

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN KONTROL SIMULATOR
BUILDING AUTOMATION SYSTEM (BAS)
MENGUNAKAN *MICROCONTROLLER* ESP32 UNTUK
PEMBELAJARAN SISTEM KONTROL HVAC**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

DEWA GEDE MARDIANGGA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2024

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN KONTROL SIMULATOR
BUILDING AUTOMATION SYSTEM (BAS)
MENGUNAKAN *MICROCONTROLLER* ESP32 UNTUK
PEMBELAJARAN SISTEM KONTROL HVAC**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

DEWA GEDE MARDIANGGA
NIM. 2015234033

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN KONTROL SIMULATOR *BUILDING AUTOMATION SYSTEM (BAS)* MENGGUNAKAN *MICROCONTROLLER ESP32* UNTUK PEMBELAJARAN SISTEM KONTROL HVAC

Oleh

DEWA GEDE MARDIANGGA
NIM. 2015234033

Diajukan sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Skripsi
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali

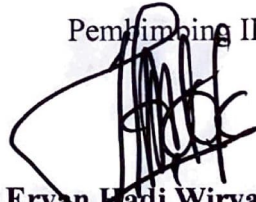
Disetujui Oleh

Pembimbing I



I Nengah Ardita, ST, MT
NIP. 196411301991031004

Pembimbing II



I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, S.T, M.T
NIP. 198207102014041001

Disahkan oleh :

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg.
NIP. 196609241993031003

LEMBAR PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN KONTROL SIMULATOR *BUILDING AUTOMATION SYSTEM (BAS)* MENGGUNAKAN *MICROCONTROLLER ESP32* UNTUK PEMBELAJARAN SISTEM KONTROL HVAC

Oleh

DEWA GEDE MARDIANGGA
NIM. 2015234033

Skripsi ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan diterima untuk dapat
dicetak sebagai Buku Skripsi pada hari/tanggal :
Selasa, 27 Agustus 2024

Tim Penguji

Penguji I : Dr.Eng. IGAB Wirajati, ST, M.Eng
NIP : NIP. 197104151999031002

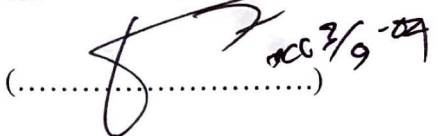
Penguji II : I Wayan Temaja, ST, MT
NIP : NIP. 196810221998031001

Penguji III : I Gede Oka Pujihadi, ST, M.Erg
NIP : 196606181997021001

Tanda Tangan


(.....)


(.....)


(.....) 2024/8/27

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dewa Gede Mardiangga

NIM : 2015234033

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Kontrol Simulator *Building Automation System* (BAS) Menggunakan *Microcontroller* ESP32 Untuk Pembelajaran Sistem Kontrol HVAC

Dengan ini menyatakan bahwa Buku Skripsi ini bebas dari plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam Buku Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Peraturan Mendiknas RI No.17 Tahun 2010 dan Perundang-undangan yang berlaku.

Badung, 27 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan



Dewa Gede Mardiangga

NIM. 2015234033

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan Buku Skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Penulis secara khusus mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Dengan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis pada kesempatan ini menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak I Nyoman Abdi, SE. M.eCom, selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, S.T, M.T, selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Dr. Made Ery Arsana, S.T, M.T, selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas.
5. Bapak I Nengah Ardita, S.T, M.T, selaku dosen pembimbing-1 yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Bapak I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, S.T, M.T, selaku dosen pembimbing-2 yang selalu memberikan dukungan, perhatian,semangat dari awal menjadi mahasiswa hingga saat ini.
7. Segenap dosen dan seluruh staf akademik serta PLP yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta pendidikan pada penulis sehingga dapat menunjang dalam penyelesaian Skripsi ini.
8. Kedua orang tua tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Skripsi ini.
9. Terima kasih banyak untuk kakak/adik yang telah memberikan dukungan serta perhatian kepada penulis.
10. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan Skripsi tahun 2024 yang telah memberikan banyak masukan serta dukungan kepada penulis.
11. Sahabat-sahabat terimakasih telah menjadi sahabat terbaik bagi penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi, serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Skripsi ini.
12. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak bisa peneliti sebutkan satu persatu. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

Semoga Buku Skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca umumnya, peneliti atau penulis, dan khususnya kepada civitas akademik Politeknik Negeri Bali.

Badung, 27 Agustus 2024
Dewa Gede Mardiangga

ABSTRAK

Sistem *Heating, Ventilation, and Air-Conditioning* (HVAC) merupakan teknologi penting untuk mengatur kualitas udara, temperatur, kelembaban, dan kebersihan udara di dalam bangunan. *Building Automation System* (BAS) digunakan untuk mengontrol dan mengoptimalkan kinerja sistem HVAC secara otomatis. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembangunan simulator BAS yang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan merancang perangkat keras dan perangkat lunak untuk sistem kontrol HVAC berbasis ESP32. Data dari sensor temperatur, kelembaban, dan CO₂ digunakan oleh mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan aktuator seperti motor *fan*, pompa, dan servo damper. Hasil pengolahan data tersebut ditampilkan secara *real-time* melalui LCD TFT sebagai antarmuka pengguna.

