Celcius dalam 35 detik saat kondisi mati listrik. Hal ini menunjukkan betapa kritisnya pengelolaan suhu dalam pusat data untuk mencegah kerusakan perangkat keras dan gangguan operasional.

Sistem pendinginan konvensional cenderung beroperasi dengan kapasitas penuh sepanjang waktu, tanpa memperhitungkan variasi suhu secara real-time dan kondisi lingkungan. Akibatnya, terjadi pemborosan energi yang lebih, yang tidak hanya meningkatkan biaya operasional tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan solusi pendinginan yang lebih cerdas dan efisien untuk mengatasi masalah ini.

1.2 PROPOSED SOLUTION

Untuk mengatasi masalah tersebut, kami mengajukan solusi sistem pendinginan cerdas untuk pusat data yang dirancang untuk mengurangi pemborosan energi dengan memperhatikan variasi suhu lingkungan secara real-time. Solusi ini akan memantau kondisi operasional pusat data secara terus-menerus dan secara otomatis menyesuaikan tingkat pendinginan berdasarkan kebutuhan aktual. Dengan pendekatan ini, kami berharap dapat menghemat konsumsi daya secara signifikan dan menjaga suhu pusat data dalam rentang yang optimal, sehingga mencegah kerusakan komponen perangkat keras dan mengurangi risiko downtime.

Selain itu, dalam situasi mati listrik (blackout), sistem pendinginan kami dirancang untuk tetap beroperasi secara independen. Hal ini dicapai dengan menghubungkan unit pendingin utama (master) dan sekunder (slave) ke baterai, sehingga tidak bergantung pada sumber daya listrik eksternal. Kelebihan ini memungkinkan sistem pendinginan untuk mencegah peningkatan suhu yang drastis selama blackout, berbeda dengan sistem pendinginan konvensional yang umumnya tidak berfungsi tanpa pasokan listrik eksternal. Dengan demikian, solusi kami tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga meningkatkan keandalan dan keberlanjutan operasional pusat data.

1.3 ACCEPTANCE CRITERIA

Tujuan dari proyek ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat mendeteksi suhu dengan menggunakan DHT11.
2. LCD dapat menampilkan suhu ruangan secara realtime.
3. LED mengindikasikan tingkat suhu dalam tiga rentang, yaitu, *cold*, *normal*, dan *hot*.
4. LED akan berkedip sebanyak 5 kali dalam interval 2 detik saat dalam kondisi *hot*.
5. Kipas dapat menyala untuk menjaga suhu dalam rentang yang optimal.

1.4 ROLES AND RESPONSIBILITIES

The roles and responsibilities assigned to the group members are as follows:

Roles	Responsibilities	Person

Role 1	Membuat kode untuk SPI pada master/slave dan menampilkan suhu pada LCD, menambahkan kode blink, merancang hardware pada proteus, ikut serta dalam membantu pembuatan laporan dan PPT.	Aulia Anugrah Aziz
Role 2	Membuat kode untuk LED serta Kondisinya, ikut serta dalam membantu pembuatan laporan	Beres Bakti Parsaoran Siagian
Role 3	Membantu perakitan hardware dan pembuatan laporan.	Raihan Muhammad Ihsan
Role 4	Membantu perakitan hardware dan pembuatan laporan.	Naufal Rusyda Santosa

Table 1. Roles and Responsibilities

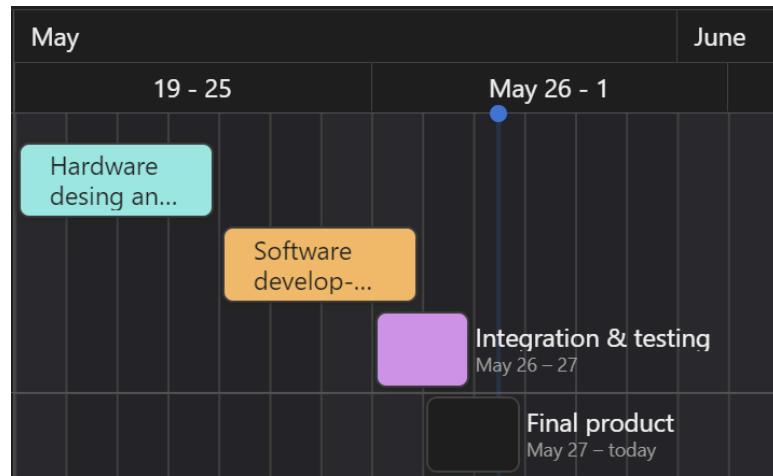
1.5 TIMELINE AND MILESTONES

Berikut adalah timeline dalam perancangan dan pembuatan proyek kali ini:

- a) 22 May 2024 - Hardware Design completion: milestone yang menandakan proses perancangan hardware yang telah selesai.
- b) 23 May 2024 - Software Development: tanggal saat pengembangan dari kode assembly (software) dan pembagian tugas dan fungsionalitas dari kode dimulai.
- c) 26 May 2024 - Integration and Testing of Hardware and Software: milestone yang menandakan ketika komponen hardware dan software telah terintegrasi

dan pengujian dilakukan secara bersamaan untuk memastikan fungsionalitas yang baik.

