

**SISTEM MONITORING RUANG RAWAT INAP RUMAH
SAKIT BERBASIS IOT SEBAGAI BAGIAN DARI
*SMART HOSPITAL***

(Tesis)

Oleh:

Muhammad Ferdillah Ghalib

2225031017



**MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

IoT-Based Inpatient Room Monitoring System as Part of a Smart Hospital

By
Muhammad Ferdillah Ghalib

The implementation of Internet of Things (IoT) technology in hospital environments has become a critical component in the development of smart hospitals. This research aims to design and implement a real-time inpatient room monitoring system based on IoT, capable of continuously tracking environmental conditions. The system integrates multiple sensors, including temperature, humidity, light intensity, carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), and ultrasonic sensors to detect the number of people in the room. All data are transmitted to the *ThingsBoard* platform via Wi-Fi using the ESP32 microcontroller and are visualized in real-time through a web-based user interface. Sensor calibration was conducted using linear regression to ensure high measurement accuracy. Network performance tests were also carried out to assess connectivity quality between nodes, focusing on parameters such as throughput, delay, and packet loss.

Test results demonstrated that the system was capable of detecting and transmitting environmental data with high accuracy, while providing responsive and informative visualizations. The system successfully maintained stable connectivity over distances of up to 12 meters, achieving throughput values of 135,545.9 to 165,887.9 *Bytes*. Meanwhile, throughout the packet loss test sessions, no data was lost during transmission. Therefore, both values fall into the "Perfect" category. This demonstrates that the network is capable of transmitting data very quickly and stably, making it highly suitable for real-time IoT-based monitoring needs. The system is also capable of counting people in rooms. This system implementation is considered effective in supporting hospital operational efficiency, improving patient comfort, and providing early warning of environmental risks that could impact patient condition.

Keywords: IoT, inpatient room, ESP32, *ThingsBoard*, smart hospital, environmental monitoring, linear regression, network performance.

ABSTRAK

SISTEM MONITORING RUANG RAWAT INAP RUMAH SAKIT BERBASIS IOT SEBAGAI BAGIAN DARI *SMART HOSPITAL*

Oleh

Muhammad Ferdillah Ghalib

Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) di lingkungan rumah sakit telah menjadi bagian penting dalam pengembangan konsep *smart hospital*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring ruang rawat inap berbasis IoT yang mampu memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Sistem ini mengintegrasikan beberapa sensor, termasuk sensor suhu, kelembapan, intensitas cahaya, karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi jumlah orang di dalam ruangan. Seluruh data dikirimkan ke platform ThingsBoard melalui koneksi Wi-Fi menggunakan mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan secara *real-time* dalam antarmuka web. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan metode regresi linier untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor. Selain itu, uji kinerja jaringan dilakukan untuk mengevaluasi kualitas konektivitas antar *node*, mencakup parameter *throughput*, *delay*, dan *packet loss*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan mengirimkan data lingkungan dengan akurasi tinggi, serta memberikan visualisasi yang responsif dan informatif. Sistem berhasil menjaga konektivitas stabil dalam jarak hingga 12 meter, nilai *throughput* yang diperoleh 135.545,9 hingga 165.887,9 Bytes. Sementara itu, seluruh sesi pengujian nilai *packet loss* tidak terdapat kehilangan data selama proses transmisi berlangsung. Dengan demikian, kedua nilai ini berada pada kategori “*Perfect*”, Hal ini menunjukkan bahwa jaringan mampu mengirimkan data dengan sangat cepat dan stabil, sehingga sangat sesuai untuk kebutuhan pemantauan secara *real time* berbasis IoT. Sistem juga mampu menghitung orang dalam ruangan. Implementasi sistem ini dinilai efektif dalam mendukung efisiensi operasional rumah sakit, meningkatkan kenyamanan pasien, serta memberikan peringatan dini terhadap risiko lingkungan yang dapat mempengaruhi kondisi pasien.

Kata Kunci: IoT, ruang rawat inap, ESP32, ThingsBoard, *smart hospital*, monitoring lingkungan, regresi linier, kualitas jaringan.

**SISTEM MONITORING RUANG RAWAT INAP RUMAH
SAKIT BERBASIS IOT SEBAGAI BAGIAN DARI
*SMART HOSPITAL***

Oleh:

**Muhammad Ferdillah Ghalib
2225031017**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
Magister Teknik

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Tesis : **Sistem Monitoring Ruang Rawat Inap Rumah
Sakit Berbasis IoT sebagai Bagian dari *Smart
Hospital***

Nama Mahasiswa : **Muhammad Ferdillah Ghalib**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2225031017

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

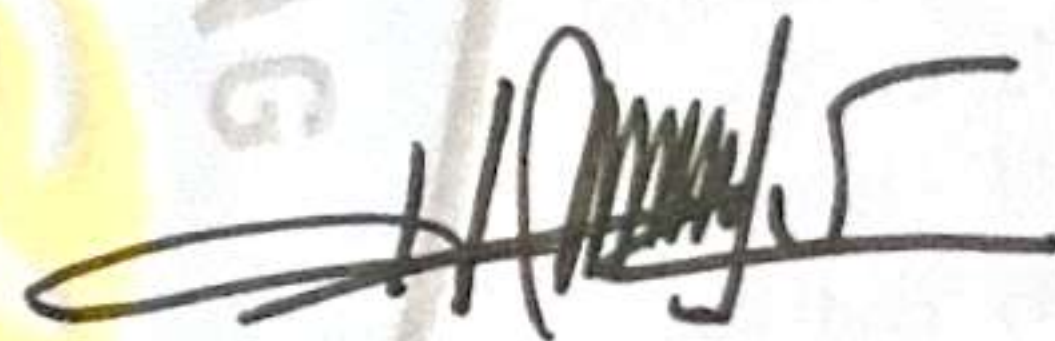
Pembimbing I

Pembimbing II



Misfa Susanto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197105251999031001



Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.

NIP. 197310041998032001

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro



Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.

NIP. 196510211995122001

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji

Ketua Komisi Penguji
(Pembimbing I)

: **Misfa Susanto, S.T., M.T., Ph.D.**

Sekretaris Komisi Penguji
(Pembimbing II)

: **Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.**

Penguji

Anggota Komisi Penguji
(Penguji I)

: **Dr. Eng. Ageng S. R., S.T., M.T.**

Anggota Komisi Penguji
(Penguji II)

: **Dr. Eng. F.X Arianto S., S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. J

NIP. 197509282001121001

3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si

NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi :

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dan Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya hasil orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Tesis dengan judul “SISTEM MONITORING RUANG RAWAT INAP RUMAH SAKIT BERBASIS IOT SEBAGAI BAGIAN DARI SMART HOSPITAL” dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu:

1. Dr. Misfa Susanto, S.T., M.Sc.
2. Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/Ibu Dosen Program Studi MTE Universitas Lampung yang banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 11 Agustus 2025



Muhammad Ferdillah Ghalib

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Ferdillah Ghalib, penulis laporan tesis ini dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 7 Februari 1999, putra ketiga dari pasangan Bapak Ubaidillah dan Ibu Lisdia. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2011, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTsN 1 Tanjung Karang pada tahun 2014, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Kebangsaan pada tahun 2017. Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Lampung pada Program Studi Teknik Elektro pada tahun 2017.

Selama menimba ilmu di Universitas Lampung penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan internal kampus antara lain yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung dan Komunitas Kreativitas Mahasiswa. Selama berkegiatan organisasi penulis aktif dalam kegiatan HIMATRO dan berbagai ajang perlombaan khususnya pada perlombaan Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE).

Pada tahun 2022, penulis menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro dengan menulis sebuah skripsi yang berjudul “IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI *FUZZY LOGIC* PADA *BOOST CONVERTER* UNTUK PENGEKASAN BATERAI *LITHIUM ION*”.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro Universitas Lampung. Pada Tahun 2023, penulis melakukan penelitian pada bidang mikrokontroler dengan judul “SISTEM MONITORING RUANG RAWAT INAP RUMAH SAKIT BERBASIS IOT SEBAGAI BAGIAN DARI SMART HOSPITAL” dibawah bimbingan Bapak Misfah Susanto, S.T., M.T., Ph.D. dan Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.

Motto dan Persembahan

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal itu baik bagimu dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu buruk bagimu...” (QS. Al-Baqarah:216)

“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), sesungguhnya azab-Ku benar-benar sangat keras” (QS. Ibrahim:7)

“The Best Lesson You Will Learn In Engineering Is Not Mathematics Or Science. It’s The Mindset That, No Matter How Difficult The Situation Is, Giving Up Is Not An Option”

“College is a serious matter. It’s a major turning point in your life. Because it’s either you become an engineer, or you just graduate engineering”

*Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah kepada Allah SWT.
yang telah memberikan rahmat dan karunianya. Shalawat serta salam kita
lampirkan kepada Nabi Muhammad SAW. Yang telah membawa kita dari
zaman kebodohan ke zaman penuh dengan ilmu pengetahuan dan
Kupersembahkan karya kecilku ini kepada:*

*Kedua orang tuaku, Mama Lisdia dan Almarhum papa Ubaidillah.
Karya ini kupersembahkan sebagai tanda bukti sayang dan cinta yang tiada
terhingga kepada mama dan papa, terima kasihku atas segala sesuatu yang
selalu kalian usahakan untuk diriku.*

*Terima kasih yang tak terhingga untuk segala bentuk kasih sayang dan
perjuangan kalian yang senantiasa tercurah.*

*Saudara dan keluarga besarku, terutama kakak, mbak, adikku serta semua
keluarga yang berperan dalam berprosesnya diriku.*

Terima kasih banyak untuk do'a dan dukungannya selama ini.

*Para pengajar sebagai tanda hormat ku, yang selalu membimbing,
mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis maupun non
akademis. Terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini.*

*Teman-temanku Tercinta, yang selalu membantu, memberikan semangat,
mendukung menuju keberhasilan serta berbagi cerita suka duka dalam keluh
kesah. Terima kasih selalu ada dan menemani dengan setulus hati.*

*Serta kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,
semoga dapat berguna di kemudian hari.*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan laporan Tesis yang berjudul “Sistem Monitoring Ruang Rawat Inap Berbasis IoT Sebagai Bagian Dari *Smart Hospital*” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan Tesis ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister S2 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak berupa bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi. Oleh karena itu dengan sepuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtuaku, Mama dan Almarhum Papa atas segala curahan kasih sayang, doa, dan usaha sehingga penulis mampu menyelesaikan Tesis dan mendapat gelar Magister. Terimakasih telah menjadi orangtua sempurna yang memberikan kebahagiaan untuk penulis, sehat selalu dan panjang umur Mamaku tercinta.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., i.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung.

7. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama tesis yang telah memberikan saran, kritikan, pengarahan, bimbingan, dan memotivasi dalam penyelesaian tesis ini. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
8. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran, kritikan, pengarahan, bimbingan, dan motivasi bagi penulis hingga mampu menyelesaikan tesis ini. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan tersebut dapat berguna di kemudian hari.
9. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo Repelianto, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan saran, kritikan dan ide pemikiran yang memotivasi dalam penyelesaian tesis ini. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
10. Bapak Dr. Eng. F.X. Arianto Setyawan, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran, kritikan dan ide pemikiran yang memotivasi dalam penyelesaian tesis ini. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
11. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Elektro Universitas Lampung, atas semua ilmu yang telah diberikan selama masa studi. Semoga dapat menjadi bekal dan acuan untuk terus berkembang di masa depan
12. Kakak Entik, Mba Bella, Abel, Kak Roy, Kak Aboy serta tidak terlupakan Kakak Asraf dan Adek Diba yang senantiasa memotivasi, menemani, menghibur, dan mendengarkan keluh kesah penulis.
13. Bunda, Pakpo, Uwak, Bapak Usman serta keluarga besar M. Fabil Yasil yang tidak penulis ucapkan satu-persatu.
14. Teman-teman Aeroteam Lampung, Om Agus, Om tanto, Jona, Sandy, Wayan, Yudha dan semuanya yang telah membantu, memotivasi, dukungan serta mendoakan.
15. Seluruh Team DnD Garage yang selalu menemani dan memberikan canda tawa serta pelipur lara selama masa perkuliahan penulis. Terimakasih Uling, Pinka, Ara, Yudi, Alip, Didit, Gusti, Bayu, Rafli dan Bonai.
16. RCKD GANK yang selalu menemani proses penulis, memberikan dukungan, motivasi dan menjadi tempat keluh kesah, serta memberikan semangat yang

luar biasa sehingga dapat terselesaikan tesis penulis. Terimakasih Kak Yudi, Mba Vivi, Mba Tiya, Mba Sora, Kak Ifan dan Kak Riskima.

17. Seluruh teman-teman Program Studi Magister Teknik Elektro UNILA Angkatan 2022 untuk kebersamaan yang telah dijalani, tiada kata yang bisa penulis utarakan untuk mengungkapkan perasaan senang dan bangga menjadi bagian dari Angkatan 2022.
18. HIRO 17 Serta anak-anak Emak Farida di Kampus atas kebersamaan selama menjalani hari-hari perkuliahan penulis.
19. Abang Perdana Agung Nugraha yang mendengarkan keluh kesah penulis dan memberi masukan dari setiap masalah.
20. Dan yang terakhir, kepada diri sendiri Muhammad Ferdillah Ghalib. Terima kasih sudah bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap memilih berusaha dan merayakan dirimu sendiri sampai di titik ini, walau sering kali merasa putus asa atas apa yang diusahakan dan apa yang belum tercapai, namun terima kasih tetap menjadi manusia yang selalu mau berusaha dan selalu mencoba. Terima kasih karena memutuskan tidak menyerah sesulit apapun proses penyusunan Tesis dan telah menyelesaikannya sebaik dan semaksimal mungkin, walaupun terkesan lambat tapi ini merupakan pencapaian yang patut dirayakan untuk diri sendiri. Berbahagialah selalu dimanapun berada, apapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi isi maupun cara penyajiannya. Oleh karena itu, Penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata sedikit harapan penulis semoga karya sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin Allahumma Aamiin.