Hasil penelitian ini mencakup penggunaan sensor temperatur jenis DS18B20, sensor kelembaban DHT22, sensor CO₂ jenis MQ-135, aktuator motor *fan*, pompa dan servo damper. Untuk antarmuka pengguna (HMI) menggunakan 3 buah *push button* dan 1 layar LCD TFT SPI Serial ILI9488. Semua komponen tersebut akan diprogram menggunakan menggunakan *software* Arudino IDE menggunakan bahasa C++. Simulator BAS yang dirancang mampu mengendalikan sistem HVAC secara efisien. Pengujian menunjukkan bahwa ESP32 berhasil menurunkan dan mempertahankan temperatur ruangan serta mengatur damper aliran udara berdasarkan kadar CO₂. Sistem ini memberikan respon yang tepat dan efisien, dengan penggunaan daya yang optimal setelah temperatur *set point* tercapai.

Kata kunci: HVAC, *Building Automation System*, ESP32, mikrokontroler, kontrol otomatis, sensor dan aktuator.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A BUILDING AUTOMATION SYSTEM (BAS) CONTROL SIMULATOR USING ESP32 MICROCONTROLLER FOR HVAC CONTROL SYSTEM LEARNING

ABSTRACT

The Heating, Ventilation, and Air-Conditioning (HVAC) system is important for managing air quality, temperature, humidity, and cleanliness in buildings. A Building Automation System (BAS) is used to automatically control and improve the performance of HVAC systems. This research focuses on creating a BAS simulator using the ESP32 microcontroller as the main controller. The study involves designing hardware and software for an HVAC control system based on the ESP32. Data from temperature, humidity, and CO2 sensors are processed by the ESP32 to control devices like fan motors, pumps, and servo dampers. The results are shown in real-time on a TFT LCD, which serves as the user interface.

The research includes using DS18B20 temperature sensors, DHT22 humidity sensors, an MQ-135 CO2 sensor, along with fan motors, a pump, and servo dampers as the actuators. The user interface (HMI) consists of three push buttons and a TFT LCD SPI Serial ILI9488. All components are programmed using the Arduino IDE software with the C++ programming language. The BAS simulator designed in this study is able to control the HVAC system efficiently. Testing shows that the ESP32 successfully lowers and maintains the room temperature and adjusts the air flow based on CO2 levels. The system responds quickly and efficiently, using power optimally once the desired temperature is reached.

Keywords: HVAC, Building Automation System, ESP32, microcontroller, automatic control, sensors, and actuators.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Buku Skripsi ini yang berjudul “Rancang Bangun Kontrol Simulator *Building Automation System* (BAS) Menggunakan *Microcontroller* ESP32 Untuk Pembelajaran Sistem Kontrol HVAC” tepat pada waktunya. Penyusunan Buku Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk kelulusan program pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

Penulis menyadari Buku Skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai pembelajaran demi penyempurnaan karya-karya ilmiah penulis di masa yang akan datang.

Badung, 27 Agustus 2024

Dewa Gede Mardiangga

DAFTAR ISI

Sampul	i
Halaman Judul.....	ii
Lembar Pengesahan	iii
Lembar Persetujuan.....	iv
Surat Pernyataan Bebas Plagiat.....	v
Ucapan Terima Kasih.....	vi
Abstrak	viii
<i>Abstract</i>	ix
Kata Pengantar	x
Daftar Isi.....	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Lampiran	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.4.1 Tujuan umum.....	3
1.4.2 Tujuan khusus.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.5.1 Manfaat bagi penulis	4
1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali	4
1.5.3 Manfaat bagi pihak umum	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 <i>Heating, Ventilation, and Air-Conditioning</i> (HVAC)	5
2.1.1 Variabel kenyamanan dalam ruangan.....	5
2.1.2 Jenis sistem HVAC.....	7