- d) 27 May 2024 - Final Product Assembly and Testing : milestone yang menandakan saat produk sistem final telah dirangkai, diuji, dan diverifikasi untuk memenuhi acceptance criteria.



CHAPTER 2

IMPLEMENTATION

2.1 HARDWARE DESIGN AND SCHEMATIC

Hardware yang digunakan terdiri dari dua buah Arduino Uno yang mencakup semua pustaka dan logika yang diperlukan untuk mengontrol servo, membaca data dari sensor DHT11, dan menampilkan informasi yang diperoleh dari sensor tersebut pada layar LCD. Data dari sensor DHT11 akan menentukan apakah motor akan dihidupkan atau dimatikan. Kami juga menggunakan tiga LED yang terhubung ke Arduino Uno untuk menunjukkan keadaan sensor suhu saat ini dan berfungsi sebagai tanda fisik utama bahwa pengontrol telah beralih mode.

Dua Arduino Uno ini berfungsi sebagai master dan slave. Master mengontrol LED dan motor berdasarkan data dari sensor DHT11 serta mengirimkan data dari sensor DHT11 ke slave. Master bertugas menampilkan indikator visual berupa LED untuk menandakan rentang suhu secara real-time. Rentang suhu terbagi menjadi tiga kategori: dingin (cold), normal, dan panas (hot). Setiap kondisi diwakili oleh warna LED yang berbeda. Jika suhu yang terbaca termasuk dalam rentang dingin, LED yang menyala adalah LED warna hijau. Jika suhu yang terbaca termasuk dalam rentang normal, LED yang menyala adalah warna kuning. Jika suhu yang terbaca berada dalam rentang panas, LED yang menyala adalah warna merah. Ketiga LED ini tersambung pada PORT D pin 0, 1, dan 2 secara berurutan. Pada saat suhu berada dalam rentang panas, pin 3 dari PORT D akan mengeluarkan output untuk menyalakan motor kipas.

Data yang diterima oleh slave akan ditampilkan pada LCD. Port yang bertanggung jawab untuk mengirimkan data yang ingin ditampilkan adalah PORTD, sedangkan PORTB bertanggung jawab untuk menerima informasi SPI pada pin PB10, PB11, PB13, dan mengirimkan data command pada pin PB8 (RS) dan PB9 (EN).

Desain hardware dan skema yang digunakan memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan efisien dan responsif terhadap perubahan suhu, serta memberikan umpan balik visual yang jelas tentang kondisi suhu saat ini di pusat data. Dengan menggunakan dua Arduino Uno sebagai master dan slave, sistem ini mampu mengontrol dan memantau kondisi suhu secara real-time.

2.2 SOFTWARE DEVELOPMENT

Software dikembangkan menggunakan Arduino IDE dalam bahasa assembly AVR yang digunakan untuk ATMega328p. Kami membuat kode untuk membaca data dari sensor DHT11, mengendalikan LED, dan motor berdasarkan kondisi suhu. Kode ini kemudian diunggah ke Arduino Uno untuk mengatur perilaku hardware sesuai dengan input yang diterima dari sensor suhu.

Program master, yang dinamakan IntelligentCoolingMaster.S, bertanggung jawab untuk membaca input dari sensor DHT11 dan mengirimkannya ke Arduino slave atau IntelligentCoolingSlave.S dengan protokol SPI. Di awal program, master akan menginisialisasi SPI dengan mengatur MOSI, SCK, dan SS sebagai output pada PORT B dan mengaktifkan SPI sebagai master dengan clock frequency fosc/8, dan SPI mode 0. Sementara itu, semua bagian PORT D dijadikan sebagai output.