Bandar Lampung, Agustus 2025

Penulis,

Muhammad Ferdillah Ghalib

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Hipotesis.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Microcontroller ESP32	10
2.2.1 Sensor Karbon Dioksida	13
2.2.2 Sensor Karbon Monoksida.....	15
2.2.4 Sensor Suhu.....	16
2.2.5 Sensor Kelembapan.....	18
2.2.6 Sensor Ultrasonik	19
2.3 Kalibrasi Sensor	21
2.4 Monitoring Ruangan	23
2.4.1 Wireless Sensor Network (WSN).....	24
2.4.2 Metode Pengiriman Data pada WSN	26
2.4.3 Analisis <i>Quality of Services</i> (QoS).....	28
2.4.4 Received Signal Strength Indicator (RSSI).....	31
2.4.5 Wireshark	33
2.4.6 ThingsBoard.....	36
2.4.7 <i>Iperf</i> atau <i>Jperf</i>	36
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	38
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	38
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	38
3.3 Spesifikasi Komponen	38

3.5 Metode Penelitian.....	39
3.6 Perancangan Model.....	46
3.7 Kalibrasi Menggunakan Regresi Linier	49
3.8 Pengujian Aspek Jaringan	51
Skema Percobaan Ke-1:	52
Skema Percobaan Ke-2:	53
3.9 Desain Antarmuka Pengguna (<i>User interface</i>)	55
IV. PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1 Implementasi Sistem	57
4.1.1 Pemasangan dan Aktivasi Perangkat.....	57
4.1.2 Konfigurasi dan Diagram Sistem.....	59
4.2 Kalibrasi Sensor	60
4.2.1 Regresi Linier.....	60
4.2.2 Penerapan Metode Regresi dan Hasil Pengukuran	61
4.3. Hasil Monitoring	66
4.3.1 Suhu Ruangan	67
4.3.2 Kelembapan Ruangan	67
4.3.3 Kadar CO (Karbon Monoksida).....	68
4.3.4 Kadar CO ₂ (Karbon Dioksida)	69
4.3.5 Intensitas Cahaya Ruangan	69
4.4 Validasi Fungsi Deteksi Masuk/Keluar	70
4.5 Uji Kinerja Jaringan	72
4.5.1 Analisis RSSI Berdasarkan Jarak	72
4.5.2 Penggunaan Wireshark dan Jperf.....	76
4.5.3 Evaluasi Kualitas Jaringan	78
4.6 Visualisasi Monitoring	82
4.6.1 Grafik Data Historis dan Tampilan <i>Real-Time</i>	82
V. KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran.....	85
Daftar Pustaka	87
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Microcontroller ESP32 [16].	12
Gambar 2. 2 Sensor MQ-135 [18].	14
Gambar 2. 3 Sensor MQ-7 [18].	16
Gambar 2. 4 Sensor DS18B20 [19].	18
Gambar 2. 5 Sensor DHT 22 [18].	19
Gambar 2. 6 Sensor Ultrasonik [19].	21
Gambar 2. 7 Contoh proses pengumpulan data di WSN [26].	25
Gambar 2. 8 Pengiriman data WSN dengan metode <i>Single Hop</i> .	26
Gambar 2. 9 Pengiriman data WSN dengan metode <i>Multi Hop</i> .	27
Gambar 2. 10 Pengiriman data WSN dengan metode <i>Clustering</i> .	28
Gambar 2. 11 <i>Phases of packet analysis</i> [30].	34
Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian.	40
Gambar 3. 2 Diagram blok node.	43
Gambar 3. 3 Arsitektur Sistem	44
Gambar 3. 4 Diagram alir program	45
Gambar 3. 5 Desain <i>Node Sensor</i> .	46
Gambar 3. 6 Desain Cover Alat.	47
Gambar 3. 7 Desain Peletakan Sensor Ultrasonik.	48
Gambar 3. 8 Desain Peletakan Sensor Pada Salah Satu Sisi Pintu.	48
Gambar 3. 9 Diagram alir proses kalibrasi sensor.	50
Gambar 3. 10 Titik Pengujian Aspek Jaringan.	51
Gambar 3. 11 Rancangan skema dalam uji kinerja jaringan.	52
Gambar 3. 12 Desain Antar Muka Pengguna.	56
Gambar 4. 1 Hasil perancangan alat.	58
Gambar 4. 2 Proses kalibrasi sensor	62
Gambar 4. 3 Grafik korelasi nilai CO ₂ (a), CO (b) dan <i>Digital Value</i>	63
Gambar 4. 4 Nilai pembacaan CO dan CO ₂ .	64
Gambar 4. 5 Nilai Pembacaan Kelembapan dan Suhu.	65
Gambar 4. 6 Grafik suhu ruangan.	67
Gambar 4. 7 Grafik Kelembapan.	68
Gambar 4. 8 Grafik CO dalam ppm.	68
Gambar 4. 9 Grafik CO ₂ dalam ppm	69
Gambar 4. 10 Grafik Rata-rata Pembacaan Sensor LDR.	70
Gambar 4. 11 Peletakan Sensor pada pintu	71
Gambar 4. 12 Tangkapan layer pada pembacaan RSSI.	73
Gambar 4. 13 Tangkapan layer aplikasi Jperf	77
Gambar 4. 14 Tangkapan layer aplikasi <i>Wireshark</i>	78
Gambar 4. 15 Tampilan ThingsBoard.	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar <i>Throughput</i> [28].....	29
Tabel 2. 2 Standar <i>Packet Loss</i> [28].	30
Tabel 2. 3 Standar <i>Delay</i> [28].....	31
Tabel 2. 4 <i>Path Loss Exponent</i> untuk Kondisi Lingkungan yang Berbeda [29]. .	33
Tabel 3. 1 Tabel Situasi Sensor.....	49
Tabel 4. 1 Persamaan Regresi yang di peroleh.....	61
Tabel 4. 2 Hasil Monitoring.....	66
Tabel 4. 3 Hasil pembacaan sensor <i>Ultrasonic</i>	71
Tabel 4. 4 Kualitas Koneksi berdasarkan katagori.	74
Tabel 4. 5 Kualitas Koneksi berdasarkan pengaruh hambatan tertentu.....	74
Tabel 4. 6 Hasil perhitungan FSPL dan selisih.....	76
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian jaringan.....	78
Tabel 4. 8 Data Pengukuran <i>Wireshark</i>	79
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan teoritis.....	81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pemantauan kesehatan, tantangan utama yang sering dihadapi mencakup kurangnya pemantauan yang memadai dan kebutuhan akan akses yang lebih baik terhadap layanan kesehatan. Pemantauan kesehatan jarak jauh secara *real-time* dapat menjadi solusi potensial, terutama bagi pasien lanjut usia atau yang memiliki penyakit kronis. Dengan pemantauan kondisi kesehatan pasien secara *real-time*, baik pasien maupun keluarganya dapat memperoleh informasi yang diperlukan tanpa harus lama berada di rumah sakit. Pemantauan kesehatan menjadi permasalahan utama, hal ini disebabkan oleh tidak adanya pemantauan kesehatan pasien yang menghadapi masalah medis yang serius. Pemantauan kesehatan jarak jauh secara *real-time* dapat memberikan informasi yang berguna untuk pasien, kerabat pasien di rumah, dan juga berguna untuk pasien lanjut usia ataupun sakit kronis yang ingin menghindari lama tinggal di rumah sakit, pemantauan kesehatan jarak jauh secara *real-time* bisa menjadi solusi dalam mengatasi tantangan ini.

Pemantauan kesehatan jarak jauh tidak hanya terbatas pada kondisi pasien, tetapi juga mencakup lingkungan di sekitar mereka, seperti kualitas udara di dalam ruangan. Dalam lingkungan yang kurang memadai dapat meningkatkan risiko masalah kesehatan [1]. Dengan menggunakan sensor-sensor, rumah sakit dapat lebih proaktif dalam mengidentifikasi potensi bahaya kesehatan yang mungkin timbul akibat paparan polutan seperti karbon dioksida (CO₂) pada ruangan di rumah sakit. Pemantauan kualitas udara ini menjadi bagian penting dalam mendukung pemantauan kesehatan secara *real-time*, khususnya bagi pasien dengan kondisi kronis yang rentan terhadap

risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh lingkungan sekitar. Penelitian ini berfokus pada pemantauan lingkungan sekitar di dalam ruangan rawat inap pasien.

Penerapan *Internet of Things* dalam rumah sakit memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas layanan kesehatan dan pengelolaan lingkungan. Dengan adanya perangkat sensor yang berada di ruangan pasien, informasi yang diperoleh dapat membantu dalam memantau kondisi secara *real-time* di sekitarnya, dalam penerapannya terdapat lima sensor di antaranya sensor suhu dan kelembapan, yang dapat membantu dalam menjaga kondisi lingkungan yang optimal untuk mencegah penyebaran *infeksi*. Sistem IoT ini memiliki komponen yang terdiri dari perangkat sensor, konektivitas, pemrosesan data, serta antarmuka pengguna. Penerapan-penerapan IoT pada bidang kesehatan dapat diterapkan pada perangkat-perangkat yang nantinya tersebar di seluruh ruangan di rumah sakit, yang dapat menghasilkan informasi dari berbagai ruangan, termasuk pasien dan tim medis. Penerapan perangkat-perangkat yang tersebar nantinya akan tercipta *smart room* yang mendukung terciptanya *smart hospital*.

Sensor udara dapat digunakan untuk memonitor kualitas udara di dalam ruangan, sehingga dapat segera diidentifikasi jika ada potensi bahaya kesehatan seperti polusi udara atau paparan zat berbahaya lainnya. Paparan polusi udara salah satunya CO₂ dapat meningkatkan risiko berbagai masalah kesehatan, termasuk peradangan, penurunan kemampuan kognitif yang lebih tinggi, demineralisasi tulang, kalsifikasi ginjal, stres oksidatif, dan disfungsi endotel [1].

Lalu paparan karbon monoksida (CO) juga salah satu penyebab utama keracunan yang tidak disengaja dan menjadi faktor signifikan dibalik banyak kematian setiap tahun di seluruh dunia [2]. Selain itu, penerapan IoT juga dapat meningkatkan efisiensi operasional rumah sakit. Contohnya, dengan memantau penggunaan peralatan medis secara *real-time*, rumah sakit dapat mengidentifikasi pola penggunaan yang tidak efisien atau peralatan yang perlu diperbaiki atau diganti.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengeksplorasi sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kesehatan berbasis IoT yang diaplikasikan dalam lingkungan rumah sakit dan perawatan kesehatan. Penelitian tahun 2022 mengenai *IoT-based Automatic Room Temperature and Health Monitoring System* menyoroti pentingnya pemantauan suhu tubuh pasien jantung untuk mengurangi risiko serangan jantung dengan menjaga suhu ruangan secara otomatis [3]. Penelitian serupa pada tahun 2016 yang berfokus pada pengelolaan suhu dan kelembapan di area utama rumah sakit menunjukkan bahwa meskipun sistem kontrol suhu telah menunjukkan respons yang cepat, presisi kontrol kelembapan masih perlu ditingkatkan melalui penerapan algoritma penyaringan digital [4]. Pada tahun 2020, penelitian tentang *Hospital Room Air Quality Monitoring and Record System Using Arduino* mengembangkan sistem sederhana untuk memantau suhu dan kelembapan ruangan rumah sakit menggunakan perangkat Arduino, yang terbukti berguna dalam mendeteksi kondisi suhu *abnormal* [5]. Selain itu, penelitian lainnya pada tahun yang sama mengusulkan sistem pemantauan kesehatan cerdas dalam lingkungan IoT, yang tidak hanya memantau kondisi kesehatan pasien tetapi juga lingkungan ruangan secara *real-time*, sangat relevan dalam penanganan penyakit menular seperti COVID-19. Kombinasi dari berbagai pendekatan ini menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam pemanfaatan teknologi IoT untuk meningkatkan efisiensi pemantauan kesehatan dan kondisi lingkungan di fasilitas kesehatan [6]. Terdapat penelitian serupa yang dilakukan pada referensi [7].

Penelitian yang akan dilakukan ini bertujuan untuk membuat alat monitoring ruang rawat inap rumah sakit yang dikembangkan dari penelitian sebelumnya dan memiliki beberapa kelebihan signifikan dibandingkan penelitian sebelumnya. Pertama, alat ini mengintegrasikan berbagai sensor seperti sensor karbon monoksida, sensor karbon dioksida, sensor suhu, sensor intensitas cahaya, sensor ultrasonik dan sensor kelembapan, sehingga mampu memantau kondisi ruangan rumah sakit secara menyeluruh. Ini lebih unggul dibandingkan penelitian yang hanya berfokus pada satu atau dua parameter, karena alat ini tidak hanya memantau suhu dan kelembapan, tetapi

juga kualitas udara (karbon monoksida dan karbon dioksida), serta tingkat cahaya dalam ruangan yang penting untuk kenyamanan dan kesehatan pasien di rumah sakit. Kedua, penggunaan ultrasonic pada ruangan pasien dapat mendeteksi jumlah orang yang berada dalam ruangan pasien sehingga jumlah orang pada ruangan pasien bisa dimonitoring secara langsung. Ketiga, konektivitas internet IoT memungkinkan alat ini mengirimkan data secara *real-time* kepada pengguna, memberikan kemudahan dalam pemantauan jarak jauh dan tindakan cepat jika kondisi lingkungan tidak sesuai. Dengan fokus pada penerapan di rumah sakit, alat ini dirancang untuk memenuhi standar yang lebih tinggi dalam akurasi dan keandalan, menjadikannya solusi yang lebih menyeluruh untuk mencegah *infeksi* dan meningkatkan kenyamanan di ruang rumah sakit dibandingkan sistem yang ada.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang satu-kesatuan sistem untuk memonitoring ruangan pasien.
2. Merancang sistem *web-server* yang dapat mengevaluasi indeks kesehatan ruangan pasien
3. Melakukan uji kinerja jaringan antara *node* dan *access point* pada pengaruh jarak yang nantinya dapat terhubung dengan jaringan.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang satu-kesatuan sistem untuk memantau kondisi pasien secara *real-time* pada rumah sakit?
2. Bagaimana merancang sistem *web-server* yang dapat mengevaluasi indeks kesehatan sekitar pasien melalui kondisi lingkungan ruangan pasien di rumah sakit?

3. Bagaimana melakukan uji kinerja jaringan antara *node* dan *access point* pada pengaruh jarak untuk memastikan konektivitas yang stabil dan dapat terhubung dengan *node-node* lainnya dalam rangka pengembangan sistem pemantauan kesehatan jarak jauh?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem pemantauan yang dirancang akan difokuskan pada pemantauan kondisi ruangan pasien secara *real-time*.
2. Sistem *web-server* yang dirancang akan digunakan untuk mengevaluasi hasil berdasarkan kondisi lingkungan ruangan pasien di rumah sakit.
3. Uji kinerja jaringan antara *node* dan *access point* akan dilakukan untuk memastikan konektivitas yang stabil dalam pengembangan sistem pemantauan kesehatan jarak jauh.
4. Penelitian ini akan membatasi penelitian pada pengembangan sistem monitoring ruangan dan uji kinerja jaringan.
5. Penelitian ini akan fokus pada aplikasi teknologi untuk memantau kondisi ruangan pasien dan meningkatkan efisiensi operasional rumah sakit.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan memungkinkan dunia kesehatan untuk memantau indeks kesehatan ruangan pasien dengan lebih mudah serta dapat mempermudah pemantauan ruangan pasien.
2. Dapat melakukan monitoring secara berkala dan terevaluasi melalui *web server* yang terintegrasi dengan sistem yang telah dirancang sehingga dapat serta mengurangi kebutuhan akan kontak fisik antara tim medis dan pasien terisolasi.

3. Mendukung terealisasinya ruang rawat inap cerdas berbasis sistem nirkabel dalam aspek monitoring.

1.6 Hipotesis

Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem pemantauan yang dirancang akan efektif dalam memantau kondisi ruangan pasien secara *real-time*, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi operasional rumah sakit.
2. Sistem *web-server* yang dirancang mampu mengevaluasi indeks kesehatan pasien secara akurat berdasarkan kondisi lingkungan ruangan pasien.
3. Uji kinerja jaringan antara *node* dan *access point* akan menunjukkan bahwa konektivitasnya stabil dan dapat terhubung dengan *node-node* lain, mendukung pengembangan sistem pemantauan kesehatan jarak jauh yang andal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu dengan melakukan studi literatur tentang alat monitoring rumah sakit.

Terdapat penelitian yang menciptakan sistem untuk mencegah serangan bagi pasien jantung yang bertujuan untuk menjaga suhu tubuh dan mengurangi risiko serangan jantung. Suhu yang dikonfigurasi oleh pengguna terus dipertahankan sebagai suhu ruangan dengan memicu peralatan pendingin jika perlu. Sistem pengontrol suhu dan pemantauan pasien membantu dalam melayani orang yang berisiko dengan mengurangi kasus serangan jantung. Sistem ini juga mengurangi keadaan darurat medis lainnya karena mempertahankan dan terus memantau suhu di dalam dan sekitar pasien. Semua tugas yang dilakukan sistem ini otomatis dan juga memiliki opsi untuk mengontrolnya secara manual jika diperlukan [3].

Penelitian pada rumah sakit yang mana pengelolaan suhu dan kelembapan dalam ruangan di area utama seperti apotek dan ruang operasi yang peka terhadap persyaratan suhu dan kelembapan telah dilakukan terutama melalui pencatatan manual. Terlebih lagi, karena semua sistem kontrol suhu dan kelembapan yang terpisah satu sama lain tidak tersistematisasi, menjadi sangat sulit untuk melakukan pemantauan dan pengelolaan yang komprehensif terhadap lingkungan area utama di tingkat rumah sakit. Percobaan yang dilakukan pada kontrol suhu dan kelembapan yang presisi membuktikan bahwa kontrol suhu dan kelembapan ditandai dengan kecepatan respon yang cepat. Namun presisi kontrol kelembapan belum ditingkatkan. Sehingga untuk penelitian kedepannya, disarankan algoritma penyaringan digital akan diterapkan pada

pengukuran kelembapan untuk meningkatkan stabilitas data yang diukur sehingga dapat meningkatkan ketepatan pengukuran kelembapan [4].