2.2	<i>Air Handling Unit (AHU)</i>	9
2.2.1	Prinsip kerja AHU	9
2.2.2	Jenis-jenis AHU	10
2.2.3	Komponen-komponen pada AHU	11
2.3	<i>Building Automation System (BAS)</i>	15
2.3.1	Struktur tingkatan pada BAS	17
2.3.2	Komunikasi jaringan	18
2.4	<i>Building Automation System (BAS)</i> pada sistem HVAC	19
2.4.1	Komponen BAS pada sistem HVAC	21
2.4.2	Urutan operasi kontrol pada HVAC	25
2.5	Pengujian Performa BAS pada sistem HVAC	26
2.6	Mikrokontroler ESP32	28
2.7	Arduino IDE	31
2.8	Sensor Temperatur DS18B20	32
2.9	Sensor DHT22	33
2.10	Sensor MQ-135	34
2.11	<i>Motor Driver</i> BTS7960	35
2.12	Motor Servo	36
2.13	LCD TFT SPI Serial ILI9488	37
	BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1	Jenis Penelitian	39
3.1.1	Desain perancangan alat	40
3.1.2	Penempatan alat ukur	40
3.2	Alur Penelitian	42
3.3	Lokasi dan Waktu Penelitian	44
3.4	Penentuan Sumber Data	44
3.5	Sumber Daya Penelitian	45
3.6	Instrumen Penelitian	45
3.7	Prosedur Pengujian	48
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1	Perancangan Sistem Kontrol Simulator BAS	50

4.1.1	Pemilihan <i>field level</i>	51
4.1.2	Pemilihan <i>automation level</i>	62
4.1.3	Pemilihan <i>management level</i>	64
4.1.4	Hasil perancangan keseluruhan level	69
4.2	Algoritma Pemrograman Sistem Kontrol Pada Simulator BAS	73
4.2.1	Program pembacaan sensor DS18B20	74
4.2.2	Program pembacaan sensor DHT22	78
4.2.3	Program pembacaan sensor MQ-135	80
4.2.4	Program sistem kontrol <i>motor driver</i> BTS7960 berdasarkan nilai temperatur	83
4.2.5	Program sistem kontrol servo damper berdasarkan nilai CO2	87
4.3	Hasil Pengujian Kinerja Sistem Kontrol Simulator BAS	93
4.4	Analisa Kinerja Sistem Kontrol Simulator BAS	94
4.4.1	Analisa kinerja respon aktuator <i>fan</i> dan pompa berdasarkan sensor temperatur	95
4.4.2	Analisa kinerja respon aktuator servo berdasarkan sensor CO2	99
BAB V PENUTUP		103
5.1	Kesimpulan	103
5.2	Saran	104
DAFTAR PUSTAKA		106
LAMPIRAN		109

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan ESP32 dengan mikrokontroler lain	31
Tabel 3.1 Waktu penelitian	44
Tabel 3.2 Data pengujian respon aktuator berdasarkan sensor temperatur.....	45
Tabel 3.3 Data pengujian respon aktuator berdasarkan kadar CO2.....	45
Tabel 4.1 Hasil data pengujian respon aktuator servo berdasarkan sensor MQ-135	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	AC Split untuk rumah tangga.....	8
Gambar 2.2	<i>Water-cooled chiller</i>	8
Gambar 2.3	Skematik AHU.....	9
Gambar 2.4	Sistem <i>draw-thru</i>	10
Gambar 2.5	Sistem <i>blow-thru</i>	11
Gambar 2.6	Unit <i>cooling coil</i>	12
Gambar 2.7	Unit <i>heating coil</i>	12
Gambar 2.8	Kipas sentrifugal.....	13
Gambar 2.9	Kipas sentrifugal untuk return air.....	13
Gambar 2.10	Filter AHU.....	14
Gambar 2.11	Damper.....	14
Gambar 2.12	Ruang kontrol BAS.....	15
Gambar 2.13	Topologi jaringan pada BAS.....	16
Gambar 2.14	Struktur tingkatan pada BAS.....	17
Gambar 2.15	Topologi <i>trunk</i> dan <i>daisy chain</i> pada jaringan <i>fieldbus</i>	18
Gambar 2.16	Penerapan BAS untuk sistem HVAC.....	20
Gambar 2.17	<i>Direct digital control (DDC)</i>	21
Gambar 2.18	Aktuator elektrik pada damper.....	23
Gambar 2.19	Sensor temperatur.....	23
Gambar 2.20	Tampilan pada HMI.....	24
Gambar 2.21	Mikrokontroler ESP32.....	28
Gambar 2.22	Bagian-bagian pin <i>out</i> dan pin <i>input</i> ESP32.....	29
Gambar 2.23	<i>Software</i> Arduino IDE.....	32
Gambar 2.24	Sensor temperatur DS18B20.....	33
Gambar 2.25	Sensor kualitas udara MQ-135.....	35
Gambar 2.26	<i>Motor driver</i> BTS7960.....	36
Gambar 2.27	Servo MG996R.....	37
Gambar 2.28	LCD TFT.....	38

