

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN POLUTAN
UDARA PM2.5 DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN
INTERNET OF THINGS BERPROTOKOL *MESSAGE
QUEUING TELEMETRY TRANSPORT***

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan Oleh:
Sadewa Bagus Rahmamuliawan
19106020024

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2023

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2124/Un.02/DST/PP.00.9/08/2023

Tugas Akhir dengan judul : Rancang Bangun Sistem Pemantauan Polutan Udara PM2.5 Dalam Ruangan Menggunakan Internet Of Things Berprotokol Message Queuing Telemetry Transport

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SADEWA BAGUS RAHMAMULIAWAN
Nomor Induk Mahasiswa : 19106020024
Telah diujikan pada : Rabu, 26 Juli 2023
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 64644ab62e4



Penguji I

Anis Yumarti, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 648b6e551d



Penguji II

Nia Maharani Raharja, M.Eng.
SIGNED

Valid ID: 648b914b5f6



Yogyakarta, 26 Juli 2023
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khatrul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 64db1ca811398

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sadewa Bagus Rahmamuliawan
NIM : 19106020024
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Polutan Udara PM2.5 Dalam Ruangan Menggunakan *Internet Of Things* Berprotokol *Message Queuing Telemetry Transport*" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 18 Juli 2023

Penulis



Sadewa Bagus Rahmamuliawan
NIM. 19106020024

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Sadewa Bagus Rahmawati
NIM : 19106020024
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Pemantauan Polutan Udara PM2.5 Dalam Ruang Menggunakan *Internet Of Things* Berprotokol *Message Queuing Telemetry Transport*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Pembimbing II

Prabu Setyaji, B.Sc., M.Sc.
NIP. 199606260000001301

Yogyakarta, 18 Juli 2023
Pembimbing I

Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
NIP. 197805102005011003

MOTTO

“Sebaik-baiknya manusia adalah yang bermanfaat untuk orang lain”

HR. Ahmad



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

Allah SWT.

Kedua orang tua penulis Almarhum Bapak Wirawan Budi Jatmiko dan Ibu

Widowati Lestari

Mas Iqbal Tawakkal Rahmawan

Mba Eva Vanodya Mutiarahma

Saudara kembar Nakula Bagas Rahmamaulana

Fisika 2019

Study Club Fisika Instrumentasi

Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puja dan puji syukur kepada Allah SWT berkat rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN POLUTAN UDARA PM2.5 DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS BERPROTOKOL MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT” dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafaatnya.

Penulisan skripsi ini merupakan bentuk tanggung jawab penulis untuk menyelesaikan studi yang merupakan salah satu syarat kelulusan. Penulis berharap tulisan ini dapat membawa manfaat dan keberkahan terhadap berbagai macam pihak. Dalam penyusunan serta pelaksanaan tugas akhir ini penulis telah mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, sepatutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, almarhum bapak Wirawan Budi Jatmiko dan Ibu Widowati Lestari. Ketiga saudara penulis, Mas Iqbal, Mba Eva, dan Nakula. Terima kasih telah menemani penulis dalam keadaan keluarga saat senang maupun susah. Terima kasih atas kasih sayang dan doa yang telah diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

4. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
5. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc selaku dosen pendamping akademik dan dosen pembimbing dalam penulisan skripsi ini, terima kasih banyak atas waktu dan kesabaran yang diberikan dalam memberikan bimbingan, nasehat, serta motivasi yang tiada henti-hentinya.
6. Prabu Setyaji, B.SC, M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua dalam penulisan skripsi
7. Teman teman di Nafas: Mas Jalu, Mas Yusa, Mas Edward, Mas Rizky. Terima kasih telah memberi ilmu dan masukan selama penulisan skripsi
8. Orang orang terdekat: Bima, Fiqar, Ashadi, Habib, Hamzah, Danish, Haikal, Bintang, Handi, dan Namira.
9. Teman-teman Fisika 2019
10. *Study Club* Fisika Instrumentasi
11. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN POLUTAN UDARA
PM2.5 DALAM RUANGAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
BERPROTOKOL *MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT***

Sadewa Bagus Rahmamuliawan
19106020024

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji sistem pemantauan polutan udara PM 2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT. Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem. Sistem dirancang menggunakan perangkat lunak Fritzing dan Freecad. Sistem dibuat menggunakan komponen modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan OLED SSD1306 untuk perangkat keras sistem, sedangkan perangkat lunak sistem dibuat menggunakan *Arduino IDE* dan aplikasi *IoT MQTT Panel*. Pengujian sistem meliputi pengujian kesesuaian fungsionalitas sistem, akurasi, dan presisi *repeatability*. Sistem telah berhasil dirancang dan dibuat. Hasil rancangan telah digunakan sebagai acuan pembuatan sistem pemantauan polutan udara PM 2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT. Selain itu, sistem yang dibuat telah berhasil diuji kinerjanya dengan nilai persentase 100% untuk kesesuaian fungsionalitas sistem, 98,9% untuk nilai akurasi, dan 98,7% untuk nilai presisi *repeatability*.