Pada penelitian lain menciptakan alat yang dapat memantau dan mengolah data suhu ruangan pasien yang diperoleh dengan menggunakan sensor suhu dan kelembapan yang terhubung dengan perangkat *Arduino*. Data suhu dan kelembapan yang telah didapatkan selanjutnya akan disimpan di *harddisk* dan diproses *monitoring* menggunakan proses GUI dan PLX_DAQ yang ditampilkan pada data excel. Pada kejadian ini terjadi kondisi *abnormal* seperti temperatur yang terlalu tinggi dan temperatur yang terlalu rendah, sistem ini berguna untuk memantau situasi *abnormal* temperatur [5].

Terdapat pula penelitian sistem pemantauan kesehatan di rumah sakit dan banyak pusat kesehatan lainnya telah mengalami pertumbuhan yang signifikan dan sistem pemantauan kesehatan portabel dengan teknologi baru menjadi perhatian besar banyak negara di seluruh dunia saat ini. Penelitian ini mengusulkan sistem perawatan kesehatan cerdas di lingkungan IoT yang dapat memantau tanda-tanda kesehatan dasar pasien serta kondisi ruangan tempat pasien berada sekarang secara *real-time*. Sistem ini juga dapat bermanfaat bagi perawat dan dokter dalam situasi epidemi atau krisis karena data medis mentah dapat dianalisis dalam waktu singkat. Prototipe yang dikembangkan sangat sederhana untuk dirancang dan digunakan. Sistem ini sangat berguna dalam kasus penyakit menular seperti pengobatan *Novel Coronavirus* (COVID-19). Sistem yang dikembangkan akan meningkatkan sistem perawatan kesehatan saat ini yang dapat melindungi banyak nyawa dari kematian [6]. Penelitian-penelitian lain yang berkaitan dengan proposal penelitian ini terdapat pada referensi [7].

IoT memiliki dampak signifikan dalam kehidupan sehari-hari dengan menghubungkan berbagai perangkat melalui internet, yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan data secara efektif. Contoh penerapan IoT meliputi penggunaan *smartphone* untuk

mengoperasikan perangkat seperti AC, mobil pintar untuk menemukan rute terpendek, serta *smartwatch* yang dapat memantau aktivitas harian kita [8]. Perkembangan teknologi komunikasi dan informasi telah memfasilitasi kemunculan IoT sebagai teknologi penting dalam berbagai bidang, termasuk kesehatan. Dalam konteks ini, sistem pemantauan berbasis IoT telah dikembangkan untuk melacak parameter kesehatan kritis seperti suhu tubuh, detak jantung, dan saturasi oksigen (SPO₂). Selain itu, posisi pasien dapat dipantau menggunakan modul SIM7600E GSM dan GNSS HAT, dengan Raspberry Pi 4B sebagai *microcontroller* untuk mengumpulkan data dari sensor kesehatan dan mengirimkannya ke penyimpanan [9].

Studi menunjukkan bahwa aplikasi IoT dalam bidang medis telah meningkat secara signifikan selama pandemi, dengan model berbasis IoT yang menunjukkan peningkatan kinerja hingga 98,8% dan nilai *true positive* sekitar 96,6% serta *true negative* sekitar 97%. Penelitian ini juga menyoroti kemajuan dalam nanomaterial berbasis solusi yang membuka peluang bagi pengembangan sensor *wearable*. Kajian ini menguraikan perkembangan terbaru dalam teknologi sensor *wearable*, termasuk nanomaterial baru, teknik manufaktur, mekanisme *sensing*, dan sirkuit pembacaan, serta tantangan yang akan dihadapi di masa depan [10]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengenalan teknologi berbasis IoT di lingkungan klinis dapat meningkatkan kualitas layanan medis, keselamatan pasien, dan efisiensi manajemen. IoT diharapkan berperan penting dalam menjaga jarak sosial, pelacakan kontak, kontrol okupansi tempat tidur, dan manajemen kualitas udara selama pandemi COVID-19. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya investasi berkelanjutan, kebijakan deregulasi, perlindungan informasi, dan standarisasi IT untuk memastikan implementasi IoT yang efektif di institusi medis [11].

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa IoT kini mempengaruhi hampir semua sektor kehidupan dengan menghubungkan objek fisik melalui teknologi komputer. Di sektor kesehatan, terutama di negara berkembang seperti Mesir, IoT menawarkan manfaat besar dengan menggantikan sistem dokumentasi lama dengan sistem manajemen

pintar. Perangkat IoT mengumpulkan dan mengirimkan data ke komputasi awan untuk analisis. Namun, tantangan seperti keamanan dan privasi, komunikasi perangkat, serta pengumpulan dan manajemen data menjadi perhatian utama. Model referensi untuk sistem manajemen rumah sakit pintar sedang dikembangkan untuk mengatasi tantangan ini dengan mempertimbangkan persyaratan fungsional dan non-fungsional dalam sistem manajemen rumah sakit [12].

Internet of Medical Things (IoMT) telah muncul sebagai kemajuan teknologi signifikan dalam sektor kesehatan. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi dan merangkum aplikasi IoMT, tantangan utama, dan solusi teknis berdasarkan analisis literatur yang ada [13]. Teknologi IoT saat ini dalam layanan kesehatan memiliki dampaknya pada sistem kesehatan global di masa depan. IoT memiliki potensi untuk meningkatkan aksesibilitas layanan kesehatan masyarakat dan mengubah sistem perawatan kesehatan menjadi lebih proaktif dan terkoordinasi. Sehingga organisasi kesehatan sangat penting untuk penerapan IoT yang efektif [14].

Penerapan sensor pintar dan *wearable* yang semakin meningkat dalam kesehatan memungkinkan pengembangan aplikasi medis yang canggih. Rumah sakit pintar dapat menggunakan sensor dan aplikasi untuk pengambilan keputusan kritis berdasarkan pemantauan *real-time* terhadap pasien dan peralatan. Kualitas layanan (QoS) sangat penting untuk memastikan keandalan data aplikasi. Penelitian menunjukkan bahwa *QoS-aware sensor middleware* dapat mengurangi *jitter sensor samples* hingga 90,3%, yang menekankan pentingnya QoS untuk aplikasi kesehatan [15].

2.2 Microcontroller ESP32

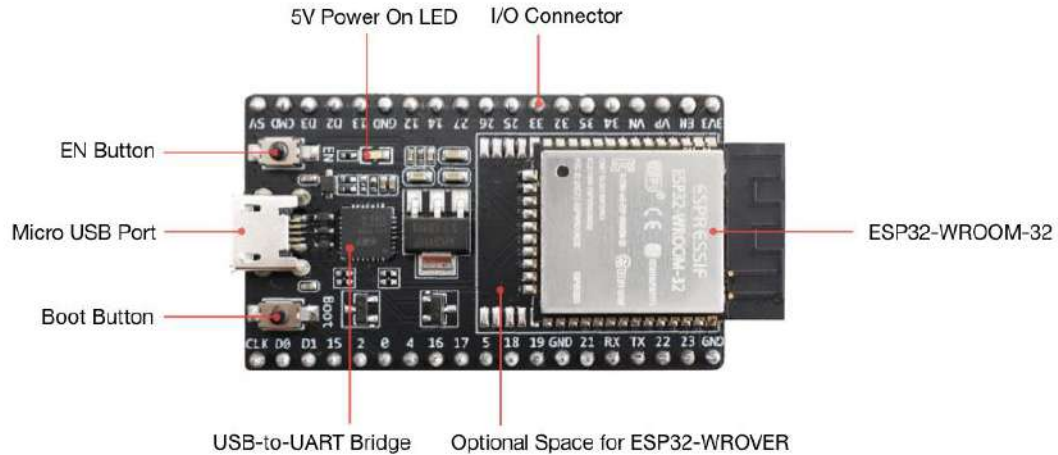
ESP32 adalah sebuah *System on a Chip* (SoC) yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dirancang untuk aplikasi dengan kebutuhan konektivitas nirkabel seperti Wi-Fi dan *Bluetooth*. ESP32 dilengkapi dengan *dual-core* CPU Xtensa® 32-bit LX6,

koprosesor *Ultra Low Power* (ULP) untuk efisiensi daya, dan mendukung berbagai periferal yang membuatnya sangat fleksibel untuk digunakan dalam berbagai proyek elektronik dan IoT. *Chip* ini dikenal karena kinerja tinggi, penggunaan daya rendah, dan kemampuannya dalam menjalankan aplikasi yang memerlukan koneksi internet serta komunikasi nirkabel. Dengan teknologi fabrikasi 40 nm, ESP32 memungkinkan pengembangan perangkat yang lebih ringkas, efisien, aman, dan andal. *Chip* ini sering digunakan dalam proyek-proyek IoT seperti *smart home*, sistem otomatisasi industri, dan berbagai aplikasi kota pintar [16].

ESP32 memiliki beberapa keunggulan dibandingkan Arduino, terutama dalam hal fitur dan performa. Salah satu kelebihan adalah konektivitas nirkabel, karena ESP32 dilengkapi dengan Wi-Fi dan *Bluetooth* (BLE), yang membuatnya sangat cocok untuk aplikasi IoT. Sebaliknya, Arduino memerlukan modul tambahan untuk mendapatkan fitur serupa. Dari segi kecepatan, ESP32 jauh lebih unggul dengan prosesor *dual-core* Xtensa LX6 yang memiliki kecepatan hingga 240 MHz, dibandingkan dengan Arduino Uno yang hanya menggunakan prosesor 8-bit dengan kecepatan sekitar 16 MHz. Selain itu, ESP32 juga menawarkan lebih banyak GPIO (*General Purpose Input/Output*) dan mendukung fitur periferal seperti PWM, ADC, DAC, serta I2S, yang tidak semuanya tersedia di Arduino.

Dalam hal pengelolaan daya, ESP32 memiliki *ULP Co-Processor* yang memungkinkan perangkat beroperasi dalam mode daya rendah, sehingga ideal untuk aplikasi yang memerlukan konsumsi daya minimal. Memori ESP32 juga jauh lebih besar, baik dalam hal RAM maupun *flash*, memungkinkan pengolahan data dan aplikasi yang lebih kompleks. ESP32 mendukung *multitasking* berkat dua inti prosesor, yang memungkinkan beberapa proses berjalan bersamaan, sementara Arduino hanya dapat menangani satu proses pada satu waktu. Meskipun memiliki fitur yang lebih canggih, harga ESP32 tetap terjangkau dan sering kali lebih murah daripada membeli Arduino bersama modul tambahan untuk konektivitas. Selain itu, ESP32 mendukung aplikasi kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning*, yang membuatnya

lebih fleksibel dibandingkan Arduino, terutama untuk aplikasi IoT. Gambar 2.1 menunjukkan *Microcontroller* ESP32.



Gambar 2. 1 Microcontroller ESP32 [16].

ESP32 memiliki desain yang tangguh dan mampu berfungsi dengan andal di lingkungan industri, dengan rentang suhu operasi dari -40°C hingga 125°C . Ditenagai oleh rangkaian kalibrasi canggih, ESP32 dapat secara dinamis mengatasi ketidak sempurnaan pada rangkaian eksternal dan beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, ESP32 dirancang untuk perangkat *mobile*, elektronik yang dapat dikenakan, dan aplikasi IoT dengan konsumsi daya yang sangat rendah berkat kombinasi perangkat lunak eksklusif. *Chip* ini dilengkapi dengan fitur-fitur canggih seperti pengaturan *clock* yang presisi, berbagai mode daya, dan skala daya dinamis. Dari segi integrasi, ESP32 memiliki komponen internal seperti *switch* antena, RF balun, *power amplifier*, *low-noise receive amplifier*, filter, dan modul manajemen daya, yang memungkinkan penggunaan minimal desain papan sirkuit cetak (PCB) sambil tetap menambah fungsionalitas dan fleksibilitas yang tinggi pada aplikasi. ESP32 juga merupakan *chip* Wi-Fi dan *Bluetooth* hibrida yang dapat berfungsi sebagai sistem mandiri atau sebagai perangkat *slave* yang terhubung ke MCU *host*, sehingga mengurangi beban komunikasi pada prosesor utama. *Chip* ini dapat berinteraksi dengan

sistem lain melalui antarmuka SPI/SDIO atau I2C/UART untuk menyediakan konektivitas Wi-Fi dan *Bluetooth* [16].

2.2.1 Sensor Karbon Dioksida

Salah satu sensor karbon dioksida adalah sensor MQ135, sensor MQ135 adalah sensor yang dirancang untuk mendeteksi berbagai jenis gas di udara, terutama gas yang berbahaya seperti amonia (NH_3), nitrogen oksida (NO_2), alkohol, benzena, asap, dan karbon dioksida (CO_2). Sensor MQ-135 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi kadar karbon dioksida (CO_2) [17]. Sensor ini menggunakan bahan semikonduktor yang resistansinya berubah sesuai dengan konsentrasi gas yang terdeteksi di sekitarnya. MQ135 dikenal karena kepekaannya yang tinggi terhadap berbagai gas, membuatnya menjadi pilihan ideal untuk aplikasi pemantauan kualitas udara, terutama di area yang memerlukan deteksi gas berbahaya.

Salah satu aplikasi utama sensor MQ135 adalah pemantauan kualitas udara di ruangan tertutup atau lingkungan industri. Sensor ini mampu mendeteksi adanya peningkatan konsentrasi gas yang berbahaya, yang bisa menjadi indikator adanya polusi atau bahaya kesehatan bagi manusia. Selain itu, sensor ini sering digunakan dalam sistem ventilasi dan kontrol udara untuk memastikan bahwa udara yang dihirup berada dalam kondisi aman. Dalam lingkungan rumah sakit, laboratorium, atau pabrik, sensor ini berperan penting dalam menjaga keselamatan pekerja dan pasien dari paparan gas beracun.

Secara teknis, sensor MQ135 bekerja dengan cara mengukur perubahan resistansi pada elemen sensornya ketika terpapar gas. Resistansi ini berubah secara proporsional dengan konsentrasi gas yang ada di sekitarnya, dan sinyal keluaran analog yang dihasilkan dapat diolah oleh mikrokontroler atau perangkat elektronik lainnya untuk menampilkan atau memproses data kualitas udara. Untuk penggunaan praktis, MQ135 biasanya membutuhkan tegangan operasi sekitar 5V dan dapat diintegrasikan ke dalam sistem elektronik dengan mudah.

Sensor MQ135 memiliki banyak aplikasi dalam sistem IoT (*Internet of Things*) untuk pemantauan kualitas udara secara *real-time*. Dengan menghubungkannya ke jaringan, pengguna dapat menerima data kualitas udara langsung ke perangkat mereka, seperti *smartphone* atau komputer. Hal ini memungkinkan pemantauan jarak jauh dan memberikan peringatan dini jika kualitas udara menurun atau jika ada peningkatan kadar gas berbahaya yang signifikan. Selain itu, sensor ini juga dapat digunakan dalam sistem otomasi yang dapat mengaktifkan ventilasi atau alarm jika kadar gas tertentu mencapai ambang batas berbahaya.

Meskipun memiliki banyak kelebihan, sensor MQ135 juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti sensitivitasnya terhadap kelembapan dan suhu, yang dapat mempengaruhi akurasi pengukurannya. Oleh karena itu, kalibrasi yang tepat dan penyesuaian lingkungan sangat penting untuk memastikan kinerja optimal dari sensor ini. Dengan perawatan dan penggunaan yang benar, sensor MQ135 dapat menjadi komponen penting dalam menjaga kesehatan dan keselamatan di berbagai lingkungan. MQ-135 ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Sensor MQ-135 [18].