Gambar 3.1	Desain perancangan sistem kontrol.....	40
Gambar 3.2	Letak panel sistem kontrol simulator BAS	41
Gambar 3.3	Penempatan alat ukur	41
Gambar 3.4	Alur penelitian.....	43
Gambar 3.5	Multi meter digital.....	46
Gambar 3.6	Thermocouple.....	46
Gambar 3.7	Anemometer	47
Gambar 3.8	Rotameter	47
Gambar 3.9	Busur derajat	48
Gambar 4.1	Desain perancangan sistem kontrol.....	50
Gambar 4.2	Letak sensor temperatur pada ruangan.....	52
Gambar 4.3	Skematik rangkaian sensor DS18B20	53
Gambar 4.4	Letak sensor DHT22	54
Gambar 4.5	Pin VCC, Out, dan GND sensor DHT22	54
Gambar 4.6	Rangkaian sensor DHT22	55
Gambar 4.7	Sensor MQ-135 pada ruangan.....	56
Gambar 4.8	<i>Pinout</i> sensor MQ-135	57
Gambar 4.9	Skematik rangkaian sensor MQ-135	58
Gambar 4.10	Skematik rangkaian servo MG996R	59
Gambar 4.11	Posisi servo pada tiap-tiap damper.....	60
Gambar 4.12	Letak <i>motor driver</i> BTS7960	60
Gambar 4.13	Skematik rangkaian <i>motor driver</i> BTS7960	62
Gambar 4.14	Desain <i>layout</i> PCB	63
Gambar 4.15	Hasil PCB untuk sistem kontrol.....	64
Gambar 4.16	Letak LCD TFT.....	65
Gambar 4.17	Skematik rangkaian LCD TFT.....	66
Gambar 4.18	Skematik rangkaian <i>push button</i>	67
Gambar 4.19	Tampilan kedua <i>slide</i> pada HMI	68
Gambar 4.20	Skematik hasil perancangan sistem kontrol simulator BAS	69
Gambar 4.21	Desain panel box kontrol.....	69
Gambar 4.22	Hasil instalasi panel kontrol	70

Gambar 4.23	Diagram blok algoritma pemrograman kontrol HVAC	73
Gambar 4.24	<i>Library</i> untuk sensor DS18B20	75
Gambar 4.25	Kode program sensor DS18B20 pada <i>void setup</i>	76
Gambar 4.26	Fungsi <i>void bacasuhu</i> untuk pembacaan sensor DS18b20	76
Gambar 4.27	Program menampilkan hasil pembacaan sensor DS18B20.....	77
Gambar 4.28	<i>Library</i> untuk sensor DHT22	78
Gambar 4.29	Kode program untuk sensor DHT22 pada <i>void setup</i>	79
Gambar 4.30	Fungsi <i>void RH</i> untuk pembacaan sensor DHT22	79
Gambar 4.31	<i>Library</i> untuk sensor MQ-135	80
Gambar 4.32	Kode program untuk sensor MQ-135 pada <i>void setup</i>	81
Gambar 4.33	Fungsi <i>void sensorMQ</i> untuk pembacaan sensor MQ-135	82
Gambar 4.34	Deklarasi nilai pin GPIO untuk <i>motor driver</i> BTS7960	83
Gambar 4.35	Variabel <i>setmin</i> , <i>setplus</i> , dan <i>fullspeed</i>	83
Gambar 4.36	Fungsi pemetaan nilai temperatur menjadi nilai PWM.....	84
Gambar 4.37	Kode program untuk <i>motor driver</i> BTS7960 pada <i>void setup</i>	85
Gambar 4.38	Fungsi program kontrol untuk <i>motor driver</i> BTS7960	86
Gambar 4.39	<i>Library</i> dan deklarasi pin GPIO untuk servo	87
Gambar 4.40	Variabel integer untuk program servo.....	88
Gambar 4.41	Fungsi untuk memetakan nilai dari sensor MQ-135 ke nilai posisi servo	89
Gambar 4.42	Fungsi tambahan untuk memetakan nilai dari sensor MQ-135 ke nilai posisi servo	90
Gambar 4.43	Kode program untuk servo pada <i>void setup</i>	91
Gambar 4.44	Fungsi program kontrol untuk servo damper	91
Gambar 4.45	Proses pengujian dan pengambilan data respon aktuator <i>fan</i> dan pompa	93
Gambar 4.46	Proses pengujian dan pengambilan data respon aktuator servo	94
Gambar 4.47	Grafik respon aktuator <i>fan</i> dan temperatur ruangan.....	95
Gambar 4.48	Grafik respon aktuator pompa dan temperatur ruangan.....	96
Gambar 4.49	Grafik daya listrik dan temperatur ruangan.....	98
Gambar 4.50	Grafik respon aktuator servo damper	99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Lembar bimbingan	109
Lampiran 2 : Hasil data pengujian respon aktuator <i>fan</i> dan pompa.....	112
Lampiran 3 : RAB sistem kontrol simulator BAS	113

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem *Heating, Ventilation, and Air-Conditioning* (HVAC) adalah sistem yang digunakan untuk mengatur kualitas udara, temperatur, kelembaban, dan kebersihan udara di dalam ruangan, seperti sebuah industri, perkantoran, mall, maupun gedung-gedung yang membutuhkan perlakuan khusus (Wardana, 2022). Sistem HVAC di dalam bangunan gedung terdiri dari beberapa komponen utama, yang mencakup *cooling tower*, *chill water pump*, *chilled water pump*, *chiller*, serta AHU atau FCU (Hadi Chandra dkk., 2020). Sistem tersebut terintegrasi untuk menghasilkan udara dingin atau panas sesuai dengan kebutuhan.