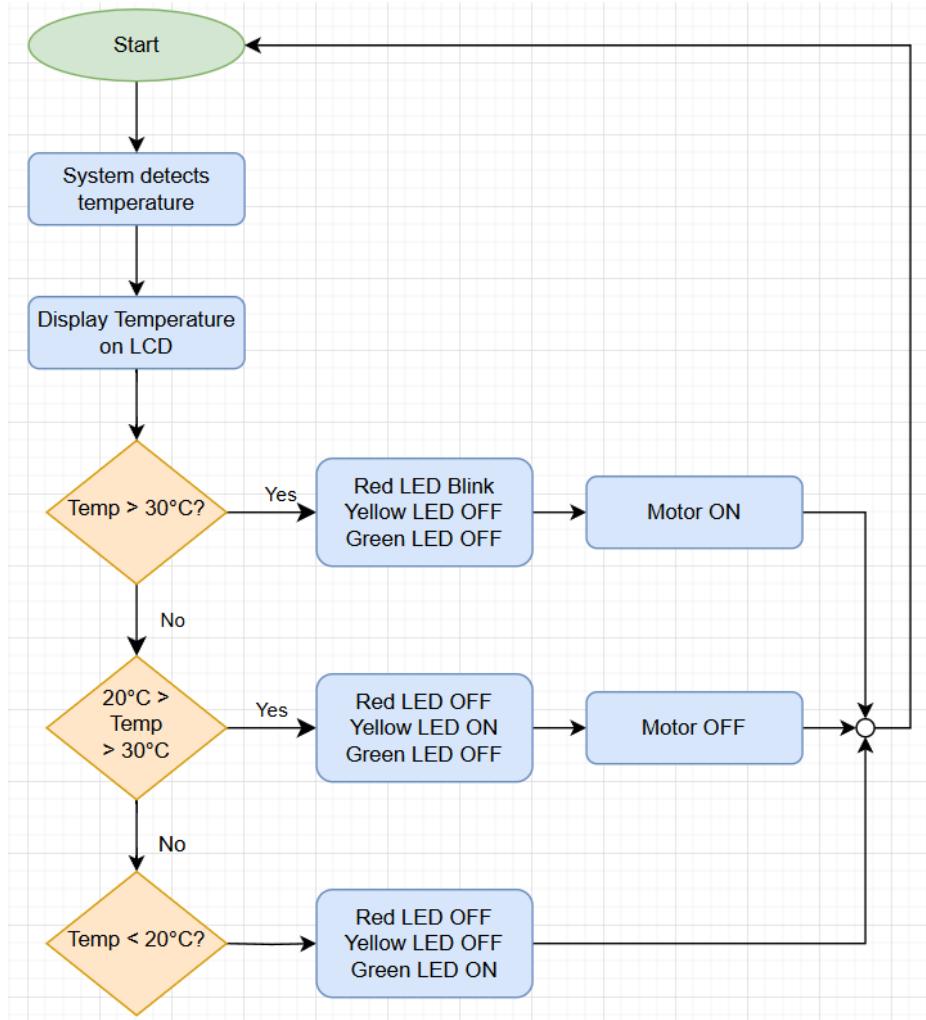
Tahap berikutnya adalah memanggil delay selama 2 detik untuk menunggu DHT11 menyala. Sensor ini akan di-input ke PORT C pada pin A0. Komunikasi dengan DHT11 dimulai dengan mengirimkan sinyal start yang terdiri dari low pulse dan high pulse secara berurutan. Program kemudian akan menunggu sinyal respons dari sensor dan memanggil subroutine DHT11_reading sebanyak tiga kali untuk mengabaikan dua byte pertama. Setelah data diperoleh dari sensor, data tersebut akan dikirimkan ke slave. Data ini disimpan dalam register R18. Nilai dari register ini kemudian dibandingkan untuk menentukan rentang suhu yang terbaca saat ini.

Dalam setiap kondisinya, program akan menyalakan pin sesuai dengan rentang suhu yang terbaca. Misalnya, jika suhu yang terbaca berada dalam rentang 30 derajat Celsius ke atas, program akan mengatur PD2 dan PD3 untuk menyalakan LED merah dan menyalakan motor kipas. Selain itu, register R16 akan menyimpan nilai 1 untuk memungkinkan LED berkedip dengan memanggil subroutine blink sebanyak lima kali setelah melakukan branching ke label continue.

Di sisi lain, di bagian slave, data yang diterima dari master disimpan dalam register R18. Di slave, kami melakukan inisialisasi perangkat sebagai slave dan menginisialisasi LCD terlebih dahulu dengan memanggil subroutine command_wrt. Subroutine ini berfungsi untuk mengirimkan perintah ke LCD berdasarkan nilai yang tersimpan di R16. Sementara, subroutine yang bertanggung jawab untuk menampilkan data adalah data_wrt. Sumber

datanya berasal dari register yang sama, yaitu R16. Data yang ditampilkan dari DHT11 adalah data suhu dalam bentuk desimal.

Secara keseluruhan flowchart dari program akan terlihat seperti sebagai berikut:



Adapun, langkah-langkahnya adalah:

- 1) Inisialisasi sistem dan perangkat keras.
- 2) Membaca data suhu dari sensor DHT11.
- 3) Menampilkan data suhu pada LCD.
- 4) Mengendalikan LED berdasarkan kondisi suhu:
 - a) Jika suhu di bawah 25°C, LED hijau menyala.
 - b) Jika suhu antara 25°C dan 30°C, LED kuning menyala.
 - c) Jika suhu di atas 30°C, LED merah menyala.
- 5) Mengendalikan motor kipas:

- a) Jika suhu di atas 30°C, motor kipas menyala.
- b) Jika suhu di bawah 30°C, motor kipas mati.