Kata Kunci: IoT MQTT, NodeMCU ESP8266, PM2.5, Sensor PMS7003.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DESIGN AND MANUFACTURED OF INDOOR PM2.5 AIR POLLUTANT MONITORING SYSTEM USING INTERNET OF THINGS WITH MESSAGE QUEUEING TELEMETRY TRANSPORT PROTOCOL

Sadewa Bagus Rahmamuliawan
19106020024

ABSTRACT

This research aimed to design, manufacture, and test a PM2.5 air pollutant monitoring system based on PMS7003 sensor module, NodeMCU ESP8266, and IoT with MQTT protocol. This research was conducted in three stages: designing, manufacturing, and testing the PM2.5 air pollutant monitoring system based on PMS7003 sensor module, NodeMCU ESP8266 and IoT with MQTT protocol. The system was designed using Fritzing and Freecad software. The system was made with PMS7003 sensor module, NodeMCU ESP8266, and OLED SSD1306 for the hardware, while the system software was made using arduino IDE and IoT MQTT Panel. The system testing includes functional suitability, accuracy, and repeatability precision. The system was successfully designed and manufactured. The design results was used as a reference for manufacturing the indoor PM2.5 air pollutant monitoring system using the PMS7003 sensor module, NodeMCU ESP8266, and IoT with MQTT protocol. Futhermore, the manufactured system was succesfully tested with a 100% value of functional suitability, 98,9% of accuracy, and 98,7% of repeatability precision.

Key words: IoT MQTT, NodeMCU ESP8266, PM2.5, PMS7003 Sensor.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Studi Pustaka	10
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1 Kualitas Udara Dalam Ruangan	14
2.2.2 <i>Particulate Matter 2.5</i>	15
2.2.3 Modul Sensor PMS7003.....	18
2.2.4 NodeMCU ESP8266	20
2.2.5 Arduino IDE.....	21
2.2.6 OLED SSD1306.....	23
2.2.7 <i>Internet of Things</i>	24
2.2.8 <i>Message Queuing Telemetry Transport</i>	25
2.2.9 Parameter Uji Sistem	27
2.2.10 Aria Airstest.....	30
2.2.11 Wawasan Islam Tentang Dampak Negatif PM2.5	30
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32

3.1.1 Waktu Penelitian	32
3.1.2 Tempat Penelitian	32
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.2.1 Alat Penelitian	32
3.2.2 Bahan Penelitian	33
3.3 Prosedur Penelitian	34
3.3.1 Perancangan Sistem	34
3.3.2 Pembuatan Sistem	36
3.3.3 Pengujian Sistem	47
3.4 Pembahasan Hasil	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Hasil Penelitian	54
4.1.1 Hasil Perancangan Sistem	54
4.1.2 Hasil Pembuatan Sistem	55
4.1.3 Hasil Pengujian Sistem	57
4.2 Pembahasan	58
4.2.1 Pembahasan Hasil Rancangan dan Pembuatan Sistem	58
4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian Sistem	60
4.2.3 Integrasi-Interkoneksi	64
BAB V KESIMPULAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	71
Lampiran 1: Perancangan sistem	71
Lampiran 2: Pembuatan sistem	72
Lampiran 3: Pengujian sistem	75
CURRICULUM VITAE	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan ukuran PM 2.5 dan PM10 (EPA, 2022)	16
Gambar 2.2 Modul sensor PMS7003	18
Gambar 2. 3 Bagian PMS7003 dan prinsip kerja (Atmotube, 2020)	19
Gambar 2.4 NodeMCU ESP8266 (Indoobot, 2022)	20
Gambar 2.5 tampilan utama Arduino IDE	22
Gambar 2.6 OLED SSD1306 (Fuller, 2022).....	24
Gambar 2.7Komponen utama protokol MQTT (Atmoko, 2019).....	26
Gambar 2.8 Airtest	30
Gambar 3.1 Diagram blok keseluruhan sistem	34
Gambar 3.2 Pengunduhan aplikasi <i>IoT MQTT Panel</i>	44
Gambar 3.3 Penyambungan broker dengan <i>IoT MQTT Panel</i>	45
Gambar 3.4 Penambahan panel.....	45
Gambar 3.5 Pemilihan jenis panel	46
Gambar 3.6 Pengaturan panel	47
Gambar 4.1 Skema rangkaian sistem	54
Gambar 4.2 Rancangan keseluruhan sistem (a) tampak depan (b) tampak belakang	55
Gambar 4.3 Hasil pembuatan rangkaian sistem.....	55
Gambar 4.4 Hasil pembuatan keseluruhan perangkat keras sistem (a) tampak depan (b) tampak belakang.....	56
Gambar 4.5 Hasil pembuatan perangkat lunak sistem.....	56
Gambar Lampiran 1 Proses perancangan rangkaian sistem.....	71
Gambar Lampiran 2 Proses perancangan keseluruhan sistem	71
Gambar Lampiran 3 Alat dan bahan pembuatan sistem	72
Gambar Lampiran 4 alat pengujian sistem.....	72
Gambar Lampiran 5 Pembuatan wadah sistem.....	73
Gambar Lampiran 6 Pembuatan rangkaian dan keseluruhan sistem	73
Gambar Lampiran 7 pembuatan perangkat lunak sistem.....	74
Gambar Lampiran 8 proses pengambilan data.....	75

SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Uraian penelitian terdahulu	14
Tabel 2.2 Batasan paparan PM2.5 selama 24 jam WHO <i>Guideline</i> (IQAir, 2022)	17
Tabel 2.3 Batasan paparan PM2.5 selama 24 jam MENLHK RI (MENLHK RI, 2020)	17
Tabel 2.4 Spesifikasi modul sensor PMS7003.....	20
Tabel 2.5 Spesifikasi OLED SSD1306	24
Tabel 3.1 Alur waktu penelitian.....	32
Tabel 3.2 Alat perancangan sistem	33
Tabel 3.3 Alat pembuatan sistem.....	33
Tabel 3.4 Alat pengujian sistem.....	33
Tabel 3. 5 Bahan pembuatan sistem.....	33
Tabel 3.6 Pengambilan data keberhasilan OLED SSD1306.....	48
Tabel 3.7 Pengambilan data keberhasilan koneksi internet	48
Tabel 3.8 Pengambilan data keberhasilan pengukuran PM2.5	48
Tabel 3.9 Pengambilan data keberhasilan penerimaan data Aplikasi	49
Tabel 3.10 Pengujian keberhasilan sistem	49
Tabel 3.11 Pengambilan data pengujian akurasi sistem.....	50
Tabel 3.12 Akurasi tiap pengambilan data.....	51
Tabel 3.13 Akurasi rata-rata sistem	51
Tabel 3.14 Pengambilan data presisi <i>repeatability</i> sistem.....	52
Tabel 3.15 Presisi <i>repeatability</i> sistem	53
Tabel 4.1 Hasil pengujian kesesuaian fungsionalitas sistem	57
Tabel 4.2 Hasil pengujian akurasi dan presisi <i>repeatability</i> sistem.....	58
Tabel Lampiran 1 Keberhasilan display OLED SSD1306	75
Tabel Lampiran 2 konektivitas modul Wi-Fi ESP8266.....	76
Tabel Lampiran 3 Kesesuaian fungsionalitas pengukuran modul sensor PMS7003	76
Tabel Lampiran 4 Kesesuaian fungsionalitas pengiriman data dengan protokol MQTT	76
Tabel Lampiran 5 pengambilan data pengujian akurasi sistem	77
Tabel Lampiran 6 Akurasi tiap pengambilan data	83
Tabel Lampiran 7 Pengambilan data uji presisi <i>repeatability</i>	85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bernapas merupakan kebutuhan seluruh makhluk hidup, tak terkecuali manusia. Dalam bernapas, udara yang dihirup haruslah bersih. Akan tetapi, kebutuhan akan udara bersih tersebut tidak terpenuhi di Indonesia, karena Indonesia memiliki masalah kualitas udara itu sendiri (Michael dan Qing, 2019). Sumber yang sama menjelaskan bahwa dalam satu dekade terakhir, kualitas udara di Indonesia mengalami penurunan. Studi yang dilakukan Santoso dkk (2020) menunjukkan bahwa polutan udara di beberapa lokasi di Pulau Jawa (Bandung, Jakarta, Semarang, dan Surabaya) pada tahun 2010 hingga 2017 melebihi standar kualitas udara tahunan Indonesia. Dilansir dari *theindonesia.id*, media tersebut menyebutkan bahwa pengukuran kualitas udara di Jakarta pada bulan Juni tahun 2022, kota tersebut menjadi kota paling berpolusi di antara kota-kota dunia lainnya (Bambani, 2022). Fakta-fakta yang telah disebutkan di atas mengindikasikan bahwa udara di Indonesia berpolusi dan telah berlangsung lama.

Salah satu polutan udara yang berbahaya yaitu *particulate matter 2.5* atau disingkat menjadi PM2.5. Partikel PM2.5 ini memiliki diameter sebesar kurang dari 2,5 mikron yang membuatnya hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron (IQAIR, 2022). Penyumbang terbesar polutan ini bersumber dari aktivitas manusia seperti emisi kendaraan, aktivitas industri, pembakaran batu bara, pembakaran biomassa, dan lain-lain (Istiqomah dan Marleni, 2020). Salah satu upaya untuk mengurangi risiko terpaparnya polutan tersebut adalah dengan mengurangi

aktivitas di luar ruangan jika dirasa udara di luar berpolusi dan tetap berada di dalam ruangan.