Salah satu tantangan dalam sistem HVAC adalah bagaimana mengoptimalkan kinerja dan efisiensi sistem dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti beban pendinginan, variasi temperatur luar ruangan, perubahan pola permintaan, dan konsumsi energi. Untuk itu, diperlukan sistem kendali yang dapat mengatur dan mengawasi sistem HVAC secara otomatis, akurat, dan fleksibel. Moralia (2023) menyatakan sistem kendali yang umum digunakan dalam sistem HVAC adalah *Building Automation System* (BAS), yang merupakan sistem yang dapat mengontrol, memantau, dan mengoptimalkan berbagai sistem dan peralatan di dalam gedung, termasuk sistem HVAC.

BAS menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk menghubungkan berbagai komponen sistem HVAC dengan perangkat lunak yang dapat mengolah data dan memberikan perintah sesuai dengan algoritma yang telah ditentukan. BAS dapat memonitor dan mengontrol sistem HVAC secara otomatis melalui sensor, aktuator, dan antarmuka pengguna. BAS juga dapat memberikan informasi dan laporan tentang kondisi dan performa sistem HVAC, sehingga memudahkan proses pemeliharaan dan perbaikan.

Salah satu komponen penting dalam BAS adalah *microcontroller*, yaitu sebuah *chip* berbentuk IC yang memiliki kemampuan untuk menerima sinyal input,

melakukan pengolahan, dan menghasilkan sinyal output sesuai dengan program yang telah diprogramkan di dalamnya (Berlin P.Sitorus and Tahyudin, 2018). *Microcontroller* memiliki kelebihan seperti ukuran yang kecil, harga yang murah, konsumsi daya yang rendah, dan kemampuan komunikasi yang tinggi. Jenis *microcontroller* yang dapat digunakan dalam sistem BAS adalah ESP32, yang merupakan *microcontroller* yang memiliki modul Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi di dalamnya. ESP32 dapat mengirim dan menerima data melalui jaringan internet atau nirkabel, sehingga dapat diakses dari jarak jauh melalui smartphone atau komputer. ESP32 juga memiliki fitur-fitur seperti pin GPIO, pin PWM, dan pin ADC.

Untuk mempelajari sistem kontrol HVAC dengan menggunakan BAS, diperlukan sebuah simulator yang dapat merepresentasikan kondisi nyata dari sistem BAS pada HVAC. Simulator ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa atau praktisi yang ingin memahami prinsip kerja dan karakteristik dari sistem kontrol HVAC. Simulator ini juga dapat digunakan sebagai alat uji coba untuk mengembangkan sistem kontrol HVAC yang lebih optimal.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun Kontrol Simulator *Building Automation System* (BAS) Menggunakan *microcontroller* ESP32 Untuk Pembelajaran Sistem Kontrol HVAC". Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah simulator BAS yang dapat mengontrol sistem HVAC dengan menggunakan *microcontroller* ESP32 sebagai pengendali utama. Penelitian ini juga bertujuan untuk membuat algoritma program pada *microcontroller* ESP32 yang diimplementasikan pada simulator BAS dalam menangani berbagai studi kasus di dalam ruangan yang dibuat sebagai media pembelajaran sistem kontrol HVAC.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal utama yang perlu diselesaikan yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem kontrol untuk simulator BAS yang dapat digunakan untuk pembelajaran sistem kontrol HVAC ?

2. Bagaimana algoritma pemrograman pada *microcontroller* untuk diterapkan pada simulator BAS dalam menyelesaikan berbagai kasus tata udara ?
3. Bagaimana kinerja sistem kontrol simulator BAS pada sistem HVAC ?

1.3 Batasan Masalah

Agar perancangan pembahasan dalam tugas akhir ini tidak terlalu luas dan jauh dari topik yang telah ditentukan maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Sistem kontrol untuk simulator BAS hanya mencakup sistem kontrol pergerakan damper berdasarkan kadar CO₂, dan pergerakan *fan*, dan pompa air dingin berdasarkan input dari temperatur udara.
2. Pada alat ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai kontroler utama.
3. Pada sistem kontrol ini menggunakan respon kontrol *modulating*.
4. Pengujian kinerja sistem dilakukan dengan menggunakan metode simulasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini terdiri atas tujuan umum dan tujuan khusus yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1.4.1 Tujuan umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan dalam Program Pendidikan Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas pada Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan khusus