2.3 HARDWARE AND SOFTWARE INTEGRATION

Untuk mengintegrasikan hardware dan software, kami akan memprogram Mikrokontroler ATmega328p menggunakan Bahasa Assembly. Pertama, kami mulai dengan membuat rangkaian menggunakan software 'Proteus' untuk mendapatkan bayangan yang jelas tentang apa yang akan kami buat pada breadboard yang sebenarnya. Kami menggunakan beberapa komponen hardware seperti; Sensor DHT11, 3 LED, dan Motor DC.

Setelah kita membangun rangkaian, kami memprogram menggunakan Arduino IDE untuk mengetahui cara kerja rangkaian tersebut. LED diatur untuk hidup/mati tergantung pada suhu di mana sirkuit berada. Saat suhu di bawah 20 derajat celcius LED hijau akan menyala dan DC Motor akan mati. Kondisi selanjutnya adalah suhu antara 20 derajat Celcius dan 30 derajat Celcius yang akan menyalakan LED kuning dan DC Motor tetap mati. Kondisi terakhir adalah ketika rangkaian mendeteksi suhu di atas 30 derajat Celcius dimana LED merah akan berkedip dan motor akan menyala.

Setelah kode berjalan sesuai dalam Simulasi Proteus, rangkaian sebenarnya kemudian dibuat. Kami memulai pengujian di sirkuit sebenarnya untuk melihat apakah ada kesalahan dan untuk memecahkan masalah-masalah tersebut di dalam sirkuit atau kode itu sendiri. Proses ini meliputi pengujian untuk memastikan bahwa data dari sensor suhu terbaca dengan benar, motor dan LED berfungsi sesuai dengan logika yang telah ditetapkan, dan suhu dapat ditampilkan pada LCD. Setelah itu selesai proyek telah selesai.