Aktivitas manusia sebagian besar dilakukan di dalam ruangan, akan tetapi udara yang berada di dalam ruangan tak menjamin untuk terhindar dari keberadaan PM 2.5. Studi yang dilakukan oleh Carrion-Matta dkk (2019) menunjukkan yang PM2.5 yang terdapat di luar ruangan dapat berpenetrasi ke dalam ruangan melalui jendela dan pintu serta celah atau retakan kecil pada ruangan. Dalam penelitiannya konsentrasi PM2.5 di luar ruangan berkisar pada $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di dalam ruangan berkisar pada $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. `Konsentrasi PM2.5 dalam ruangan juga dapat lebih tinggi dari luar ruangan. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Greenstone dkk (2021) yang mengukur PM2.5 dalam ruangan pada ribuan rumah di Delhi, India. Penelitian tersebut menemukan bahwa polutan PM2.5 yang terukur di dalam ruangan melampaui batas standar PM2.5 yang disarankan World Health Organization (WHO) sebesar 20 kali lipat. Hal tersebut terjadi karena PM2.5 dari luar ruangan masuk ke dalam ruangan dan terperangkap, juga terdapat kontributor yang berasal dari dalam ruangan itu sendiri. Aktivitas pembakaran seperti memasak serta konstruksi bangunan yang kurang baik menyebabkan konsentrasi PM2.5 di dalam ruangan menjadi lebih tinggi (Raju, 2020).

Partikel PM2.5 ini berbahaya jika terhirup oleh manusia karena dapat masuk dan dapat mengendap di saluran pernapasan manusia. Ukurannya yang mikroskopis tersebut membuat partikel ini memiliki potensi untuk masuk ke sistem peredaran darah bahkan otak (Zhang dkk, 2018). Beberapa jenis masker kesulitan dalam memfilter PM2.5 ini, saat ini masker N95 adalah masker yang memiliki efisiensi

tinggi dalam memfilter PM2.5 (Arunnant, 2021). Efek jangka pendek yang dirasakan jika terpapar partikel ini dalam konsentrasi yang tinggi adalah iritasi pada tenggorokan, batuk, dan kesulitan bernapas. Jika dihirup secara terus menerus dalam jangka panjang, polutan tersebut dapat meningkatkan risiko terkena penyakit pneumonia (Bahri dkk, 2021). Berdasarkan pemaparan tentang polutan PM2.5 di atas, polutan PM2.5 ini dapat dikategorikan sebagai suatu kemudaratan karena menimbulkan kerugian terhadap kesehatan manusia. Kemudaratan yang mengganggu kemaslahatan manusia ini harus dihilangkan (Djazuli, 2007). Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan kemudaratan ini adalah dengan mengamati atau memantau keberadaannya.

Perintah untuk mengamati dan mempelajari benda alam ciptaan Allah SWT telah disebutkan dalam beberapa ayat Al Quran. Di antara ayat-ayat yang memerintahkan untuk mengamati benda alam ciptaan-Nya adalah Surah Al-Ghasyiyah ayat 17-20.

أَفَلَا يَنْظُرُونَ إِلَى الْإِبِلِ كَيْفَ خُلِقَتْ ۗ ۱۷ وَإِلَى السَّمَاءِ كَيْفَ رُفِعَتْ ۗ ۱۸ وَإِلَى الْجِبَالِ كَيْفَ نُصِبَتْ ۗ ۱۹
وَإِلَى الْأَرْضِ كَيْفَ سُطِحَتْ ۗ ۲۰

Artinya : “Maka tidaklah mereka memperhatikan unta, bagaimana diciptakan? dan langit, bagaimana ditinggikan? dan gunung-gunung bagaimana ditegakkan? Dan bumi bagaimana dihamparkan?”. (Kementerian Agama RI, 2017)

Berdasarkan ayat tersebut, Allah SWT memerintahkan untuk memperhatikan ciptaan-Nya meliputi bagaimana terciptanya unta, bagaimana langit ditinggikan, gunung-gunung ditegakkan, dan bagaimana bumi dihamparkan. Kata “memperhatikan” mengandung makna mempelajari dan meneliti dengan fakta dan metode tertentu sehingga mendapatkan kebenaran dan manfaatnya (Mardeli dkk, 2011). Oleh karena itu, sebagai seorang mukmin mengamati ciptaan-Nya

merupakan bentuk rasa nikmat dan syukur kepada-Nya. Salah satu benda yang dapat diamati dan dipelajari yaitu polutan PM2.5.