1. Untuk dapat merancang serta membangun sistem kontrol simulator BAS menggunakan yang dapat digunakan untuk pembelajaran sistem kontrol HVAC.
2. Untuk mengetahui algoritma pemrograman pada *microcontroller* ESP32 untuk diterapkan pada simulator BAS dalam menyelesaikan berbagai kasus dalam tata udara.
3. Untuk mengetahui kinerja fungsional sistem kontrol simulator BAS pada sistem HVAC

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini bagi penulis, bagi institusi Politeknik Negeri Bali dan pihak umum sebagai berikut :

1.5.1 Manfaat bagi penulis

1. Meningkatkan pengetahuan dan keterampilan penulis di bidang sistem kontrol HVAC.
2. Meningkatkan pengetahuan mengenai *equipment* yang diperlukan dalam merancang sistem kontrol HVAC.
3. Mengembangkan kemampuan penulis dalam merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem kontrol HVAC.
4. Menambah portofolio penulis sebagai bekal untuk berkarir di bidang sistem kontrol.

1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali

Bagi perguruan tinggi, kegiatan ini merupakan wujud nyata dari tri dharma perguruan tinggi yang ketiga, kepercayaan dan keyakinan masyarakat akan kemampuan kinerja industri Politeknik Negeri Bali pada rekayasa teknologi juga menjadi semakin kuat. Kedekatan Perguruan Tinggi Politeknik Negeri Bali dengan masyarakat sekitarnya juga semakin erat.

1.5.3 Manfaat bagi pihak umum

1. Memberikan informasi yang bermanfaat bagi mahasiswa dan praktisi yang ingin mempelajari sistem kontrol HVAC.
2. Menjadi bahan referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya terkait dengan sistem kontrol HVAC.
3. Mendorong pengembangan sistem kontrol HVAC yang lebih efisien dan efektif.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada perancangan sistem kontrol simulator *Building Automation System* (BAS) untuk pembelajaran sistem kontrol HVAC ini, terdapat tiga kesimpulan utama yang dapat diambil, yaitu sebagai berikut :

1. Hasil perancangan sistem kontrol simulator BAS menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data dari berbagai sensor dan aktuator dalam sistem HVAC. Mikrokontroler ESP32 mengumpulkan data dari sensor temperatur DS18B20, sensor kelembaban DHT22, dan sensor CO2 MQ-135. Data ini digunakan untuk mengatur aktuator yang terhubung, seperti *motor driver* BTS7960 untuk menggerakkan motor *fan* dan pompa, serta motor servo untuk menggerakkan damper dan mengatur aliran udara masuk, keluar maupun campuran. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan LCD TFT Serial ILI9488 dan 3 *push button* sebagai *Human Machine Interface* (HMI) yang menampilkan informasi *real-time* mengenai temperatur, kelembaban, dan kadar CO2. Dengan demikian, ESP32 mengendalikan komponen sistem HVAC berdasarkan data sensor, sementara LCD TFT menyediakan antarmuka yang *user-friendly* untuk pemantauan dan pengaturan.
2. Algoritma pemrograman untuk sistem kontrol BAS menggunakan ESP32 sebagai kontroler utama dan dibuat dengan *software* Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++. Program ini mengintegrasikan sensor temperatur DS18B20, sensor kelembaban DHT22, sensor gas MQ-135, *motor driver* BTS7960, dan motor servo. Inisialisasi *library*, variabel, dan pin GPIO dilakukan untuk konfigurasi *input* dan *output* sensor serta aktuator. *Motor driver* BTS menggerakkan *fan* dan pompa dengan kecepatan yang diatur menggunakan fungsi “*mapTemperatureToPWM()*” sesuai dengan temperatur yang terdeteksi. Logika kontrol temperatur mengatur kecepatan motor berdasarkan temperatur yang terdeteksi menggunakan fungsi “*if-else*” dan

status variabel “*fullspeed*”. Jika temperatur di bawah atau sama dengan *setpoint* dan “*fullspeed*” bernilai *false*, “*fullspeed*” diatur menjadi *true* dan menjalankan program *modulating*. Jika temperatur lebih tinggi dari *setpoint*, motor berjalan pada kecepatan penuh hingga mencapai *setpoint*. Nilai dari sensor gas MQ-135 digunakan untuk mengontrol posisi servo, dengan pemetaan nilai menggunakan fungsi “*map_MQ135_data_to_Servo()*” dan “*map_MQ135_data_to_Servo_reverse()*”. Servo diatur untuk membuka atau menutup damper berdasarkan konsentrasi gas yang terdeteksi, memastikan respons yang tepat sesuai dengan nilai yang terdeteksi.