CHAPTER 3

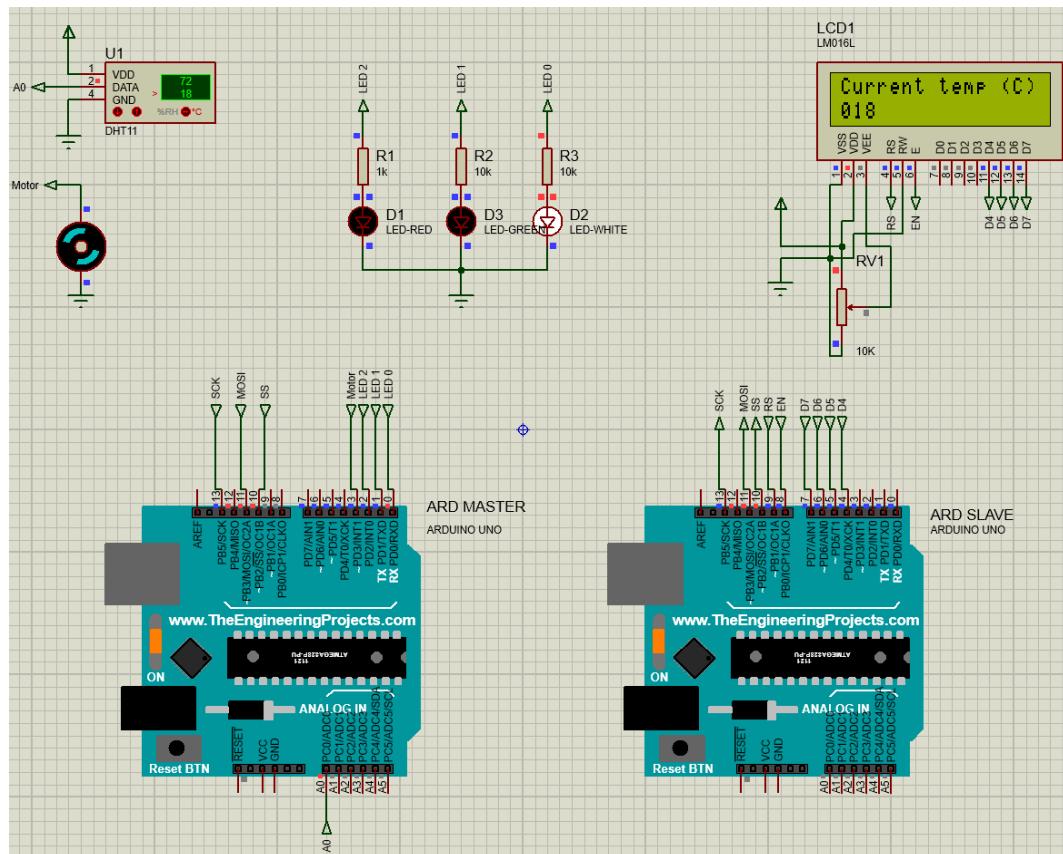
TESTING AND EVALUATION

3.1 TESTING

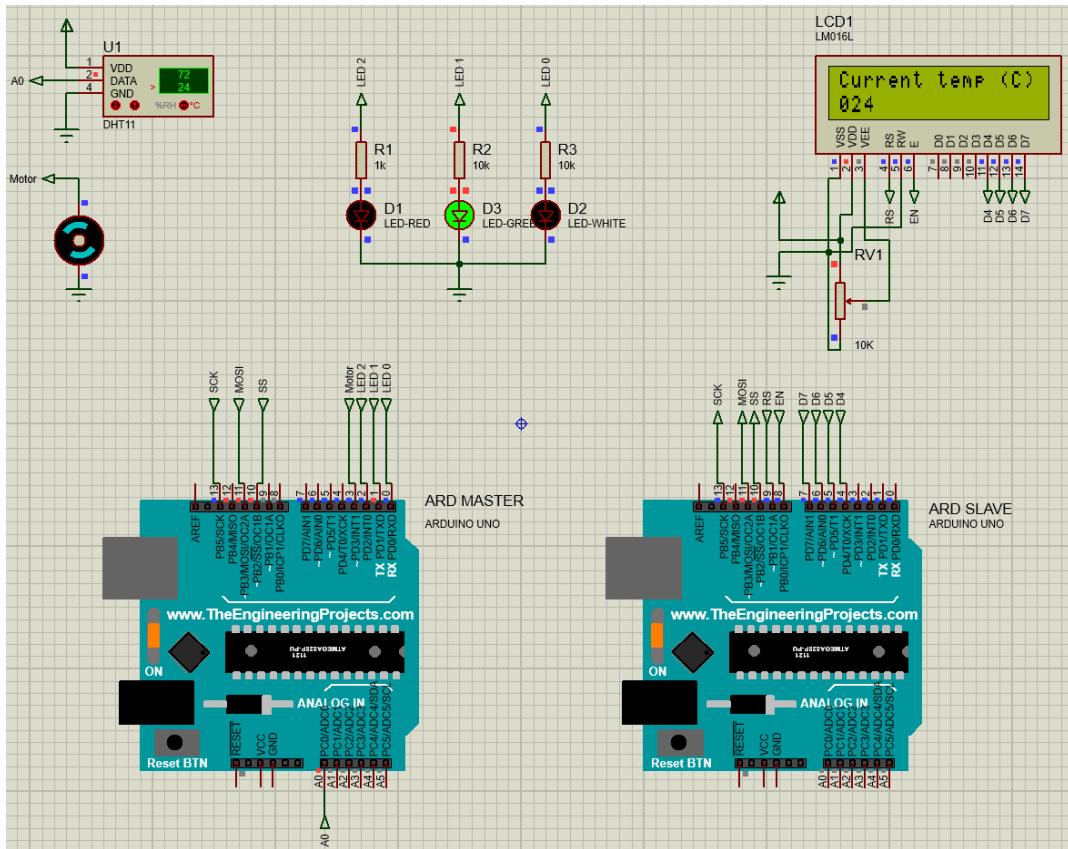
Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja dengan baik sesuai dengan kriteria penerimaan. Setiap komponen diuji secara terpisah sebelum dilakukan pengujian integrasi sistem secara keseluruhan. Uji coba dilakukan dalam kondisi dengan tingkatan panas yang berbeda-beda sesuai dengan yang sudah ditentukan pada program untuk memastikan keandalan dan stabilitas sistem.

Sebelum merangkai rangkaian yang sesungguhnya, kita mencoba untuk melakukan simulasi terlebih dahulu pada proteus. Pengujian dilakukan dengan 3 kondisi, yaitu pada rentang 0 hingga 19 derajat celcius, rentang 20 hingga 29 derajat celcius dan pada rentang 30 derajat celcius hingga ke atas. Berikut adalah hasil simulasi:

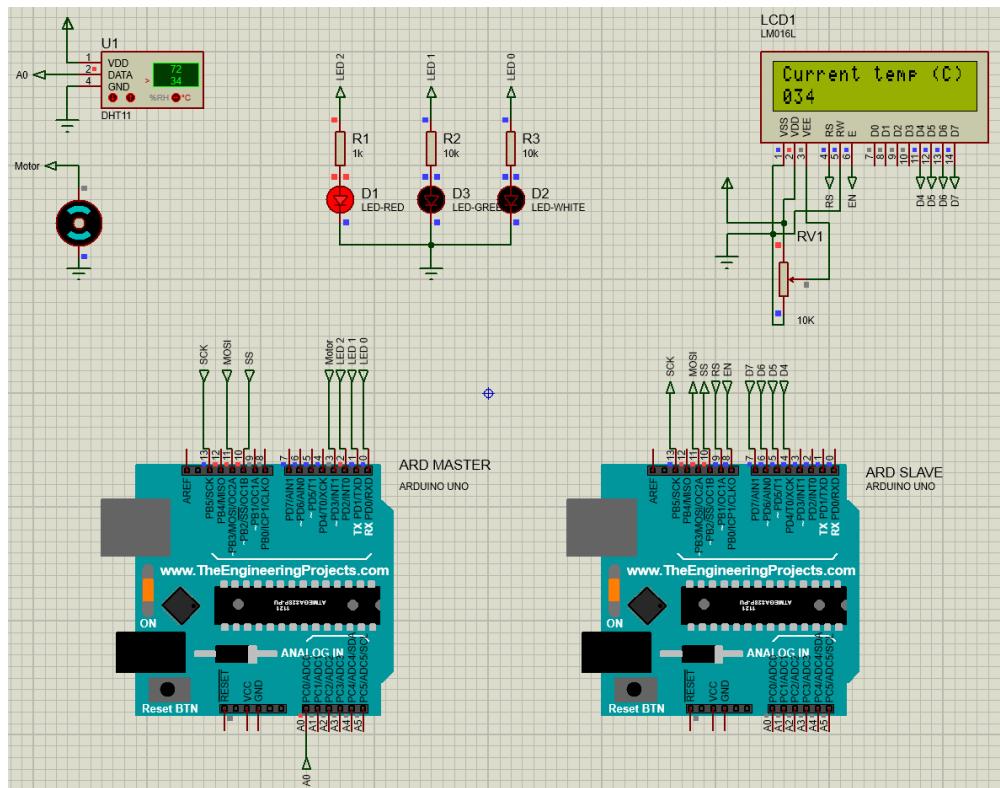
Cold Condition: pada saat input dari DHT11 berada dalam rentang 0 - 19 derajat celcius



Normal Condition: pada saat input dari DHT11 berada dalam rentang 20 - 29 derajat celcius



Hot Condition - pada saat input dari DHT11 berada dalam rentang 30 ke atas derajat celcius



3.2 RESULT

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi suhu dengan baik menggunakan sensor DHT11. Suhu yang terdeteksi ditampilkan pada LCD secara real-time. LED berfungsi sebagai indikator suhu, dengan warna yang berbeda menunjukkan tingkat suhu yang berbeda. Motor DC berfungsi dengan baik untuk menjaga suhu dalam rentang yang optimal.