Sistem pemantauan kualitas udara standar yang dapat mengukur polutan PM2.5 dengan akurat saat ini dimiliki oleh pemerintah di tiap negara. Pemerintah Indonesia sendiri saat ini memiliki Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) yang tersebar hampir di semua kota di Indonesia. Akan tetapi, jumlah SPKU di tiap kota tersebut tidak sebanding dengan luas wilayah dan jumlah penduduk kota atau dapat dikatakan berjumlah sangat sedikit. Kurangnya unit SPKU ini disebabkan karena harga unit yang tinggi dan perawatannya rumit (Mead dkk, 2013). Selain itu, kualitas udara dapat sangat berbeda hanya dalam jarak 100 meter saja (Greenstone dkk., 2021). Kekurangan lain dari SPKU tersebut adalah hanya menampilkan data pengukuran setiap satu jam sekali (MENLHK RI, 2020) atau dapat dikatakan pengukurannya kurang *real-time*. Solusi yang dapat ditawarkan adalah dengan membuat sistem pemantauan polutan udara khususnya untuk polutan PM2.5 dalam ruangan dengan menggunakan sensor berbiaya rendah serta dengan pengukuran yang lebih *real-time*.

Penelitian tentang pembuatan sistem pemantauan polutan PM2.5 telah dilakukan peneliti sebelumnya. Marques dkk. (2018) telah membuat sistem dengan menggunakan sensor PMS5003 dan metode telemetri *internet web service* dengan berprotokol HTTP. Berdasarkan penelitian tersebut dapat dilakukan optimalisasi pada sensor dan metode telemetri yang digunakan. Pengoptimalan penelitian ini terhadap penelitian yang telah dilakukan Marquez dkk. (2018) yaitu dengan melakukan pengembangan pada sensor, mikrokontroler, serta protokol internet

yang digunakan. Penelitian ini akan menggunakan sensor PMS7003, mikrokontroler NodeMCU ESP8266, dan protokol MQTT.

Particulate Matter Sensor 7003 (PMS7003) merupakan sensor berbasis optik yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi PM_{2.5}. Penelitian Okaem dkk (2022) menunjukkan bahwa sensor ini layak digunakan untuk mengukur konsentrasi PM_{2.5} karena memiliki koefisien korelasi yang kuat dengan alat referensi BAM 1020. Penelitian Badura dkk (2018) juga menyebutkan bahwa sensor ini layak digunakan untuk mengukur PM_{2.5} karena sensor ini memiliki hubungan linearitas dengan alat TOEM yang lebih baik dibandingkan dengan sensor PM_{2.5} lain (sensor SDS011 dan sensor ZH03A) karena sensor PMS7003 memiliki hubungan linearitas dengan alat TOEM sebesar $R^2 = 0.83-0.89$, sedangkan sensor SDS011 sebesar $R^2 = 0.79-0.86$, sensor ZH03A memiliki $R^2 = 0.74-0.81$. Selain performanya yang baik, sensor ini juga memiliki dimensi yang lebih ringkas dibandingkan seri sebelumnya yaitu PMS5003 (Plantower, 2016). Berdasarkan informasi tersebut, sensor PMS7003 ini dijadikan pilihan untuk diinstalasi dalam sistem pemantauan PM_{2.5} dalam ruangan.

NodeMCU ESP8266 merupakan mikrokontroler yang memiliki keunggulan yaitu dapat diintegrasikan dengan internet. Mikrokontroler ini telah banyak digunakan dan teruji dalam berbagai penelitian yang menggunakan internet. Mikrokontroler ini memungkinkan untuk dapat memprogram perangkat sensor dan terhubung dengan Internet. Selain itu, NodeMCU ESP8266 ini juga memiliki harga yang terjangkau dengan tetap memiliki fitur yang mumpuni (Parihar, 2019).

Penggunaan internet dalam kegiatan pengukuran merupakan penerepan dari konsep teknologi *Internet of Things* (IoT). IoT ini merupakan salah satu produk atau konsep unggulan dari teknologi internet. IoT memungkinkan pengguna dapat mengakses data kapanpun dan di manapun karena IoT bekerja dengan komunikasi nirkabel. Selain mengakses data, IoT juga dapat mengumpulkan data dengan jumlah besar dan menganalisisnya (Wilianto dan Kurniawan, 2018). Untuk dapat terhubung, mengirim, dan menerima data dengan berbagai perangkat elektronik, IoT membutuhkan suatu protokol. Salah satu protokol IoT yaitu protokol message queuing telemetry transport (MQTT).

MQTT adalah protokol yang menggunakan komunikasi antar perangkat dengan komunikasi *publish-subscribe*. Penggunaan MQTT ini karena ia merupakan protokol pesan yang sederhana dan ringan serta tetap mampu menangani ribuan client jarak jauh hanya dengan menggunakan satu server. Protokol MQTT memiliki keunggulan dibandingkan protokol lainnya, protokol MQTT mampu mentransfer data lebih cepat dibandingkan protokol HTTP (Atmoko, 2019), Penelitian Pal dkk (2017) menunjukkan bahwa protokol MQTT dapat mengirimkan data sensor dari suatu perangkat ke perangkat lain dengan lebih akurat dibandingkan dengan protokol HTTP.