2.2.2 Sensor Karbon Monoksida

Sensor MQ-7 merupakan salah satu perangkat yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan karbon monoksida (CO) di udara. Karbon monoksida adalah gas beracun yang tidak berwarna dan tidak berbau, sehingga sulit dideteksi tanpa bantuan perangkat khusus. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi. Ketika sensor terpapar karbon monoksida, resistansi di dalamnya akan berubah, yang kemudian diterjemahkan menjadi sinyal yang dapat diukur oleh perangkat elektronik. Dengan kemampuannya ini, sensor MQ-7 sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pemantauan gas beracun, khususnya di lingkungan yang berpotensi mengalami kebocoran gas CO. Karbon monoksida (CO) adalah salah satu penyebab utama keracunan yang tidak disengaja dan menjadi faktor signifikan di balik banyak kematian setiap tahun di seluruh dunia [2].

Salah satu aplikasi utama dari sensor MQ-7 adalah dalam pemantauan kualitas udara. Di lokasi-lokasi yang memiliki risiko kebocoran karbon monoksida sangat tinggi, terutama jika ventilasi tidak memadai. MQ-7 berperan dalam mendeteksi konsentrasi CO dan memberikan sinyal peringatan jika kadar gas tersebut melebihi ambang batas aman. Selain itu, sensor ini juga sering digunakan dalam sistem keamanan rumah tangga untuk mendeteksi kebocoran gas dari peralatan seperti kompor gas atau pemanas air yang menggunakan bahan bakar gas. Deteksi dini melalui sensor ini sangat penting, mengingat karbon monoksida dapat menimbulkan efek kesehatan serius hingga kematian jika terpapar dalam konsentrasi tinggi.

Dari sisi teknis, sensor MQ-7 memiliki dua jenis pin *output*, yaitu untuk sumber daya dan *output* data. Sumber daya biasanya memerlukan tegangan sekitar 5V, sedangkan hasilnya bisa berupa sinyal analog atau digital, tergantung pada model sensornya. Hasil analog memberikan tegangan yang bervariasi sesuai dengan konsentrasi gas CO yang terdeteksi, hal ini memungkinkan sistem untuk membaca nilai konsentrasi secara proporsional. Sementara itu, hasil keluaran digital memberikan sinyal logika, berupa nilai *HIGH* atau *LOW*, berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan sebelumnya.

Pengguna dapat menyesuaikan ambang batas ini sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik.

Meskipun sensor MQ-7 sangat berguna, perlu dicatat bahwa perangkat ini memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu kelemahannya adalah kebutuhan untuk kalibrasi ulang secara berkala agar tetap akurat dalam mendeteksi karbon monoksida di berbagai kondisi lingkungan. Kalibrasi ini diperlukan karena berbagai faktor, seperti suhu dan kelembapan, dapat mempengaruhi kinerja sensor. Selain itu, agar sensor ini dapat bekerja secara optimal dan memberikan hasil yang akurat, pengguna harus mematuhi pedoman pemasangan dan pengoperasian yang ditentukan oleh produsen. Dengan perawatan dan penggunaan yang tepat, sensor MQ-7 mampu memberikan pemantauan yang andal dan membantu mencegah risiko kesehatan akibat kebocoran karbon monoksida. Adapun Sensor MQ-7 pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Sensor MQ-7 [18].

2.2.4 Sensor Suhu

Sensor suhu diantaranya DS18B20, DS18B20 adalah sensor suhu digital yang sangat populer dan sering digunakan dalam berbagai proyek elektronika dan IoT. Salah satu fitur unggulannya adalah penggunaan antarmuka satu kabel (*One-Wire interface*), yang memungkinkan beberapa sensor untuk dihubungkan ke satu pin *microcontroller*. Hal

ini menjadikannya solusi ideal untuk proyek-proyek di mana ruang dan jumlah pin *microcontroller* terbatas, sehingga memudahkan pengembangan sistem yang lebih efisien.

Fitur utama dari sensor DS18B20 mencakup akurasi tinggi dengan resolusi hingga $0,0625^{\circ}\text{C}$, yang menjadikannya andal dalam memantau perubahan suhu dengan presisi. Selain itu, antarmuka *One-Wire* memungkinkan pengoperasian yang mudah, karena memerlukan hanya satu kabel data untuk komunikasi. Sensor ini juga memiliki kemampuan untuk beroperasi pada rentang suhu yang luas, dari -55°C hingga 125°C , sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem yang beroperasi di suhu ekstrem. Desainnya yang kecil dan kemudahan integrasi juga menjadikannya pilihan populer dalam proyek elektronika.

Penggunaan sensor DS18B20 meliputi berbagai aplikasi, seperti pemantauan suhu lingkungan baik dalam ruangan maupun luar ruangan, serta kontrol suhu dalam sistem pendingin dan pemanas. Selain itu, sensor ini banyak diterapkan dalam aplikasi pertanian dan peternakan untuk memantau suhu dengan presisi tinggi. Sensor ini juga banyak diintegrasikan dalam sistem IoT, memungkinkan pemantauan suhu jarak jauh secara *real-time*, yang memudahkan pengguna dalam mengakses data dari perangkat yang terhubung.

Dalam hal teknis, sensor DS18B20 memerlukan *resistor pull-up* sekitar $4,7\text{k}\Omega$ untuk dapat berfungsi dengan baik. Komunikasi dengan sensor ini dilakukan menggunakan protokol *One-Wire*, yang membuatnya mudah dihubungkan ke *microcontroller* atau sistem lainnya. Sensor ini tersedia dalam berbagai bentuk, termasuk model *standalone* dengan kabel atau modul yang lebih mudah digunakan. Dengan keandalan dan akurasi yang ditawarkannya, DS18B20 menjadi pilihan yang populer dalam proyek yang membutuhkan pemantauan suhu digital yang efisien dan andal. Adapun Sensor DS18B20 pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Sensor DS18B20 [19].

2.2.5 Sensor Kelembapan

Sensor DHT22, atau dikenal juga sebagai AM2302, merupakan sensor yang banyak digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan dalam berbagai proyek elektronika dan *Internet of Things* (IoT). Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengukur suhu dalam rentang -40°C hingga 80°C dengan resolusi $0,1^{\circ}\text{C}$, serta kelembapan relatif dari 0% hingga 100% dengan resolusi yang sama. Hal ini membuat DHT22 sangat ideal untuk pemantauan kondisi lingkungan secara presisi dalam berbagai aplikasi, baik dalam ruangan maupun di luar ruangan.

Salah satu keunggulan utama dari sensor DHT22 adalah akurasi pengukurannya yang tinggi. Sensor ini mampu mengukur suhu dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan dengan akurasi $\pm 2\%$, menjadikannya andal dalam berbagai skenario pemantauan lingkungan. Selain itu, sensor ini menggunakan antarmuka satu kabel (*One-Wire interface*), yang berarti hanya memerlukan satu pin data untuk komunikasi dengan *microcontroller*. Fitur ini memudahkan pengguna untuk mengintegrasikan sensor ke dalam sistem berbasis Arduino, Raspberry Pi, dan *platform microcontroller* lainnya.

DHT22 menghasilkan keluaran sinyal digital, yang langsung dapat dibaca oleh *microcontroller* tanpa memerlukan komponen eksternal tambahan untuk konversi sinyal. Selain itu, sensor ini memiliki respons yang cepat terhadap perubahan suhu dan kelembapan, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan pemantauan *real-time*. Karena alasan ini, sensor DHT22 banyak digunakan dalam sistem kontrol lingkungan untuk rumah pintar, aplikasi pertanian dan peternakan, serta dalam berbagai proyek IoT yang memerlukan pemantauan suhu dan kelembapan secara jarak jauh.

Untuk menggunakan sensor DHT22, dibutuhkan pustaka atau *library* yang tersedia secara luas untuk *platform Microcontroller* seperti Arduino dan Raspberry Pi. Selain itu, diperlukan resistor *pull-up* sekitar $4,7k\Omega$ pada pin data untuk memastikan komunikasi yang stabil. Dengan kombinasi akurasi yang tinggi, kemudahan penggunaan, dan respon cepat, sensor DHT22 menjadi pilihan populer dalam proyek-proyek yang membutuhkan pemantauan lingkungan dengan presisi tinggi dan kemudahan integrasi. Adapun Sensor DHT 22 pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Sensor DHT 22 [18].

2.2.6 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sebuah perangkat elektronik yang menggunakan gelombang suara dengan frekuensi tinggi diatas kisaran pendengaran manusia untuk mendeteksi

objek dan mengukur jarak [20]. Sensor ini menghasilkan gelombang suara ultrasonik dan kemudian mengukur waktu yang diperlukan gelombang suara untuk memantul kembali setelah mengenai objek. Data ini digunakan untuk menghitung jarak antara sensor dan objek. Sensor ultrasonik umumnya terdiri dari dua komponen utama pengirim (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Pengirim menghasilkan gelombang suara ultrasonik, sementara penerima mendeteksi gelombang suara yang dipantulkan kembali setelah mengenai objek. Dengan mengukur waktu tempuh gelombang suara, sensor ultrasonik dapat menghitung jarak antara sensor dan objek yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$s = \frac{v \times t}{2} \quad (2.1)$$

di mana:

s : jarak objek dengan sensor (meter)

v : cepat rambat suara pada médium (343 meter/detik)

t : waktu tempuh (detik)

Sensor ultrasonik dapat bekerja dengan akurat pada berbagai jenis bahan, seperti logam, plastik, kertas, dan cairan. Namun, mereka tidak cocok untuk pengukuran jarak di lingkungan yang berisi banyak debu, uap air, atau benda-benda yang sangat kecil atau halus. Penggunaan sensor ultrasonik dapat memberikan keuntungan dalam aplikasi yang memerlukan deteksi jarak yang akurat, tidak membutuhkan kontak fisik dengan objek, dan dapat bekerja di berbagai kondisi lingkungan [21].

Penggunaan sensor yang berada pada luar ruangan membutuhkan sensor ultrasonik yang memiliki desain ketahanan akan perubahan kondisi lingkungan seperti penggunaan sensor pada referensi [22]. Bentuk fisik dari sensor ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Sensor Ultrasonik [19].

2.3 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi adalah tahapan kegiatan untuk menentukan kebenaran nilai alat ukur dengan membandingkannya dengan alat ukur standar [23]. Kalibrasi adalah sebuah cara menunjukkan kebenaran nilai sebuah alat ukur dengan cara membandingkan dengan alat ukur standar [24]. Kalibrasi adalah teknik yang dikenal untuk membuat pengukuran lebih andal, pada penerapan kalibrasi terdapat metode regresi linear yang dapat digunakan untuk mengoreksi [34]. Hasil dari kalibrasi merupakan kelayakan sebuah alat yang menunjukkan sebuah nilai Standar Nasional atau Internasional. Kalibrasi memiliki tujuan dalam menentukan penyimpangan dari sebuah alat ukur dan menjamin hasil pengukuran sesuai Standar Internasional. Kalibrasi memiliki manfaat untuk menjaga kondisi alat ukur, mendukung sistem mutu pada industri peralatan laboratorium, serta mengetahui nilai penyimpangan sebuah alat ukur.

Pada penerapan kalibrasi, penggunaan gradien digunakan untuk menentukan seberapa besar perubahan yang diperlukan pada pembacaan sensor agar sesuai dengan nilai acuan. Gradien didefinisikan sebagai kemiringan dari suatu garis yang memungkinkan kita untuk mengoreksi kesalahan pengukuran pada sensor dengan menghitung hubungan linier antara pembacaan sensor dan nilai standar, dengan memahami gradien dapat mengoreksi kesalahan pengukuran pada sensor dengan menghitung hubungan

linier antara pembacaan sensor dan nilai standar. Regresi linear merupakan sebuah metode statistik yang berfungsi untuk mengidentifikasi hubungan antara dua atau lebih variabel, atau mengukur pengaruh variabel faktor penyebab. Variabel faktor penyebab biasanya dilambangkan dengan x , sementara variabel akibat dilambangkan dengan y , jika terdapat hubungan antara variabel x dan y , nilai variabel x yang diketahui dapat digunakan untuk memperkirakan atau meramalkan nilai variabel y [33]. Persamaan linier ditentukan menggunakan Persamaan (2.2).

$$y = a + b.x \quad (2.2)$$

di mana:

y : variabel terikat (dependent).

x : variabel variabel bebas (independent).

a : titik potong sumbu y atau konstanta

b : gradien atau kemiringan garis

Nilai-nilai a dan b dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3) [33].

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.3)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

di mana:

n : banyaknya sampel

Setelah persamaan regresi ditentukan, maka persamaan tersebut akan dimasukkan ke dalam program agar menghasilkan pembacaan yang akurat pada sensor seperti sensor karbon dioksida, karbon monoksida, suhu, dan kelembapan.

2.4 Monitoring Ruangan

Monitoring ruangan adalah proses pengawasan dan pengendalian kondisi lingkungan dalam suatu ruang contohnya untuk memastikan parameter seperti suhu, kelembapan, kualitas udara, dan pencahayaan terpenuhi sesuai kebutuhan. Teknologi yang digunakan dalam monitoring ini sering melibatkan IoT dan sensor yang mengumpulkan data secara *real-time* untuk melakukan penyesuaian otomatis.

Keuntungan utama dari sistem monitoring ruangan adalah kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi energi, menjaga kenyamanan penghuni, dan melindungi peralatan sensitif dari kondisi lingkungan yang merugikan. Dengan pemantauan yang berkelanjutan, lingkungan ruangan dapat dipertahankan pada kondisi yang optimal untuk mencegah kerusakan atau masalah kesehatan. Sensor-sensor yang terpasang, seperti sensor suhu dan kualitas udara, memberikan informasi yang dibutuhkan untuk menjaga keseimbangan lingkungan ruangan.

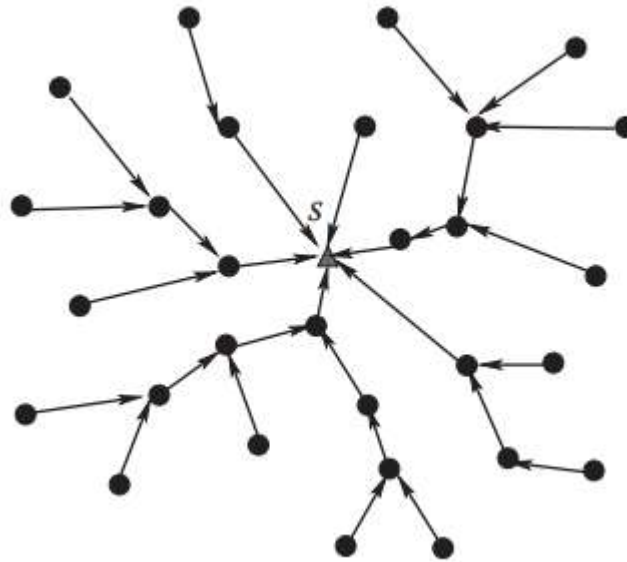
Di berbagai sektor, implementasi monitoring ruangan sangat bermanfaat. Dalam sektor kesehatan, terutama di rumah sakit, sistem ini sangat penting untuk menjaga lingkungan steril dan nyaman bagi pasien. Dalam sektor pendidikan, monitoring ruangan dapat membantu menciptakan kondisi yang optimal bagi para siswa untuk belajar. Di sektor industri, terutama di pusat data, monitoring ruangan memainkan peran penting dalam mencegah *overheating* yang bisa merusak peralatan vital.

Selain itu, banyak penelitian dan studi kasus yang menunjukkan bagaimana implementasi sistem monitoring ruangan telah memberikan manfaat besar dalam meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan di berbagai bidang. Studi-studi ini menunjukkan bahwa sistem yang dioptimalkan tidak hanya membantu menjaga kualitas lingkungan, tetapi juga memungkinkan penghematan biaya yang signifikan dalam penggunaan energi. Pada penerapannya sistem pemantauan jangka panjang *home-based long-term monitoring system* sangatlah penting, dari hasil penelitian menunjukan hasil yang luar biasa dalam akurasi dan memiliki akurasi yang konsisten [25].