3. Kesimpulan dari kinerja sistem kontrol simulator BAS menunjukkan bahwa sistem ini mampu bekerja secara efisien dalam mengatur temperatur ruangan dan kualitas udara. Pada fase awal, sistem beroperasi dengan intensitas tinggi untuk menurunkan temperatur hingga mencapai set point yang diinginkan. Setelah set point tercapai, sistem secara otomatis mengurangi intensitas operasi *fan* dan pompa untuk menjaga stabilitas temperatur, dengan fluktuasi yang minimal. Selain itu, penggunaan daya listrik juga berkurang secara signifikan setelah mencapai set point, menunjukkan efisiensi energi. Respons aktuator servo damper terhadap kadar CO₂ juga sangat baik, memastikan bahwa sistem kontrol simulator BAS dapat mengelola sirkulasi udara segar dan pembuangan udara terkontaminasi dengan optimal, sehingga kualitas udara dalam ruangan tetap terjaga sesuai dengan standar yang ditentukan. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan kinerja yang efektif dan efisien dalam mencapai dan mempertahankan kondisi lingkungan yang diinginkan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan untuk pengembangan selanjutnya, penulis menyampaikan beberapa saran, antara lain :

1. Untuk meningkatkan performa sistem kontrol HVAC pada simulator BAS, perlu dilakukan peningkatan pada komponen *hardware* yang digunakan. Penggunaan sensor dan aktuator dengan akurasi dan presisi yang lebih tinggi sangat dianjurkan. Sensor dengan tingkat akurasi yang lebih baik akan

memberikan data yang lebih tepat tentang kondisi lingkungan, seperti temperatur, kelembaban, dan kadar CO₂. Data yang akurat ini memungkinkan sistem kontrol untuk melakukan penyesuaian yang lebih presisi, sehingga kualitas pengendalian udara dan temperatur dalam ruangan dapat ditingkatkan. Aktuator dengan presisi tinggi juga akan memastikan bahwa perintah yang diberikan oleh kontroler diterjemahkan dengan tepat ke dalam aksi fisik, seperti membuka atau menutup damper, serta mengatur kecepatan fan dan debit pompa.

2. Untuk meningkatkan pengalaman pengguna dan efisiensi sistem, pengembangan *Human Machine Interface* (HMI) yang lebih interaktif sangat diperlukan. Antarmuka yang lebih interaktif dapat dicapai dengan menambahkan fitur seperti grafik historis data, notifikasi, dan kontrol manual melalui layar sentuh atau aplikasi mobile. Ini memungkinkan pengguna untuk lebih mudah memantau dan mengendalikan sistem HVAC, serta memahami tren dan pola dalam data operasional. Selain itu, implementasi kemampuan *remote monitoring* dan kontrol melalui jaringan internet akan memudahkan pemantauan dan pengaturan sistem dari jarak jauh, memberikan fleksibilitas dan responsivitas yang lebih tinggi dalam mengelola kondisi lingkungan ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, M. *et al.* (2021) ‘Analisis Kinerja Heating Ventilating Air Conditioning Building Automation System Pada Laboratorium Listrik’, *Electrices*, 3, pp. 74–81.
- Alyafi, M.A. *et al.* (2022) ‘Pengembangan Trainer Kit Mikrokontroler Nodemcu ESP32 Berbasis Iot Sebagai Media Pembelajaran Pada Mata Pelajaran Pemrograman, Mikroprosesor, Dan Mikrokontroler Di SMK Negeri 1 Sidoarjo’, *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 11, pp. 203–211.
- Anggrawan, A., Hadi, S. and Satria, C. (2022) ‘IoT-Based Garbage Container System Using NodeMCU ESP32 Microcontroller’, *Journal of Advances in Information Technology*, 13(6), pp. 569–577. Terdapat pada : <https://doi.org/10.12720/jait.13.6.569-577>.
- ASHRAE (2012) *2012 ASHRAE handbook: heating, ventilating, and air-conditioning systems and equipment*. ASHRAE.
- BSNI (2001) *Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung*.
- Domingues, P. *et al.* (2016) ‘Building automation systems: Concepts and technology review’, *Computer Standards and Interfaces*, 45, pp. 1–12. Terdapat pada : <https://doi.org/10.1016/j.csi.2015.11.005>.
- Fezari, M. and Dahoud, A. Al (2018) *Integrated Development Environment ‘IDE’ For Arduino Integrated Development Environment ‘IDE’ For Arduino Introduction to Arduino IDE*. Amman, Jordan. Terdapat pada : <https://www.researchgate.net/publication/328615543>.
- Hadi Chandra, W., Alit Swamardika, I.B. and Maharta Pemayun, A.A.G. (2020) ‘Analisis Penggunaan DDC Pada Sistem HVAC Untuk Meningkatkan Penghematan Konsumsi Energi Di Hotel Langham District 8 SCBD Jakarta’, *Jurnal Spektrum*, 7(3), pp. 1–7.
- Hercog, D. *et al.* (2023) ‘Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices’, *Sensors*, 23(15). Terdapat pada : <https://doi.org/10.3390/s23156739>.
- Kensby, J. and Olsson, R. (2012) *Building Automation Systems Design Guidelines for Systems with Complex Requirements*. Chalmers University Of Technology.