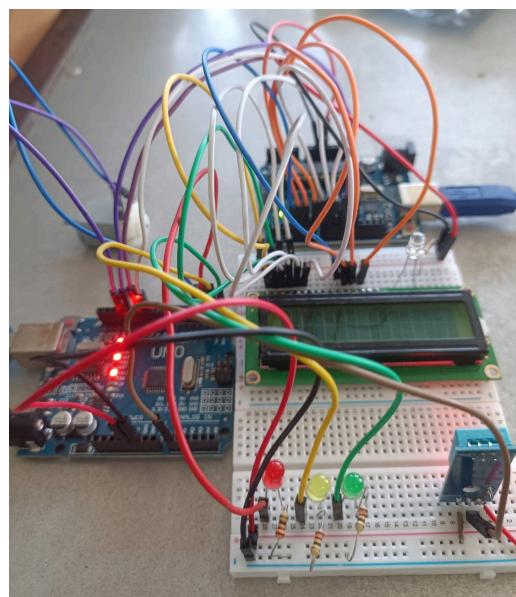


Fig. 1 Tampak Depan

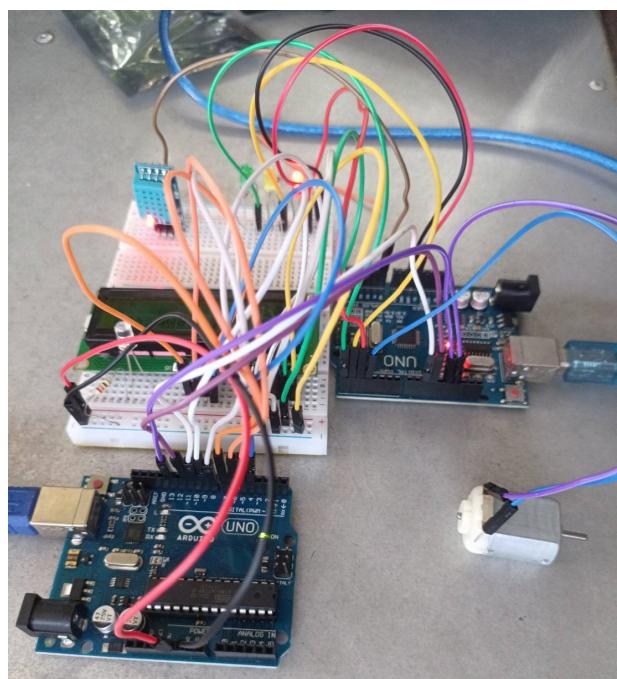


Fig. 2 Tampak Belakang

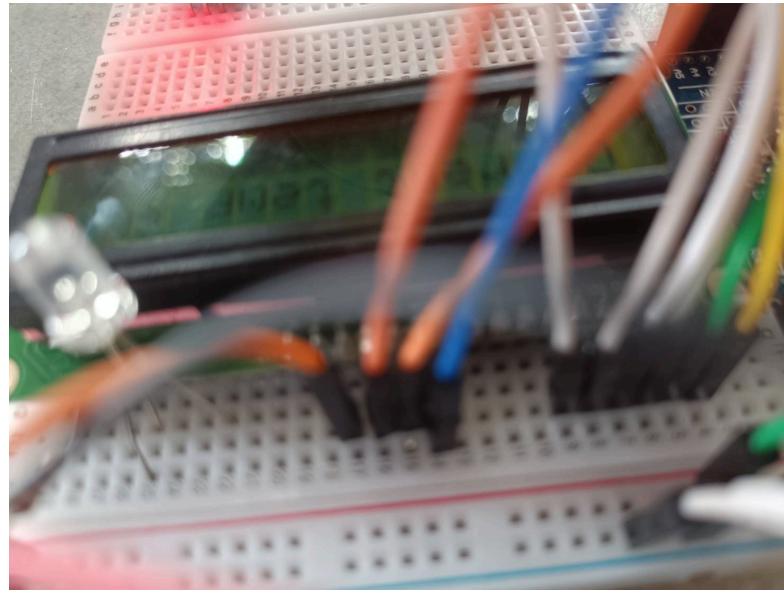


Fig. 3 Hasil pada layar LCD

Dari pengujian tersebut, dapat dibilang bahwa program assembly telah memberikan hasil yang sesuai acceptance criteria: output yang dikeluarkan dalam LCD menunjukan 34 derajat celcius. Ini sesuai dengan informasi suhu pada smartphone pada saat itu. Selain itu, LED merah berkedip selama 5 kali karena berada dalam kondisi hot. Satu hal yang kurang sesuai dengan acceptance criteria adalah motor tidak dapat berjalan langsung jika disambungkan pada ground dan pin PD3 dari PORTD.

3.3 EVALUATION

Sistem bekerja sesuai dengan yang diharapkan, dengan pengecualian satu acceptance criteria yang belum terpenuhi, yaitu motor yang tidak dapat berjalan saat suhu berada dalam rentang panas. Masalah ini kemungkinan disebabkan oleh tegangan yang tidak cukup tinggi yang diberikan pada port D dari Arduino. Asumsi ini terbukti benar ketika kami mencoba menyambungkan motor langsung ke ground dan sumber tegangan 5V dari Arduino, di mana motor dapat menyala dan berjalan secara normal. Hal ini menunjukkan bahwa sumber tegangan dari port D tidak cukup untuk menggerakkan motor, yang mungkin disebabkan oleh keterbatasan arus yang dapat disediakan oleh pin I/O Arduino.

Untuk menyelesaikan masalah ini, kami mempertimbangkan beberapa solusi, seperti menggunakan relay atau transistor untuk meningkatkan tegangan dan arus yang diterima oleh

motor. Dengan menggunakan relay atau transistor, kita dapat memastikan bahwa motor mendapatkan daya yang cukup tanpa membebani pin I/O dari Arduino.

Selebihnya, penggunaan dua buah Arduino Uno untuk pembagian tugas antara master dan slave terbukti sangat efektif dalam menangani beban kerja dan memastikan kinerja yang optimal. Pembagian tugas ini memungkinkan master untuk fokus pada pengambilan dan pemrosesan data dari sensor DHT11 serta mengontrol LED dan motor, sementara slave bertanggung jawab untuk menampilkan data pada LCD. Dengan demikian, setiap Arduino dapat bekerja dengan efisien tanpa ada beban kerja yang berlebihan pada salah satu unit. Sistem ini juga menunjukkan skalabilitas yang baik, di mana fungsi tambahan dapat dengan mudah diintegrasikan tanpa mengganggu operasi keseluruhan.

CHAPTER 4

CONCLUSION

Proyek akhir ini bertujuan untuk mengembangkan solusi pendinginan cerdas bagi pusat data, dengan fokus pada efisiensi energi dan keandalan operasional. Sistem yang kami rancang menggunakan dua buah Arduino Uno yang masing-masing berfungsi sebagai master dan slave. Master bertugas untuk membaca data suhu dari sensor DHT11, mengontrol LED sebagai indikator suhu, dan mengoperasikan motor kipas saat diperlukan. Sementara itu, slave menerima data dari master dan menampilkan informasi suhu pada layar LCD.