2.4.1 Wireless Sensor Network (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) adalah sebuah jaringan yang terdiri dari sejumlah sensor yang berfungsi untuk mengumpulkan, memantau, dan mengirimkan data dari lingkungan secara nirkabel. Setiap sensor, yang disebut *node*, memiliki kemampuan untuk mendeteksi perubahan lingkungan seperti suhu, kelembapan, tekanan, cahaya, dan lainnya, tergantung pada jenis sensor yang digunakan. *Node-node* ini berkomunikasi satu sama lain dan dengan pusat pengumpulan data melalui sinyal radio, tanpa memerlukan koneksi kabel fisik.

Tujuan utama WSN adalah mengumpulkan data dari berbagai sensor yang tersebar di jaringan dan mengirimkannya ke *node* penerima tertentu untuk dianalisis lebih lanjut. Proses pengumpulan data ini menjadi layanan yang paling umum dan esensial dalam berbagai aplikasi WSN. *Node* sensor berperan dalam mengumpulkan informasi dari lingkungannya, seperti suhu, kelembapan, atau tekanan, kemudian mengirimkan data tersebut secara langsung atau melalui beberapa *hop* ke *node* pusat, yang sering kali disebut sebagai *sink node* atau *gateway*, untuk diproses lebih lanjut. Melalui pengumpulan dan analisis data ini, berbagai keputusan dapat diambil, baik untuk pemantauan lingkungan, kesehatan, keamanan, maupun berbagai aplikasi lainnya, Gambar 2.7 menunjukkan contoh proses pengumpulan data di WSN [26].



Gambar 2. 7 Contoh proses pengumpulan data di WSN [26].

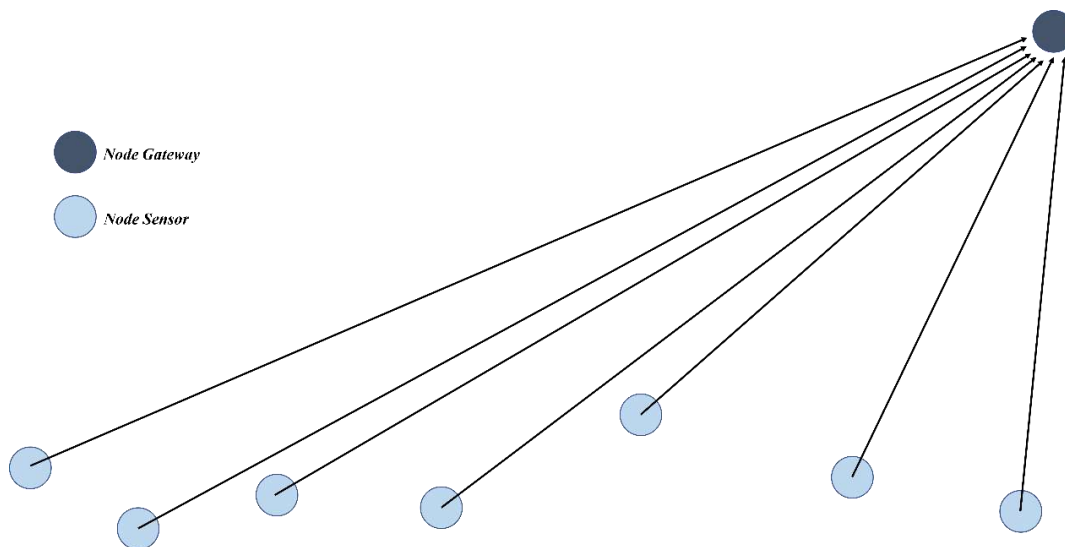
WSN memiliki peran signifikan dalam berbagai sektor, termasuk pertanian, di mana dapat digunakan untuk memantau suhu, sistem irigasi, dan pasokan air. Teknologi ini membantu petani meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya, dan mengelola sumber daya seperti tanah dan air dengan lebih efisien. Melalui otomatisasi berbasis WSN, pertanian menjadi lebih mudah dikelola dan mengurangi kebutuhan tenaga kerja. Sistem ini juga mendeteksi faktor-faktor yang mempengaruhi pertanian, seperti perubahan iklim, bencana alam, bahkan pencurian. Dengan menggunakan sensor, Wi-Fi, kamera, dan teknologi GPS, pertanian cerdas dapat diwujudkan, di mana semua data disimpan di memori atau *cloud* untuk analisis lebih lanjut [27].

Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini kemudian dikirim ke pusat pengolahan, atau *sink*, di mana data dianalisis atau diteruskan untuk pengambilan keputusan lebih lanjut. WSN biasanya menggunakan berbagai topologi jaringan, seperti *star*, *tree*, atau *mesh*, untuk memastikan data dapat mencapai tujuan dengan efisien. Salah satu keunggulan utama dari WSN adalah kemampuannya untuk bekerja dalam lingkungan yang sulit dijangkau dengan kabel, serta fleksibilitasnya dalam berbagai aplikasi, mulai

dari pertanian, pemantauan lingkungan, hingga *smart hospital*. Namun, karena *node sensor* umumnya menggunakan daya baterai, manajemen energi yang efisien sangat penting untuk memastikan operasi jangka panjang dalam jaringan ini.

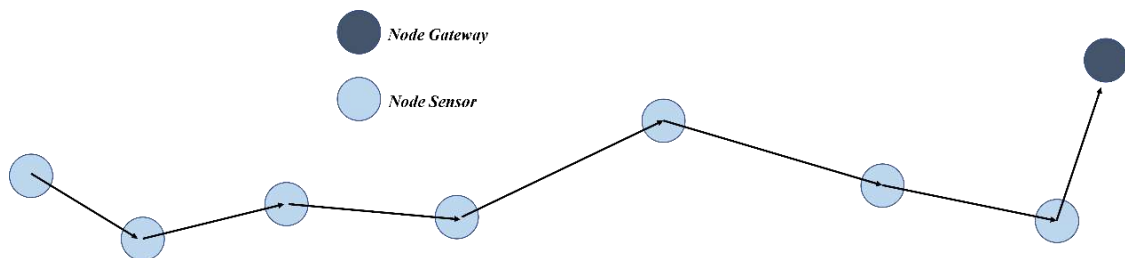
2.4.2 Metode Pengiriman Data pada WSN

Metode pengiriman data yang sederhana dapat dilakukan dengan menggunakan metode *single hop*. Dalam metode ini, setiap *node sensor* mengirimkan data secara langsung ke *node* penerima tanpa melalui *node* perantara. Data dapat mencapai tujuan dalam *single hop* atau melalui *multi hop*. Saat mempertimbangkan penyebaran data, seseorang harus mempertimbangkan keandalan data, status kemacetan, penundaan yang diperlukan, dan banyak parameter lainnya [26]. *Single hop* dalam *Wireless Sensor Networks* (WSN) adalah metode pengiriman data di mana setiap *node sensor* mengirimkan data langsung ke *node* penerima tanpa melalui *node* perantara. Metode ini sederhana dan efisien, dengan latensi rendah karena data hanya membutuhkan satu langkah untuk sampai ke tujuan. Meskipun demikian, metode *Single Hop* memiliki keterbatasan dalam jarak, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi pada Gambar 2.8 menunjukkan pengiriman data WSN dengan metode *Single Hop*.



Gambar 2. 8 Pengiriman data WSN dengan metode *Single Hop*.

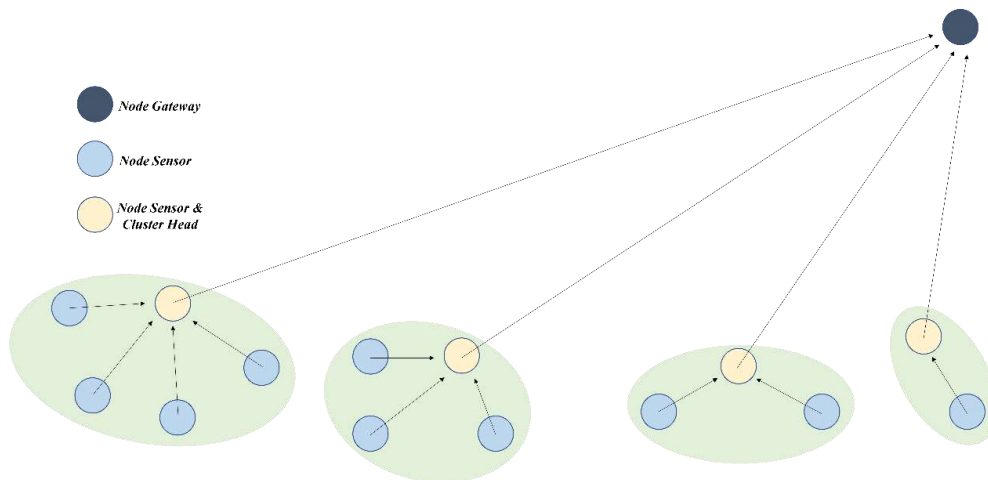
Selanjutnya terdapat *Multi-hop* dalam *Wireless Sensor Networks* (WSN) seperti pada Gambar 2.9 merupakan metode pengiriman data di mana setiap *node* sensor mengirimkan data melalui beberapa *node* perantara sebelum mencapai *node* penerima. Metode ini memungkinkan jaringan untuk mencakup area yang lebih luas, sehingga setiap *node* yang berada jauh dari *node sink* masih dapat berkontribusi dalam pengumpulan data dengan mengandalkan *node* lain untuk meneruskan informasi. Selain itu, penggunaan *multi-hop* dapat mengurangi beban energi pada setiap *node*, karena tidak semua *node* harus mengirimkan data dalam jarak jauh sekaligus. Dengan demikian, metode ini menawarkan kemampuan skalabilitas yang lebih baik, mampu menangani lebih banyak *node* dalam jaringan. Namun, *multi-hop* juga memerlukan algoritma *routing* yang lebih kompleks untuk menentukan jalur terbaik bagi pengiriman data, yang dapat mempengaruhi waktu dan konsumsi energi. Contohnya, dalam pemantauan kualitas udara di kota, *node sensor* dapat mengumpulkan data dan mengirimkannya melalui beberapa *node* hingga mencapai server pusat. Dengan cara ini, *multi-hop* meningkatkan efisiensi dan keandalan pengiriman data dalam aplikasi yang lebih besar dan kompleks.



Gambar 2. 9 Pengiriman data WSN dengan metode *Multi Hop*.

Terdapat Metode *clustering* dalam *Wireless Sensor Networks* (WSN) seperti Gambar 2.10 adalah pendekatan yang mengelompokkan *node sensor* ke dalam grup atau *cluster* untuk meningkatkan efisiensi pengiriman data dan mengurangi konsumsi energi yang

digambarkan pada menunjukkan pengiriman data WSN dengan metode *Clustering*. Dalam metode ini, setiap *cluster* memiliki satu *node* yang bertindak sebagai *cluster head* (kepala *cluster*), yang bertugas untuk mengumpulkan data dari anggota *cluster* dan mengirimkannya ke *node sink* atau *gateway*. Dengan cara ini, komunikasi menjadi lebih terorganisir dan mengurangi jumlah pengiriman langsung yang diperlukan, karena hanya *cluster head* yang mengirimkan data ke *sink*. Metode *clustering* juga memungkinkan pengelolaan energi yang lebih baik, karena beban pengiriman data dibagi di antara anggota *cluster*. Contoh penerapan metode *clustering* dapat dilihat dalam sistem pemantauan lingkungan, di mana sensor yang terpasang di area luas dikelompokkan ke dalam *cluster*. Setiap *cluster head* mengumpulkan data dari *node*-nya dan mengirimkan informasi tersebut ke pusat pemrosesan, sehingga meminimalkan penggunaan energi dan memperpanjang umur baterai *node sensor*.



Gambar 2. 10 Pengiriman data WSN dengan metode *Clustering*.

2.4.3 Analisis *Quality of Services* (QoS)

Quality of Services (QoS) merujuk pada kemampuan sebuah modul komunikasi untuk memastikan layanan berkualitas tinggi dengan menyediakan *bandwidth* yang memadai, mengurangi kehilangan paket, dan mengatasi keterlambatan. Parameter QoS adalah *throughput*, *packet loss* dan *delay*.

(1) *Throughput*

Throughput adalah ukuran kapasitas suatu jaringan dalam mengirimkan data. Ini menunjukkan seberapa cepat data dapat ditransfer melalui jaringan, diukur dalam *bit* per detik (bps) atau *Byte* per detik (Bps). *Throughput* mengacu pada jumlah paket yang berhasil diterima di tujuan selama periode waktu tertentu, dibagi dengan durasi periode tersebut dirumuskan dengan persamaan (2.4):

$$TP = \frac{D}{T} \quad (2.4)$$

di mana:

TP: *Throughput* (bps)

D : Jumlah data yang berhasil ditransfer (bit)

T : Waktu yang diperlukan untuk transfer (detik)

Standarisasi *Throughput* menurut TIPHON dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Standar *Throughput* [28].

Kategori <i>Throughput</i>	<i>Throughput</i> (bps)	Indeks
<i>Poor</i>	$TP \geq 75$	1
<i>Medium</i>	$50 \leq TP < 75$	2
<i>Good</i>	$25 \leq TP < 50$	3
<i>Perfect</i>	$TP < 25$	4

Berdasarkan Tabel 2.1, standarisasi *throughput* menurut TIPHON mengelompokkan ke dalam empat kategori. Kategori "*poor*" memiliki kecepatan di bawah 25 bps, "*medium*" memiliki kecepatan 50 bps, "*good*" memiliki kecepatan 75 bps, dan "*perfect*" memiliki kecepatan 100 bps.

(2) *Packet Loss*

Packet loss mengacu pada jumlah paket data yang hilang selama proses pengiriman menuju tujuan. Ini merupakan parameter yang menggambarkan total kehilangan paket selama transmisi. *Packet loss* bisa terjadi karena masalah pada media transmisi fisik atau karena satu atau lebih paket data gagal mencapai tujuannya. *Packet loss* dihitung sebagai persentase dari paket yang berhasil dikirim. dirumuskan pada Persamaan (2.5):

$$Pl (\%) = \frac{(Pk - Pd)}{Pd} \times 100\% \quad (2.5)$$

di mana:

Pl : *Packed loss*

Pk : Jumlah paket yang dikirim

Pd : Jumlah paket yang diterima

Standarisasi *Packet Loss* menurut TIPHON dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Standar *Packet Loss* [28].

Kategori <i>Packet loss</i>	<i>Packet Loss</i>	Indeks
<i>Poor</i>	$Packet Loss \geq 25\%$	1
<i>Medium</i>	$15\% \leq Packet Loss < 25\%$	2
<i>Good</i>	$3\% \leq Packet Loss < 15\%$	3
<i>Perfect</i>	$0\% \leq Packet Loss < 3\%$	4

Berdasarkan Tabel 2.2 di atas, *Packet loss* dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori berdasarkan persentase kehilangan paket. Kategori "*poor*" mencakup persentase lebih dari 25%, "*medium*" berada dalam rentang 12-24%, "*good*" terletak dalam rentang 3-14%, dan "*perfect*" memiliki persentase antara 0-2%.

(3) *Delay*

Delay adalah waktu yang diperlukan oleh sebuah paket data dari saat dikirim oleh pengirim hingga diterima oleh penerima. Ini juga dapat diartikan sebagai total waktu yang tertunda akibat proses transmisi dari satu titik ke titik tujuan. *Delay* dipengaruhi oleh jarak, media transmisi, dan waktu proses yang diperlukan dengan Persamaan (2.6)

$$D = Td - Tk \quad (2.6)$$

di mana:

D : *Delay*

Td : Waktu paket dikirim (detik)

Tk : Waktu paket diterima (detik)

Standarisasi nilai *delay* menurut TIPHON dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Standar *Delay* [28].

Kategori <i>Delay</i>	<i>Delay</i> (ms)	Indeks
<i>Poor</i>	$450 > \text{Delay}$	1
<i>Medium</i>	$300 < \text{Delay} \leq 450$	2
<i>Good</i>	$150 < \text{Delay} \leq 300$	3
<i>Perfect</i>	$\text{Delay} \leq 150$	4

Berdasarkan Tabel 2.3 standar TIPHON, *delay* dapat dibagi menjadi empat kategori. Kategori "*poor*" (jelek) mencakup nilai *delay* lebih dari 450 ms, "*medium*" (sedang) berada dalam rentang 300-450 ms, "*good*" (bagus) berada dalam rentang 150-300 ms, dan "*perfect*" (sangat baik) memiliki nilai *delay* kurang dari 150 ms.