- Kusiak, A. and Li, M. (2010) 'Cooling output optimization of an air handling unit', *Applied Energy*, 87(3), pp. 901–909. Terdapat pada : <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.010>.
- Latifa, U. and Saputro, J.S. (2018) 'Perancangan Robot Arm Gripper Berbasis Arduino Uno Menggunakan Antarmuka Labview', *Barometer*, 3(2), pp. 138–141. <https://journal.stekom.ac.id/index.php/elkom/article/download/443/322/> (Accessed: 21 April 2024).
- Lun, Y.H.V. and Tung, S.L.D. (2020) 'Air Handling Unit', in *Green Energy and Technology*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 51–64. Terdapat pada : https://doi.org/10.1007/978-3-030-31387-6_4.
- Manasa, P. and Kumar, J.P. (2018) 'Design and Analysis of Dual System Air Handling Unit', *International Journal of Advanced Technology and Innovative Research*, 10(08), pp. 0932–0940. Terdapat pada : www.ijatir.org.
- Mandarani, P. and Zaini (2015) 'Pengembangan Sistem Monitoring Pada Building Automation System (BAS) Berbasis Web Di Fakultas Teknik Universitas Andalas', *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 4(2).
- Martias (2017) 'Penerapan Dan Penggunaan Alat Ukur Multimeter Pada Pengukuran Komponen Elektronika', *Konferensi Nasional Ilmu Sosial & Teknologi (KNiST)*, pp. 222–226.
- McDowall, R. (2009) *Fundamentals of HVAC Control Systems: SI Edition Hardbound Book*. SI.
- Moralia, A. (2023) *Perancangan Sistem Kendali Pada Plant HVAC Berbasis SCADA*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Muliadi, Imran, A. and Rasul, M. (2020) 'Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32', *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), pp. 73–79.
- Prasetyo, E.A. (2020) *Sensor Suhu DS18B20*, *Edukasi Elektronika*. Terdapat pada : <https://www.edukasielektronika.com/2020/09/sensor-suhu-ds18b20.html> (Accessed: 20 March 2024).
- Puspasari, F. *et al.* (2020) 'Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(1), pp. 40–45. Terdapat pada : <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5717>.
- Ratnasari, A. and Asharhani, I.S. (2021) 'Indoor Air Quality, Thermal Comfort And Ventilation Aspects as Reference on Housing Adaptation During Pandemic', *Jurnal Arsir Universitas Muhammadiyah Palembang*, pp. 24–35.

- Rosa, A.A., Simon, B.A. and Lieanto, K.S. (2020) 'Sistem Pendeteksi Pencemar Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135', *Ultima Computing*, XII(1), pp. 23–28.
- Rusmana, S.F., Falahuddin, M.A. and Pratikto (2022) 'Pengaturan Konsentrasi CO2 Ruang Menggunakan Exhaust Fan Berbasis Inverter Vsd dan Plc', in *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*. Bandung, pp. 239–244.
- Satria, T. (2016) *Renovasi Konsul Sistem Otomasi Bangunan (BAS) Sub-Unit Sistem Pemanas HVAC*. Politeknik Negeri Bandung.
- Seem, J.E. *et al.* (2000) 'A Damper Control System for Preventing Reverse Airflow Through the Exhaust Air Damper of Variable-Air-Volume Air-Handling Units', *HVAC&R Research*, 6(2).
- Simanjorang, P.E., Sabri, M. and Nasution, A.F. (2021) 'Analisa Eksperimental Gaya Potong, Termal Dan Getaran Pada Aktuator Teleskop Galah Pmanen Kelapa Sawit', *Jurnal Dinamis*, 9, pp. 49–57. Terdapat pada : <https://talenta.usu.ac.id/dinamis>.
- Siswanto, Rojikin, I. and Gata, W. (2019) 'Pemanfaatan Sensor Suhu DHT-22, Ultrasonik HC-SR04 Untuk Mengendalikan Kolam Dengan Notifikasi Email', *Jurnal Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi*, 3(3), pp. 544–551. Terdapat pada : <https://www.jurnal.iaii.or.id/index.php/RESTI/article/view/1334> (Accessed: 5 May 2024).
- Berlin P.Sitorus, M.K. and Tahyudin, A. (2018) 'Rancang Bangun Alat Memberi Pakan Ikan Lele Otomatis Berbasis Arduino Uno', *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik LIMIT'S*, 14(1), pp. 1–12.
- Sutrisna, I.P.O. and Atmika, I.G.N.A. (2021) 'Perancangan Air Handling Unit (AHU) Sebagai Energi Alternatif Dalam Penghematan Energi Listrik Pada Pendingin Ruang (Ac)', *Jurnal Bakti Saraswati*, 10(02).
- Talarosha, B. (2005) 'Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan', *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 6(3).
- Wardana, W. (2022) *Perancangan Sistem HVAC Di Central Control Room Building*. Universitas Gadjah Mada.