Keunggulan sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266 dan protokol IoT MQTT tersebut dapat dipadukan untuk membuat sistem pemantauan PM2.5 dalam ruangan. Dengan demikian, konsentrasi PM2.5 menjadi dapat dipantau atau diakses di manapun dan kapanpun. Selain dapat memantau, data hasil pemantauan dapat

dianalisis untuk diambil kesimpulan sebagai langkah evaluasi terhadap kesehatan ruang kerja maupun ruang belajar.

Sebelum sistem pemantauan PM2.5 dalam ruangan dibuat, sistem perlu dirancang. Perancangan diperlukan untuk membuat panduan agar pembuatan sistem menjadi lebih terstruktur. Setelah sistem dirancang, maka sistem dapat dibuat berdasarkan desain yang telah dirancang.

Setelah sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berhasil dibuat, sistem perlu dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dibuat. Jika kinerja sistem telah diketahui, maka didapatkan informasi yang menyatakan sistem pemantauan PM2.5 dalam ruangan tersebut sudah layak digunakan ataukah perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini. Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana hasil rancangan sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berbasis sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT?
2. Bagaimana hasil pembuatan sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan menggunakan sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT?
3. Bagaimana kinerja sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan yang dibuat menggunakan sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT?

Dengan dirumuskannya masalah penelitian, maka masalah pada uraian latar belakang dapat menjadi terfokus sebagaimana telah dirumuskan di atas. Dengan demikian, tujuan penelitian dapat disusun.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, maka dapat disusun tujuan penelitian guna mengatasi permasalahan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT.
2. Membuat sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT.
3. Menguji sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan yang telah dibuat berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT.

Tujuan penelitian yang telah disusun di atas diharapkan dapat menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan. Dalam mengimplementasikannya, penelitian perlu diberi batasan.

1.4 Batasan Penelitian

Dalam mengimplementasikan tujuan penelitian, penelitian perlu diberi batasan agar penelitian dapat terfokus pada permasalahan yang telah dirumuskan. Batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Broker MQTT yang digunakan yaitu broker MQTT Dashboard.
2. Pengujian sistem dilakukan di kotak kedap udara atau *chamber* berukuran 60 x 50 x 60 cm.

3. Parameter uji meliputi kesesuaian fungsionalitas sistem, akurasi, dan presisi *repeatability*.

Batasan-batasan penelitian di atas diharapkan dapat membuat kegiatan penelitian menjadi lebih efektif dan efisien. Dengan begitu, maka dapat diperolehnya manfaat dari penelitian ini.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memperoleh manfaat. Manfaat yang diharapkan tersebut di antara lain adalah:

1. Terciptanya sistem pemantauan polutan udara PM2.5 dalam ruangan yang dapat digunakan untuk ruangan perusahaan, universitas, maupun sekolah.
2. Jika sistem digunakan pada ruang kerja atau belajar yang sebenarnya, maka dapat membantu meminimalisir dampak negatif dari polutan udara PM2.5.
3. Hasil pengukuran dari sistem dapat digunakan sebagai evaluasi kesehatan lingkungan ruang kerja atau belajar.

Dengan terwujudnya manfaat dari penelitian ini, maka diharapkan dapat menjadi inspirasi bagi peneliti selanjutnya. Dengan demikian manfaat penelitian ini dapat berdampak lebih luas.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT. Sistem dirancang menggunakan perangkat lunak Freecad dan Fritzing. Sistem dibuat berdasarkan mengacu pada rancangan yang telah dibuat. Sistem diuji meliputi: kesesuaian fungsionalitas sistem, akurasi, dan presisi repeatability. Berdasarkan hasil penelitian beserta pembahasannya, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT telah berhasil dirancang. Hasil rancangan berupa skema rangkaian dan rancangan keseluruhan sistem.
2. Sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT telah berhasil dibuat. Hasil pembuatan berupa perangkat keras dan perangkat lunak sistem.
3. Sistem pemantauan polutan PM2.5 dalam ruangan berbasis modul sensor PMS7003, NodeMCU ESP8266, dan IoT MQTT telah berhasil diuji. Hasil pengujian menunjukkan sistem yang telah dibuat memiliki tingkat kesesuaian fungsionalitas sistem, akurasi, dan presisi repeatability yang sangat baik karena memiliki tingkat kesesuaian fungsionalitas sistem sebesar 100%, akurasi sebesar 98,9%, serta presisi *repeatability* sebesar 98,7%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kekurangan pada sistem maupun dalam proses pembuatannya. Oleh karena itu, disarankan melakukan hal-hal sebagai berikut