2.4.4 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

Received Signal Strength Indicator (RSSI) dalam konteks Wi-Fi adalah metrik yang mengukur kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat dari *router* atau titik akses. RSSI diukur dalam desibel milliwatt (dBm), dengan rentang nilai umumnya berkisar

antara -30 dBm hingga -100 dBm. Semakin tinggi nilai RSSI, semakin kuat sinyal yang diterima, dan sebaliknya, semakin rendah nilai RSSI, semakin lemah sinyalnya.

Dalam jaringan Wi-Fi, nilai RSSI sangat penting karena mempengaruhi kualitas koneksi dan kecepatan data yang dapat diperoleh. Nilai RSSI antara -30 dBm hingga -50 dBm menunjukkan sinyal yang sangat kuat, menghasilkan koneksi Wi-Fi yang stabil dan cepat, ideal untuk aktivitas intensif seperti *streaming video* HD atau *gaming online*. Nilai antara -50 dBm hingga -60 dBm menunjukkan sinyal yang masih kuat, umumnya memberikan pengalaman yang baik untuk aktivitas online seperti *browsing* dan *streaming video* standar dengan stabilitas koneksi yang memadai [29].

Sinyal yang berada dalam rentang -60 dBm hingga -70 dBm dianggap cukup kuat, tetapi mulai menunjukkan penurunan kecepatan dan stabilitas, dengan kemungkinan gangguan selama aktivitas berat di jaringan. Sementara itu, nilai RSSI di bawah -70 dBm menandakan sinyal yang lemah, dengan penurunan performa yang mungkin signifikan, termasuk kecepatan data yang rendah dan peningkatan *latency*. Pada kondisi ini, mungkin diperlukan perbaikan posisi *router* atau penggunaan penguat sinyal seperti *repeater* untuk meningkatkan kualitas sinyal. Dalam penerapannya dapat dilihat dari Tabel 2.4 dan Persamaan (2.7), dengan A merupakan kekuatan sinyal yang diterima dalam jarak referensi dengan satuan dBm, n adalah konstanta propagasi sinyal atau eksponen (*path loss exponent*), d merupakan jarak antara pemancar dan penerima [29].

$$RSSI = A - 10n \log d \quad (2.7)$$

Tabel 2. 4 *Path Loss Exponent* untuk Kondisi Lingkungan yang Berbeda [29].

<i>Environment</i>	<i>Path Loss Exponent</i>
<i>Free Space</i>	2
<i>Urban area cellular radio</i>	2,7 to 3,5
<i>Shadowed urban cellular radio</i>	3 to 5
<i>In Building line of sight</i>	1,6 to 1,8
<i>Obstructed in building</i>	4 to 6
<i>Obstructed in factories</i>	2 to 3

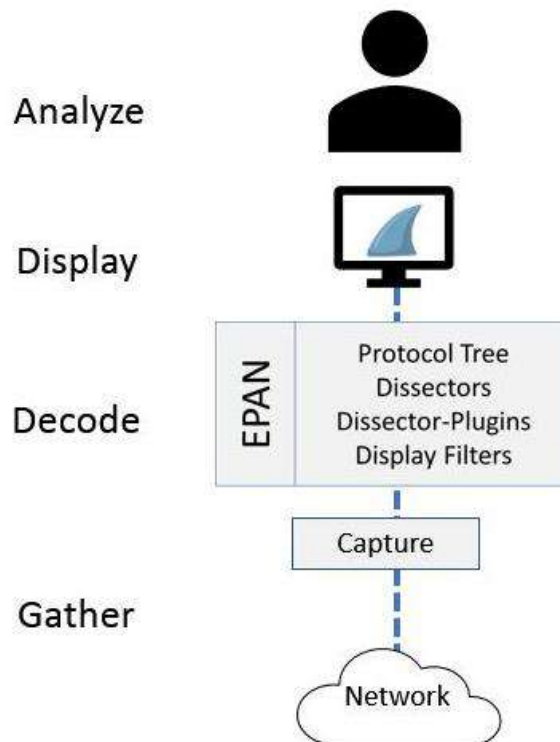
Faktor-faktor seperti jarak antara perangkat dan *router*, hambatan fisik, serta interferensi dari perangkat nirkabel lain dapat mempengaruhi nilai RSSI. Dengan memahami nilai RSSI, pengguna dapat mengoptimalkan penempatan *router* Wi-Fi untuk memastikan cakupan sinyal yang lebih baik di seluruh area yang diinginkan, meningkatkan kualitas koneksi secara keseluruhan.

2.4.5 Wireshark

Wireshark adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk analisis jaringan. Ini adalah alat *open-source* yang sangat populer di kalangan profesional jaringan dan peneliti keamanan, yang memungkinkan pengguna untuk menangkap dan menganalisis paket-paket data yang dikirim melalui jaringan komputer.

Wireshark memungkinkan pengguna untuk memantau lalu lintas jaringan secara *real-time* dan menangkap paket-paket data yang melewati antarmuka jaringan tertentu. *Wireshark* menyediakan antarmuka yang kuat untuk menganalisis paket-paket data yang ditangkap. Pengguna dapat melihat detail lengkap dari setiap paket, termasuk *header* protokol, *payload* data, alamat sumber dan tujuan, dan banyak lagi. *Wireshark* juga menyediakan fitur *filtering* yang kuat, yang memungkinkan pengguna untuk memfilter paket-paket berdasarkan berbagai kriteria seperti alamat IP, protokol, *port*, dan lain-lain. Ini memungkinkan pengguna untuk fokus pada paket-paket yang relevan untuk tujuan analisis mereka. *Wireshark* memiliki kemampuan untuk mendekode berbagai protokol jaringan yang umum digunakan, termasuk protokol TCP/IP, UDP,

HTTP, DNS, FTP, dan banyak lagi. Ini memungkinkan pengguna untuk melihat detail dari komunikasi jaringan yang terjadi di dalam paket-paket data. *Wireshark* memungkinkan pengguna untuk menyimpan hasil penangkapan dalam berbagai format file, termasuk format PCAP yang umum digunakan. Pengguna juga dapat merekam lalu lintas jaringan untuk analisis lebih lanjut di kemudian hari. *Wireshark* adalah proyek *open-source* yang memiliki komunitas pengguna yang besar dan aktif. Ini berarti ada banyak sumber daya, tutorial, dan dukungan yang tersedia bagi pengguna yang baru mulai menggunakan perangkat lunak ini. *Wireshark* sangat berguna untuk mendiagnosis masalah jaringan, menelusuri alur komunikasi jaringan, mengidentifikasi potensi ancaman keamanan, dan banyak lagi [30].



Gambar 2. 11 *Phases of packet analysis* [30].

Dalam proses analisis paket, terdapat beberapa langkah penting yang harus diikuti untuk memastikan bahwa analisis dilakukan secara efektif seperti pada Gambar 2.11. Langkah pertama adalah *Gather* (pengumpulan), di mana data dari jaringan dikumpulkan menggunakan alat seperti *Wireshark*. Pada tahap ini, penting untuk

memilih antarmuka jaringan yang tepat dan menerapkan filter penangkapan untuk menyaring data yang tidak relevan, sehingga hanya data yang diperlukan yang dikumpulkan untuk analisis lebih lanjut [30].

Setelah data berhasil dikumpulkan, langkah berikutnya adalah *Prepare* (persiapan). Pada tahap ini, data yang dikumpulkan dibersihkan dari paket yang rusak atau tidak relevan. Data kemudian diatur ulang atau dikelompokkan berdasarkan kriteria tertentu untuk memudahkan proses analisis. Persiapan yang baik membantu memastikan bahwa data yang dianalisis adalah akurat dan relevan.

Analyze (analisis) adalah tahap berikutnya, di mana paket yang telah dikumpulkan diperiksa secara mendetail. Analisis memeriksa isi paket, memahami protokol yang digunakan, dan mencari anomali atau pola yang mungkin menunjukkan masalah jaringan. *Wireshark* menyediakan berbagai alat dan fitur seperti *display filters*, statistik, dan visualisasi untuk membantu dalam analisis ini, memungkinkan pengguna untuk mendapatkan wawasan mendalam tentang kinerja dan status jaringan.

Setelah analisis dilakukan, tahap *Act* (tindakan) diperlukan untuk memperbaiki atau mengoptimalkan kinerja jaringan. Berdasarkan hasil analisis, tindakan korektif atau pencegahan diambil, seperti penyesuaian konfigurasi jaringan, pembaruan perangkat lunak, atau langkah-langkah lain yang diperlukan untuk menangani masalah yang terdeteksi selama analisis. Tindakan ini bertujuan untuk memastikan bahwa masalah jaringan diatasi dengan efektif.

Fase terakhir adalah *Report* (pelaporan), di mana temuan dan tindakan yang diambil selama analisis didokumentasikan. Laporan ini penting untuk referensi di masa depan, pemecahan masalah, dan komunikasi dengan tim lain yang terlibat dalam pengelolaan jaringan. Dokumentasi yang baik membantu memastikan bahwa semua langkah dan keputusan yang diambil dapat ditelusuri dan dipahami oleh semua pihak yang relevan [30].

2.4.6 ThingsBoard

ThingsBoard menawarkan antarmuka pengguna dan API REST yang memungkinkan pengelolaan berbagai jenis entitas dan hubungan dalam aplikasi IoT. Entitas yang didukung meliputi penyewa, yang dapat dianggap sebagai entitas bisnis terpisah, baik individu maupun organisasi, yang memiliki atau memproduksi perangkat dan aset. Setiap penyewa dapat memiliki beberapa pengguna administrator dan mampu mengelola jutaan pelanggan, perangkat, serta aset. Pelanggan, yang juga merupakan entitas bisnis terpisah, berfungsi untuk membeli atau menggunakan perangkat.

Pengguna dapat mengakses *dashboard* dan mengelola entitas. *Dashboard* digunakan untuk memvisualisasikan data IoT dan mengontrol perangkat melalui antarmuka pengguna. *Node* aturan memproses pesan masuk dan peristiwa terkait siklus hidup entitas, sedangkan rantai aturan mendefinisikan alur pemrosesan dalam mesin aturan, yang dapat berisi beberapa node aturan serta tautan ke rantai aturan lainnya. Setiap entitas mendukung atribut, data seri waktu, dan hubungan dengan entitas lain, seperti pengelolaan atau pengandung. Beberapa entitas juga memiliki profil, seperti profil penyewa, profil perangkat, dan profil aset, yang menyimpan pengaturan umum dan konfigurasi untuk kelompok entitas tersebut, di mana setiap entitas hanya dapat memiliki satu profil pada satu waktu [31].

2.4.7 Iperf atau Jperf

Platform Iperf dan *Jperf* adalah *Platform* yang digunakan untuk mengukur dan menguji kinerja jaringan, khususnya dalam hal *throughput* (kecepatan data yang dapat dikirim melalui jaringan). Keduanya sangat berguna untuk memastikan bahwa jaringan berfungsi dengan optimal. *Iperf* dan *Jperf* dapat mengukur kecepatan transfer data antara dua titik dalam jaringan, juga mendukung TCP dan UDP, yang memungkinkan pengukuran kinerja untuk kedua jenis protokol ini, dan dapat menentukan berbagai parameter seperti ukuran jendela TCP, jumlah koneksi paralel, durasi tes, dan lainnya.

Jperf merupakan antarmuka grafis berbasis *Java* untuk *Iperf*. Ini menyediakan fitur yang sama dengan *Iperf*, tetapi dengan antarmuka pengguna grafis (GUI) yang lebih ramah pengguna. *Jperf* memudahkan pengguna yang mungkin tidak nyaman menggunakan alat baris perintah untuk tetap dapat melakukan pengujian kinerja jaringan. *Iperf* dan *Jperf* dapat digunakan untuk mengidentifikasi masalah jaringan seperti *bottleneck*, latensi tinggi, dan kehilangan paket. *Bottleneck* dalam konteks jaringan komputer dan kinerja sistem merujuk pada titik atau komponen dalam sistem yang membatasi keseluruhan kapasitas atau kinerja. Ini adalah elemen yang menyebabkan penundaan atau perlambatan aliran data karena memiliki kapasitas yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian lain dari sistem. *Iperf* dan *Jperf* dapat membantu dalam mengoptimalkan pengaturan jaringan dengan mengukur efek dari perubahan konfigurasi. *Iperf* dan *Jperf* dapat memastikan bahwa jaringan memenuhi persyaratan kinerja yang diperlukan untuk aplikasi tertentu. Dengan menggunakan *Iperf* dan *Jperf*, administrator jaringan dan profesional TI dapat memperoleh wawasan yang mendalam tentang kinerja jaringan mereka dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalannya.

Dalam sebuah studi laboratorium, kinerja lalu lintas jaringan *Iperf* dibandingkan pada dua komputer Windows yang terhubung melalui tautan 100 Mbps. Pengujian dilakukan untuk berbagai ukuran muatan dari 128 hingga 1408 Byte menggunakan protokol TCP. Hasilnya menunjukkan variasi signifikan diantara alat-alat tersebut, dengan perbedaan lebar pita hingga 16,5 Mbps. *Iperf* mengukur lebar pita tertinggi (93,1 Mbps), sementara lalu lintas IP terendah (76,7 Mbps). Studi ini juga mencakup perbandingan kemampuan tiap lalu lintas [32].

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Universitas.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan pada penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) 1 Unit *Microcontroller* ESP32 Wroom 32D
- 2) 1 Unit Sensor MQ-7
- 3) 1 Unit Sensor MQ-9
- 4) 1 Unit Sensor Suhu DS18B20
- 5) 2 Unit Sensor Ultrasonik
- 6) 1 Unit Sensor DHT 22
- 7) 1 *Power Supply*
- 8) 1 Buah Laptop
- 9) 1 Buah perangkat komputer
- 10) 1 Buah *Router* 300 Mbps
- 11) Kabel *Jumper*

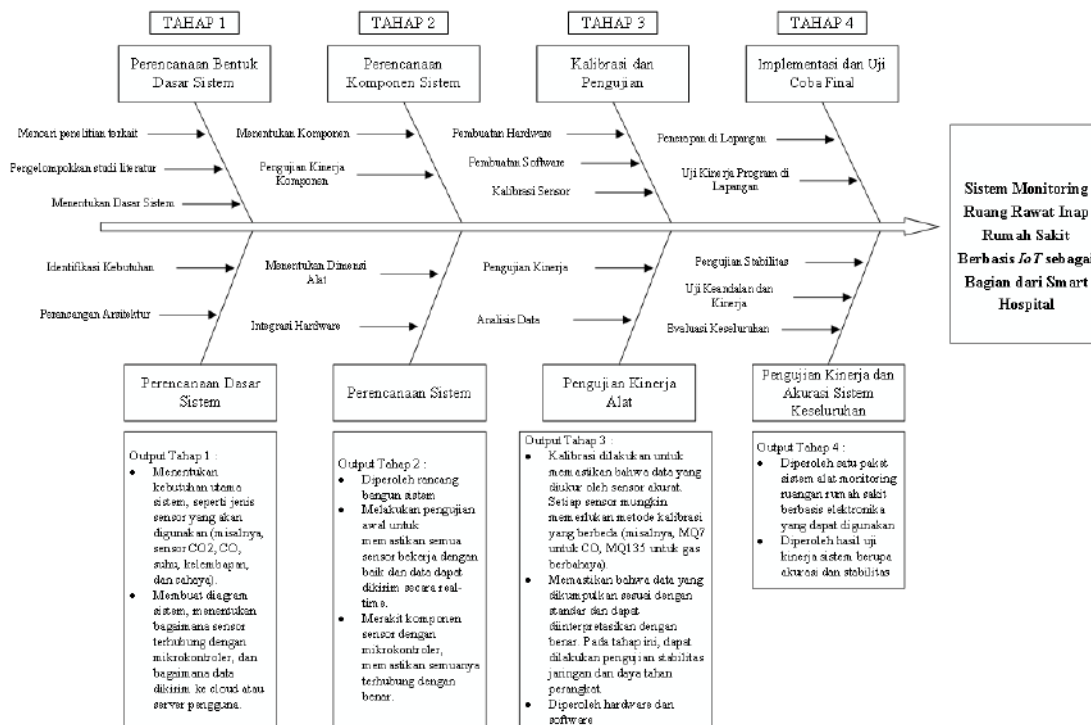
3.3 Spesifikasi Komponen

Adapun spesifikasi komponen yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) *Microcontroller* ESP32.
- 2) Sensor MQ-7 dan Sensor MQ-135 digunakan sebagai pemotoring ruangan.
- 3) Sensor DS18B20 digunakan sebagai sensor suhu.
- 4) Sensor Ultrasonik digunakan untuk mendeteksi jumlah orang yang masuk pada ruangan.
- 5) Sensor DHT 22 digunakan sebagai sensor kelembapan.
- 6) *Power supply* digunakan sebagai sumber daya utama untuk menghidupkan komponen.
- 7) Laptop digunakan untuk melakukan uji kinerja jaringan, sebagai perangkat yang bertindak sebagai klien dan perangkat yang menjalankan *Wireshark*.
- 8) Komputer juga digunakan untuk melakukan uji kinerja jaringan namun bertindak sebagai server.
- 9) Router 300 Mbps digunakan sebagai *access point* yang menyediakan konektivitas nirkabel dalam jaringan lokal terhadap perangkat-perangkat yang akan terhubung.