Secara keseluruhan, sistem ini bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Sebagian besar acceptance criteria terpenuhi. Ini menunjukkan bahwa desain dan implementasi kami sudah cukup efektif. Penggunaan dua Arduino Uno terbukti sangat efektif dalam pembagian tugas dan menangani beban kerja, memastikan bahwa setiap komponen dapat berfungsi dengan optimal tanpa ada beban kerja yang berlebihan pada salah satu unit. Selain itu, indikator visual menggunakan LED memberikan *feedback* yang jelas tentang kondisi suhu secara real-time.

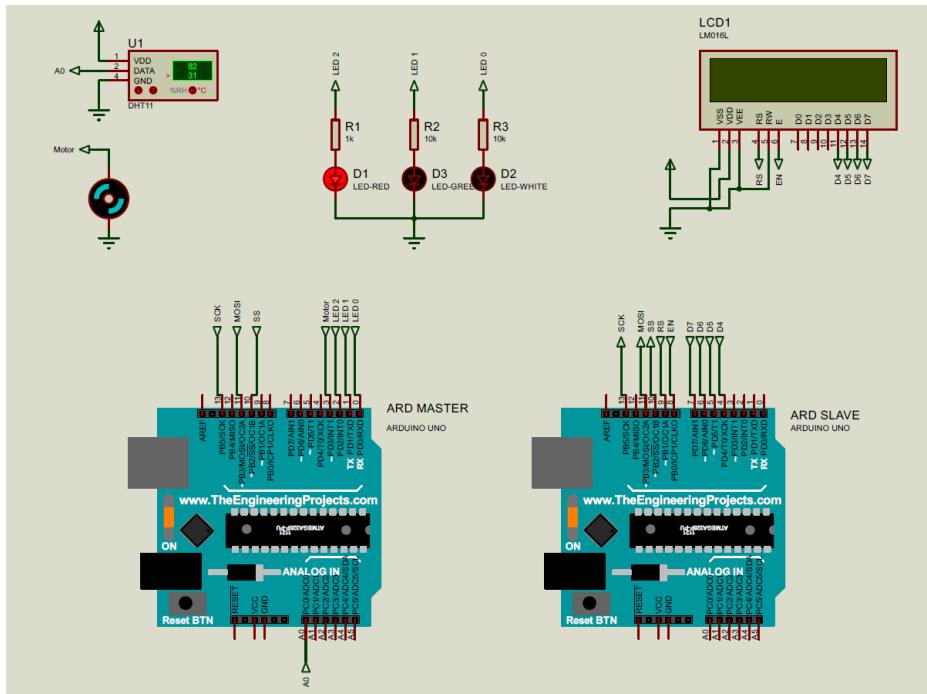
Namun, terdapat satu acceptance criteria yang belum terpenuhi: motor kipas tidak beroperasi saat suhu berada dalam rentang panas. Analisis kami menunjukkan bahwa masalah ini disebabkan oleh tegangan yang tidak cukup tinggi yang diberikan pada port D dari Arduino. Pengujian lebih lanjut menunjukkan bahwa motor dapat berjalan dengan normal saat dihubungkan langsung ke ground dan sumber tegangan 5V dari Arduino, menunjukkan bahwa masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan komponen seperti relay atau transistor untuk meningkatkan tegangan dan arus yang diterima oleh motor.

REFERENCES

- [1] “The Data Center Cooling Market, Latest Global Industry Size Growth Forecast, Trends Report,” MarketsandMarkets. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/data-center-cooling-solutions-market-1038.html> (accessed May 25, 2024).
- [2] “Data Centers 2024 Global Outlook,” www.jll.co.id, Jan. 31, 2024. <https://www.jll.co.id/en/trends-and-insights/research/data-center-outlook> (accessed May 25, 2024).
- [3] Assembly via Arduino (part 19) - DHT11 sensor (2021) YouTube. Available at: https://youtu.be/vnLpzvkCUq8?si=_Msl6ITAPJ-wUXbQ (Accessed: 25 May, 2024).
- [4] Assembly via Arduino (part 5) - Programming LCD (2021) YouTube. Available at: <https://youtu.be/U8OF9N5rULw?si=OttvSEiR6pJxR0jz> (Accessed: 25 May, 2024).
- [5] Assembly via Arduino (part 9) - ADC Decimal Value on LCD (2021) YouTube. Available at: https://youtu.be/wHhLtpEA5ws?si=tEQ3RgWfV2R_odVt (Accessed: 25 May, 2024).
- [6] Tim Asistem Lab Digital 2024, “Modul 8: SPI & I2C,” in Modul Sistem Siber Fisik, Laboratorium Digital, Universitas Indonesia, 2024 (accessed May 1, 2024).

APPENDICES

Appendix A: Project Schematic



Appendix B: Documentation