1. Mengkaji lebih dalam untuk mengintegrasikan sistem pengukur PM2.5 dengan subsistem pengukuran polutan udara lainnya. Hal ini dikarenakan keterbatasan biaya dan alat pengujian yang dapat digunakan. Jika saran ini dilakukan, maka sistem pengukur kualitas udara dalam ruangan yang dibuat dapat memiliki informasi polutan yang terkandung dalam udara dengan lebih lengkap.
2. Melakukan pengujian akurasi sistem dengan alat atau sistem pengukur polutan PM2.5 acuan yang lebih standar, hal ini dikarenakan alat acuan yang digunakan belum memiliki sertifikat kalibrasi resmi dari lembaga kalibrasi baik dari pemerintah maupun swasta. Jika saran ini dilakukan. Maka akurasi dari pengujian akurasi yang dilakukan dapat lebih akurat.
3. Melakukan pengujian di dalam ruang kedap udara yang konsentrasi polutan udara PM2.5nya dapat diatur untuk tetap seragam atau stabil. Hal ini disarankan karena ruang kedap udara yang digunakan pada penelitian ini tidak dapat mengatur konsentrasi PM2.5 tersebut, hal ini menyebabkan konsentrasi polutan PM2.5 selalu menurun setiap satu menitnya. Jika saran ini dilakukan, maka pengukuran presisi *repeatability* dapat dilakukan dengan durasi pengambilan data yang lebih lama dan rentang konsentrasi polutan yang lebih luas.
4. Mengintegrasikan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan dengan sistem pembersih udara atau *air purifier*

DAFTAR PUSTAKA

- Alan S, M. dan Langarie, R. (2012). *Measurement and Instrumentation: Theory and Application*. Cambridge: Academic Press.
- Andri Atmoko, R. (2019). *Dasar Implementasi Protokol MQTT Menggunakan Python dan NodeMCU*. Jakarta: Mokosoft Media.
- Aria. (2021). *Healthy Air For A Healthy Life*. <https://aria.tech/aboutus>
- Arjani, I. A. 2011. (2011). Kualitas Udara Dalam Ruang Kerja. *Jurnal Skala Husada*, 8(2), 178–183.
- Arunnart, M. (2021). Efficiency of Commercial Face Masks in PM2.5 Prevention. *Ramathibodi Medical Journal*, 44(2), 11–17. <https://doi.org/10.33165/rmj.2021.44.2.243402>
- Badura, M., Batog, P., Drzeniecka-osiadacz, A., dan Modzel, P. (2018). *Evaluation Of Low-Cost For Ambient PM2.5 Monitoring*. 2018.
- Bahri, Raharjo, M., dan Suhartono, S. (2021). Dampak Polusi Udara Dalam Ruangan Pada Kejadian Kasus Pneumonia: Sebuah Review. *Link*, 17(2), 99–104. <https://doi.org/10.31983/link.v17i2.6833>
- Bambani, A. (2022). *IQ Air Ranks Jakarta Air Quality the Worst in the World*. TheIndonesia.Id. <https://www.theindonesia.id/news/2022/06/17/181500/iq-air-ranks-jakarta-air-quality-the-worst-in-the-world>
- Bennett, J dan Briggs, W. (2019). *Using dan Understanding Mathematics A Quantitative Reasoning Approach 7th Edition*. Boston: Pearson
- Carrion-Matta, A., Kang, C. M., Gaffin, J. M., Hauptman, M., Phipatanakul, W., Koutrakis, P., dan Gold, D. R. (2019). Classroom indoor PM2.5 sources and exposures in inner-city schools. *Environment International*, 131(November 2018), 104968. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104968>
- Dzajuli, A. (2007). *Kaidah-Kaidah Fikih: Kaidah-Kaidah Hukum Islam dalam Menyelesaikan Masalah-Masalah yang Praktis*. Kencana.
- EPA. (n.d.). *Particulate Matter (PM) Basics*. Epa.Gov. Retrieved February 7, 2023, from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Fatah Jln Zainal Abidin Fikri No, M. K. (n.d.). *Konsep Al-Qur'an Tentang Metode Pendidikan Islam*. 1, 1–18.
- Fezari, M., dan Al Zaytoona, A. A. D. (2018). *Integrated Development Environment "IDE" For Arduino Integrated Development Environment "IDE" For Arduino Introduction to Arduino IDE*. October. <https://www.researchgate.net/publication/328615543>
- Greenstone, M., dan Fan, Q. (2019). Indonesia's Worsening Air Quality and its Impact on Life Expectancy. *Air Quality Life Index, March*.
- Ismail, D., Anisah, M., Teknik Elektro, J., Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro, P., Mekatronika, K., Negeri Sriwijaya, P., dan Srijaya Negara Bukit Besar, J. (2022). Perancangan Sarung Tangan Menggunakan Sistem Discovery ID Berbasis Wireless Network untuk Mencegah Kehilangan Anggota dalam Pendakian. *Jurnal Teknika*, 16(x), 1–5.
- ISO/IEC 25010. (2012). *System and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and Software Quality Models*. Canadian Standards Association