3.5 Metode Penelitian

Secara keseluruhan tahapan penelitian dibuat dalam bentuk diagram tulang ikan yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian.

Gambar 3.1 menggambarkan tahapan detail dalam pengembangan sistem monitoring ruangan rumah sakit sebagai bagian dari implementasi ruangan cerdas dalam lingkungan rumah sakit. Proses ini dibagi menjadi empat tahap besar, yang saling berkaitan dan dirancang untuk memastikan bahwa sistem yang dihasilkan memiliki kinerja yang optimal, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan rumah sakit modern.

Tahap 1: Perencanaan Bentuk Dasar Sistem

- **Mencari Penelitian Terkait:** Peneliti memulai dengan mencari literatur dan studi yang relevan terkait dengan sistem monitoring berbasis IoT di rumah sakit.
- **Pengelompokan Studi Literatur:** Mengelompokkan penelitian yang sudah ada untuk menemukan celah atau area yang memerlukan pengembangan lebih lanjut.
- **Menentukan Dasar Sistem:** Berdasarkan penelitian yang dikumpulkan, dasar sistem yang akan dibangun ditentukan.

- Identifikasi Kebutuhan: Peneliti mengidentifikasi kebutuhan dari sistem yang akan dikembangkan, seperti jenis sensor yang akan digunakan (CO₂, CO, suhu, kelembapan, dan cahaya).
- Perancangan Arsitektur: Merancang arsitektur sistem, termasuk bagaimana sensor terhubung dengan *microcontroller* dan bagaimana data akan dikirim.

Output Tahap 1 dapat ditentukan jenis sensor yang digunakan serta dasar arsitektur sistem untuk monitoring lingkungan di ruang rumah sakit.

Tahap 2: Perencanaan Komponen Sistem

- Menentukan Komponen: Pemilihan komponen yang tepat, seperti sensor dan *microcontroller* yang akan digunakan.
- Pengujian Kinerja Komponen: Menguji performa masing-masing komponen untuk memastikan mereka berfungsi dengan baik.
- Menentukan Dimensi Alat: Menentukan ukuran fisik dan spesifikasi alat.
- Integrasi *Hardware*: Merakit komponen-komponen *hardware*.
- Pembuatan *Hardware* dan *Software*: Pengembangan prototipe perangkat keras dan pemrograman untuk mengintegrasikan sensor dengan sistem IoT.

Output Tahap 2 diperoleh prototipe pertama alat yang menggabungkan sensor dan *microcontroller* yang sudah diuji untuk fungsionalitas dasar.

Tahap 3: Kalibrasi dan Pengujian

- Kalibrasi Sensor: Melakukan kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi data. Setiap sensor, seperti MQ7 untuk CO dan MQ135 untuk gas, mungkin memerlukan metode kalibrasi yang berbeda.
- Pengujian di Lapangan: Menerapkan alat di lingkungan nyata, seperti ruang rawat inap rumah sakit, untuk menguji bagaimana alat bekerja dalam kondisi sebenarnya.
- Pengujian Kinerja: Mengukur stabilitas alat dan performa sistem selama periode pengujian.

- Analisis Data: Menganalisis data yang dikumpulkan dari sensor untuk memastikan keakuratan dan kegunaan data.

Output Tahap 3 yaitu *hardware* dan *software* yang sudah terkalibrasi dan diuji kinerjanya untuk siap diterapkan di lapangan.

Tahap 4: Implementasi dan Uji Coba Final

- Penerapan di Lapangan: Alat dipasang di ruang rumah sakit untuk uji coba skala penuh.
- Uji Keandalan dan Kinerja: Sistem diuji untuk keandalan jangka panjang dan kinerja dalam lingkungan nyata.
- Pengujian Stabilitas: Pengujian stabilitas jaringan dan daya tahan perangkat dilakukan.
- Evaluasi Keseluruhan: Mengevaluasi sistem secara keseluruhan, memastikan semua aspek bekerja dengan baik dan sesuai kebutuhan.

Output Tahap 4 tercipta sistem monitoring yang lengkap dan siap digunakan di ruang rumah sakit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem sudah akurat dan stabil, siap untuk implementasi penuh.

Secara keseluruhan, diagram ini menggambarkan langkah-langkah sistematis yang diambil mulai dari perencanaan dasar, pembuatan perangkat, kalibrasi, hingga pengujian dan implementasi di lingkungan nyata. Diagram ini juga menekankan pentingnya setiap langkah dalam memastikan bahwa sistem monitoring IoT untuk ruang rumah sakit dapat berfungsi dengan baik, terutama dalam konteks aplikasi rumah sakit yang membutuhkan keakuratan dan keandalan tinggi.

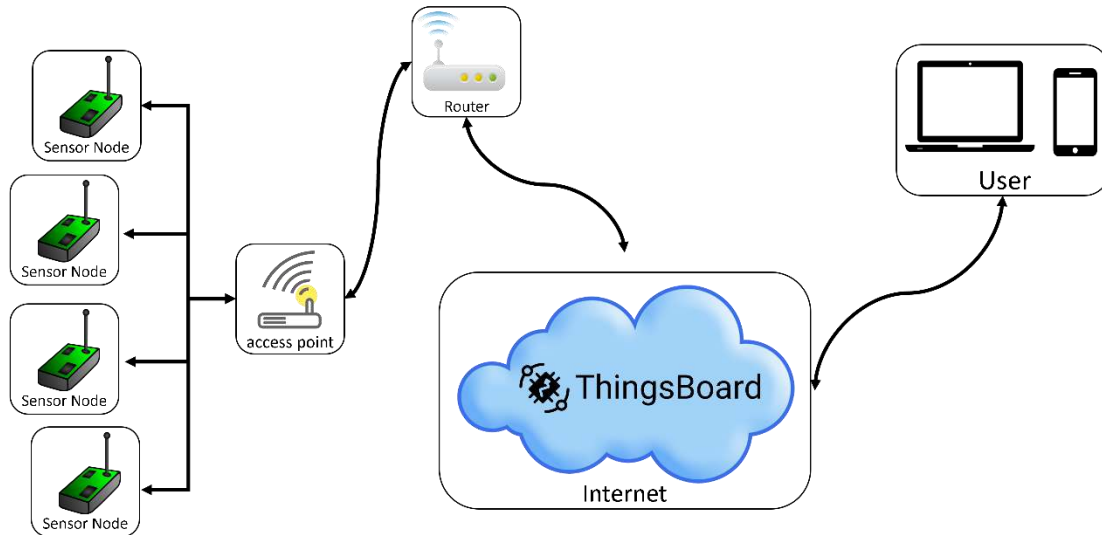


Gambar 3. 2 Diagram blok node.

Diagram blok yang ditampilkan pada menggambarkan arsitektur sistem berbasis IoT untuk pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan dan kesehatan. Dalam diagram blok sistem pada Gambar 3.2 terdapat *multi sensor*. Sistem ini menggunakan berbagai sensor, seperti MQ-135 untuk mendeteksi kualitas udara, MQ-7 untuk mendeteksi karbon monoksida, DS18B20 untuk mengukur suhu, DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, LDR untuk mengukur intensitas cahaya, serta sensor Ultrasonik sebagai pendeteksi orang yang masuk pada ruangan. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini diproses oleh *Microcontroller* ESP32, yang kemudian dapat mengontrol perangkat eksternal seperti lampu melalui *relay*. Sistem ini juga terhubung dengan pengguna yang dapat memantau dan mengontrol kondisi ruangan secara *real-time*, menjadikannya sangat berguna dalam menjaga kenyamanan dan keamanan pasien di lingkungan rumah sakit. Dalam penerapannya seluruh sensor harus terkalibrasi dengan baik sehingga menghasilkan pembacaan yang dapat diandalkan.

Gambar 3.3 menunjukkan arsitektur sistem yang melibatkan sensor *node* yang terhubung ke *Ap*, kemudian data dari *router* dikirimkan ke *ThingsBoard* menggunakan jaringan internet. Dari arsitektur sistem ini, sensor nirkabel mengirimkan data ke *router*, yang selanjutnya mengirimkan data tersebut ke *ThingsBoard* untuk diproses,

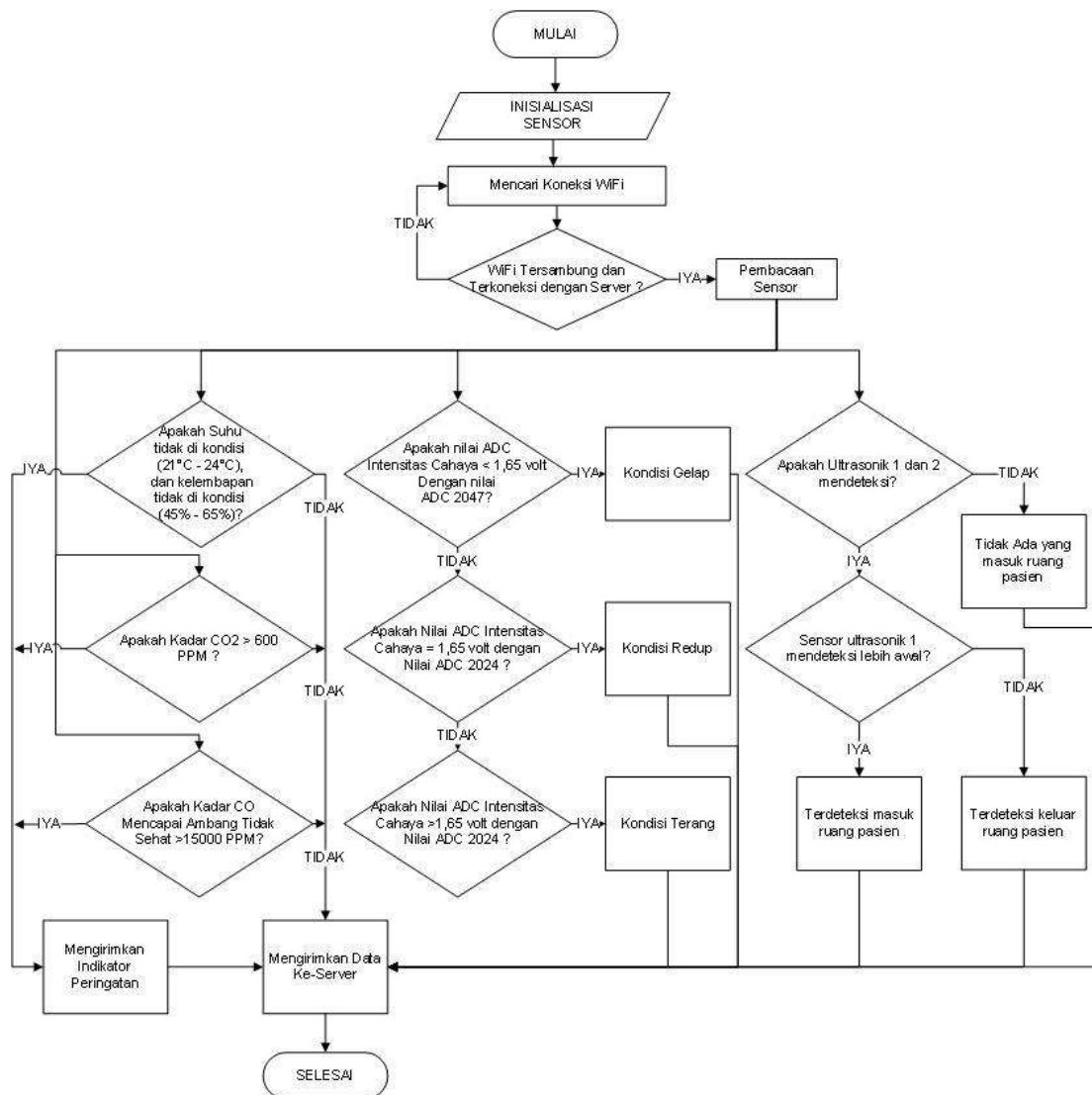
divisualisasikan, atau untuk tindakan lebih lanjut serta dapat dilihat langsung dengan pengguna.



Gambar 3. 3 Arsitektur Sistem

Diagram alir pada Gambar 3.4 yang ditampilkan menunjukkan tahapan dari proses monitoring berbasis sensor untuk mendeteksi kondisi ruang rawat inap, yang melibatkan parameter suhu, kelembapan, intensitas cahaya, kadar CO₂, dan kadar CO. Proses dimulai dengan inisialisasi sensor, di mana perangkat mulai melakukan persiapan pengukuran sensor untuk mendapatkan data lingkungan yang diperlukan.

Setelah inisialisasi, perangkat akan mencari koneksi Wi-Fi yang memungkinkan komunikasi dengan server. Jika koneksi Wi-Fi berhasil ditemukan dan perangkat terhubung dengan server, perangkat melanjutkan proses dengan membaca data sensor. Namun, jika tidak terhubung dengan Wi-Fi, perangkat akan terus mencoba mencari koneksi hingga terhubung.



Gambar 3. 4 Diagram alir program

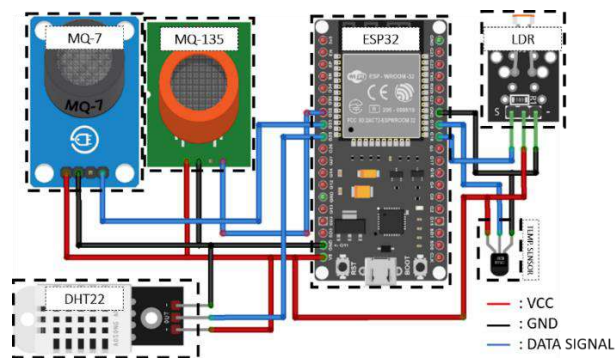
Data sensor yang dikumpulkan akan dianalisis berdasarkan berbagai kondisi. Pertama, perangkat akan memeriksa intensitas cahaya dengan membandingkan nilai ADC intensitas dengan ambang batas 2047 atau sekitar 1,65 volt. Jika nilainya lebih kecil, maka kondisi dianggap gelap, dan jika lebih besar dari 2047 atau sekitar 1,65 volt, perangkat akan memeriksa ulang untuk menentukan apakah kondisinya terang atau redup, serta pembacaan kondisi jumlah orang pada ruangan pasien menggunakan sensor ultrasonik.