- Istiqomah, N. A., dan Marleni, N. N. N. (2020). Particulate air pollution in Indonesia: Quality index, characteristic, and source identification. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 599(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/599/1/012084>
- Kementerian Agama, R. (2017). *Al-Quran Tajwid Warna Terjemah Dan Transliterasi Al-Misbah*. Alfabes.
- Marques, G., Roque Ferreira, C., dan Pitarma, R. (2018). A system based on the internet of things for real-time particle monitoring in buildings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph15040821>
- Mead, M. I. dkk (2013). The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*, 70(5), 186–203.
- Nelvidawati. (2022). Analisa Deskriptif Pengelompokan Data Konsentrasi Pm2,5 Berdasarkan Hari Pada Titik Pemantauan Bundaran Hi Jakarta Untuk Data Februari-Oktober 2021. *JICE (Journal of Infrastructural in Civil Engineering)*, 3(01), 42. <https://doi.org/10.33365/jice.v3i01.1864>
- Novirsa, R., dan Achmadi, U. F. (2012). Analisis Risiko Paparan PM2,5 di Udara Ambien Siang Hari terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen. *Kesmas: National Public Health Journal*, 7(4), 173. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v7i4.52>
- Okaem, T. T. (2022). Pengembangan Instrumen Pengukuran Kualitas Udara Menggunakan Sensor Pms7003. *Megasains*, 13(01), 31–38. <https://doi.org/10.46824/megasains.v13i01.103>
- Pal, S., Ghosh, S., dan Bhattacharya, S. (2017). Study and implementation of environment monitoring system based on MQTT. *Environmental and Earth Sciences Research Journal*, 4(1), 23–28. <https://doi.org/10.18280/eesrj.040105>
- Periyaldi, P., Bramanto, A., dan Wajiansyah, A. (2018). Implementasi Sistem Monitoring Suhu Ruang Server Satnetcom Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Protokol Komunikasi Message Queue Telemetry Transport (Mqtt). *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 6(1), 23. <https://doi.org/10.32487/jtt.v6i1.435>
- Pui, D. Y. H., Chen, S. C., dan Zuo, Z. (2014). PM2.5 in China: Measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation. *Particuology*, 13(1), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2013.11.001>
- Putri, E. P. D. (2012). Konsentrasi PM2.5 Di Udara dalam Ruang dan Penurunan Fungsi Paru Pada Orang Dewasa di Sekitar Kawasan Industri Pulo Gadung Jakarta Timur Tahun 2012. In *Pm, Konse*. [http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20319881-S-PDF-Eky Pramitha Dwi Putri.pdf](http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20319881-S-PDF-Eky%20Pramitha%20Dwi%20Putri.pdf)
- Raju, S., Siddharthan, T., dan McCormack, M. C. (2020). Indoor Air Pollution and Respiratory Health. *Clinics in Chest Medicine*, 41(4), 825–843. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2020.08.014>
- Riyanto. (2014). *Validasi dan Verifikasi Metode Uji*. Yogyakarta: Deepublish.
- Santoso dkk (2020). Assessment of urban air quality in Indonesia. *Aerosol and Air*

- Quality Research*, 20(10), 2142–2158.
<https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.09.0451>
- Sharm, P. (2021). Internet of Things and Blockchain. *Blockchain for Business: How It Works and Creates Value*, 6(6), 295–335.
<https://doi.org/10.1002/9781119711063.ch13>
- Siagian, L. J. (2018). *Otomatisasi Pengujian Perangkat Lunak: Software Test Automation*. Yogyakarta: Deepublish
- Tjandra Yoga, A. (1992). *Polusi Udara dan Kesehatan*. Jakarta: Arcan.
- Wahyu Siti Ulam Sari, Gigih Priyandoko, dan Dedi Usman Effendy. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Ruang Isolasi Covid-19 Berbasis Android Menggunakan Sensor Sharp Gp2Y1010Au0F. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 3(02), 1–11. <https://doi.org/10.31328/jasee.v3i02.204>
- WHO. (2000). *Air quality guidelines for Europe* (2nd ed.). WHO.
- WHO. (2010). *WHO Guidelines For Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. WHO.
- Wilianto, dan Kurniawan, A. (2018). Sejarah , Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things. *Matrix*, 8(2), 36–41.
- Wu, L., Pa, N. C., Abdullah, R., Rahman, W. N. A., dan Tee, M. (2016). Exploring functional and non-functional requirements of social media on knowledge sharing. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 93(2), 595–605.
- Yudhanto, Y., dan Azis, A. (2019). *Pengantar Teknologi Internet of Things*. UNS Press