Selain itu, perangkat juga memantau suhu dan kelembapan. Jika suhu tidak berada dalam rentang optimal (21°C-24°C) dan kelembapan berada di luar kisaran 45%-65%, perangkat akan mengirimkan peringatan. Kondisi kadar CO₂ dan CO juga diperiksa; jika kadar CO₂ melebihi 600 PPM atau CO mencapai ambang tidak sehat lebih dari 15000 PPM, perangkat akan mengirimkan indikator peringatan ke server.

Setelah semua parameter diperiksa, perangkat akan mengirimkan data ke server, baik itu data pengukuran normal atau data peringatan untuk kondisi yang tidak sehat. Dengan ini, sistem memastikan bahwa setiap perubahan signifikan dalam lingkungan terdeteksi dan diinformasikan ke pengguna, memungkinkan tindakan pencegahan yang cepat dan tepat.

3.6 Perancangan Model

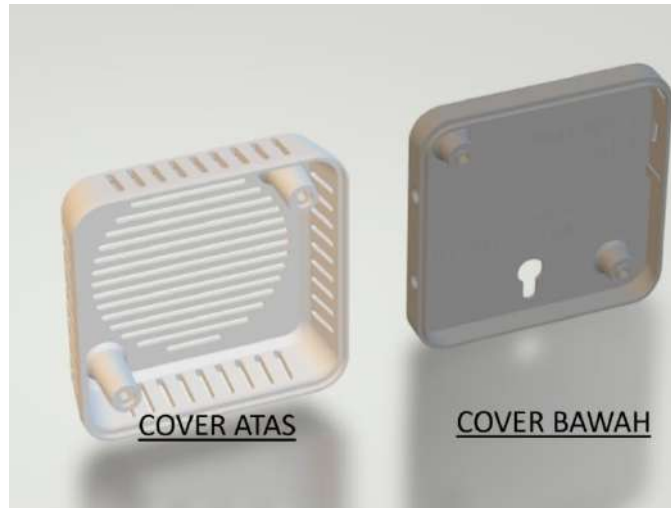
Secara umum rancangan yang dibuat merupakan desain awal pengujian alat. Pada tahapan perancangan ini meliputi perakitan komponen dan *casing*, komponen yang akan dirakit akan dibentuk menjadi satu kesatuan yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Desain *Node Sensor*.

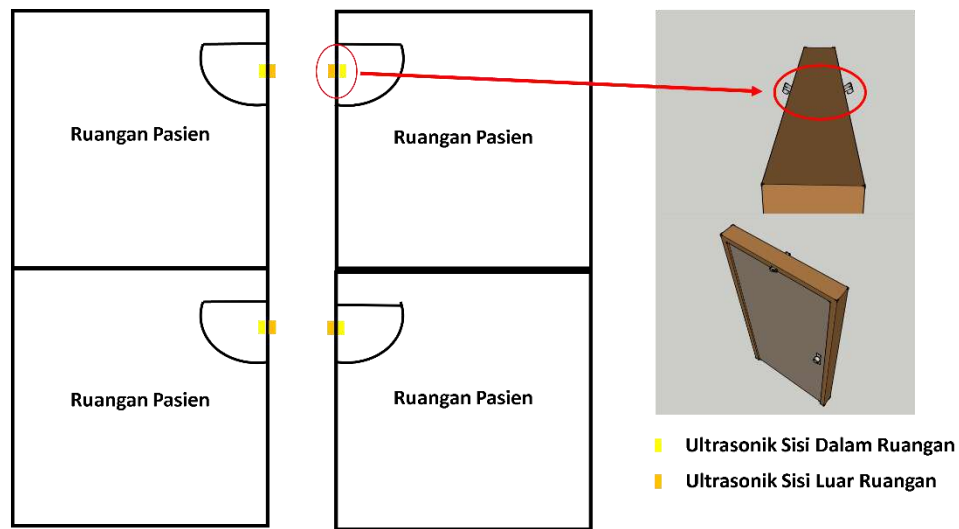
Pada desain awal pengujian alat beberapa sensor yang digunakan meliputi MQ-7, MQ-135, DHT22, LDR, Sensor ultrasonik dan Sensor suhu yang menggunakan *Microcontroller* ESP32, dalam kesatuan dari semua sensor akan dimasukkan pada

desain *hardcase* yang didesain. Pada Gambar 3.6 desain yang berongga diharapkan dapat menghasilkan sirkulasi yang baik sehingga sensor-sensor dapat bekerja dengan baik mendeteksi lingkungan sekitar.



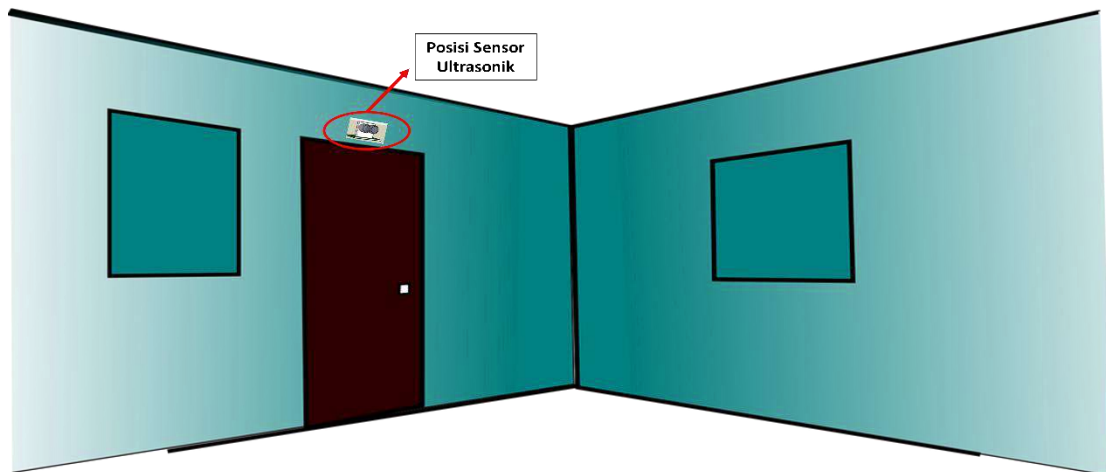
Gambar 3. 6 Desain Cover Alat.

Dalam implementasi sistem sensor ultrasonik, digunakan dua unit sensor ultrasonik yang berfungsi untuk memantau pergerakan orang yang masuk dan keluar dari sebuah ruangan. Sensor pertama ditempatkan di pintu masuk dan sensor kedua di sisi pintu sebaliknya, membentuk pengaturan yang memungkinkan pemantauan arah pergerakan masuk dan keluar ruangan, dapat dilihat pada Gambar 3.7 desain peletakan sensor ultrasonic dan Gambar 3.8 menunjukkan desain peletakan sensor pada salah satu sisi pintu.



Gambar 3. 7 Desain Peletakan Sensor Ultrasonik.

Ketika seseorang melangkah ke arah pintu masuk dan terdeteksi oleh sensor ultrasonik pertama dan diikuti oleh deteksi pada sensor ultrasonik kedua, sistem akan mengenali pola ini sebagai indikasi bahwa seseorang telah memasuki ruangan. Sistem kemudian secara otomatis mencatat penambahan jumlah orang di dalam ruangan.



Gambar 3. 8 Desain Peletakan Sensor Pada Salah Satu Sisi Pintu.

Sebaliknya, jika seseorang bergerak keluar dari ruangan dan sensor kedua terlebih dahulu mendeteksi objek, diikuti oleh sensor pertama, sistem akan mengenali pola

tersebut sebagai orang yang meninggalkan ruangan. Akibatnya, jumlah orang di ruangan tersebut akan berkurang sesuai dengan deteksi tersebut.

Tabel 3. 1 Tabel Situasi Sensor.

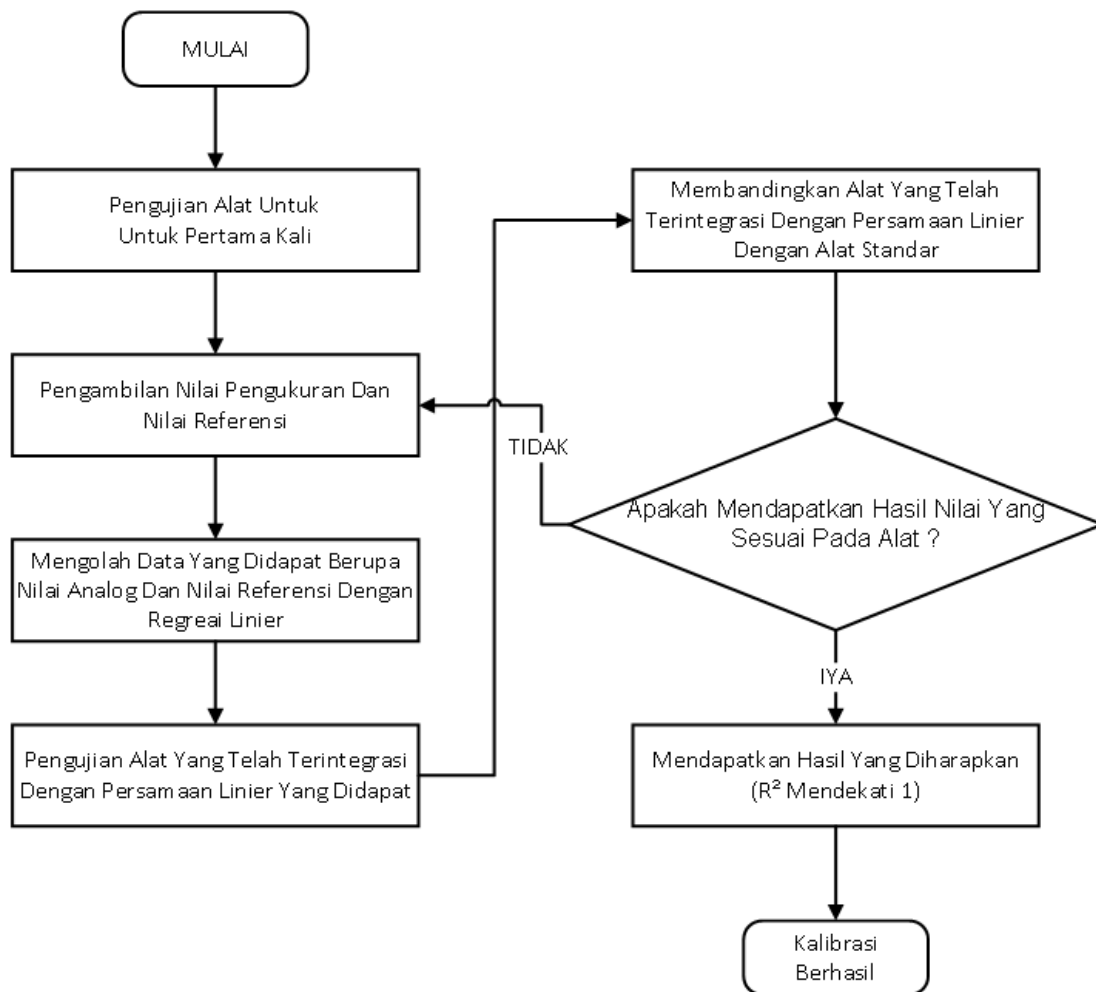
kondisi	Arah Sensor	Keadaan Sensor		Keterangan
		Sensor 1	Sensor 2	
1	Sensor 1→ Sensor 2	Mendeteksi	Mendeteksi	Objek masuk ke ruangan
2	Sensor 2→ Sensor 1	Mendeteksi	Mendeteksi	Objek keluar dari ruangan
3	Sensor 1→ Sensor 2	Mendeteksi	Tidak mendeteksi	Tidak ada objek yang masuk
4	Sensor 2→ Sensor 1	Tidak mendeteksi	Mendeteksi	Tidak ada objek yang keluar
5	Sensor 1→ Sensor 2 / Sensor 2→ Sensor 1	Tidak mendeteksi	Tidak mendeteksi	Tidak ada objek yang masuk/keluar

Sistem ini bekerja dengan prinsip dasar memantau urutan deteksi kedua sensor, sensor satu terdapat pada pintu depan ruangan sedangkan sensor dua berada pada dalam ruangan sehingga dapat membedakan apakah seseorang sedang masuk atau keluar terdapat Tabel 3.1. Pendekatan ini sangat bermanfaat dalam situasi seperti di rumah sakit, di mana penting untuk memantau jumlah orang di dalam ruangan secara *real-time*, seperti di ruang perawatan atau ruang isolasi pasien, guna meningkatkan efisiensi dan keamanan.

3.7 Kalibrasi Menggunakan Regresi Linier

Kalibrasi memiliki tujuan untuk menentukan akurasi dari sebuah alat ukur dan menjamin hasil pengukuran. Kalibrasi memiliki manfaat untuk menjaga kondisi agar alat tetap berada pada pembacaan yang sesuai dengan alat referensi. Maka dari itu dilakukan regresi linier, seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2 Subbab 2.3, untuk menentukan hubungan linier antar alat yang akan dikalibrasi dengan alat yang sesuai dengan standarisasi metode ini disebut metode regresi linier. Tujuan dari menentukan

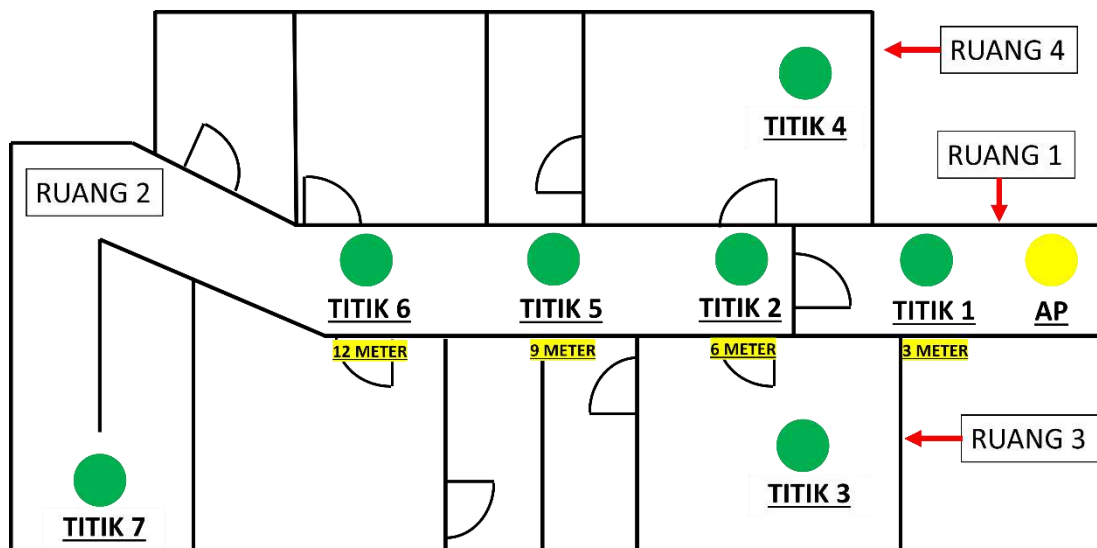
hubungan linier dari kedua variabel (nilai uji dan nilai standar) untuk menemukan persamaan garis lurus yang paling sesuai dengan data pengukuran, sehingga persamaan tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi nilai yang dihasilkan oleh alat yang akan digunakan. Adapun diagram pada proses kalibrasi pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Diagram alir proses kalibrasi sensor.

3.8 Pengujian Aspek Jaringan

Uji kinerja jaringan adalah proses sistematis untuk mengukur, mengevaluasi, dan memvalidasi kinerja jaringan komputer. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan bahwa jaringan tersebut dapat mengirim dan menerima data dengan efisiensi yang tinggi, memenuhi kebutuhan aplikasi, serta memberikan kualitas layanan yang baik kepada pengguna akhir. Dalam pengujian aspek jaringan ini diharapkan dapat memastikan kinerja sesuai yang diharapkan. Dalam pengujian menggunakan *software Jperf*, *Wireshark* pengujian ini berbasis pada jaringan WI-FI yang mana terdapat *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) yang digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal radio yang diterima oleh sebuah perangkat penerima, dalam penerapannya dilakukan pengetesan di beberapa titik yang telah ditentukan seperti Gambar 3.10.

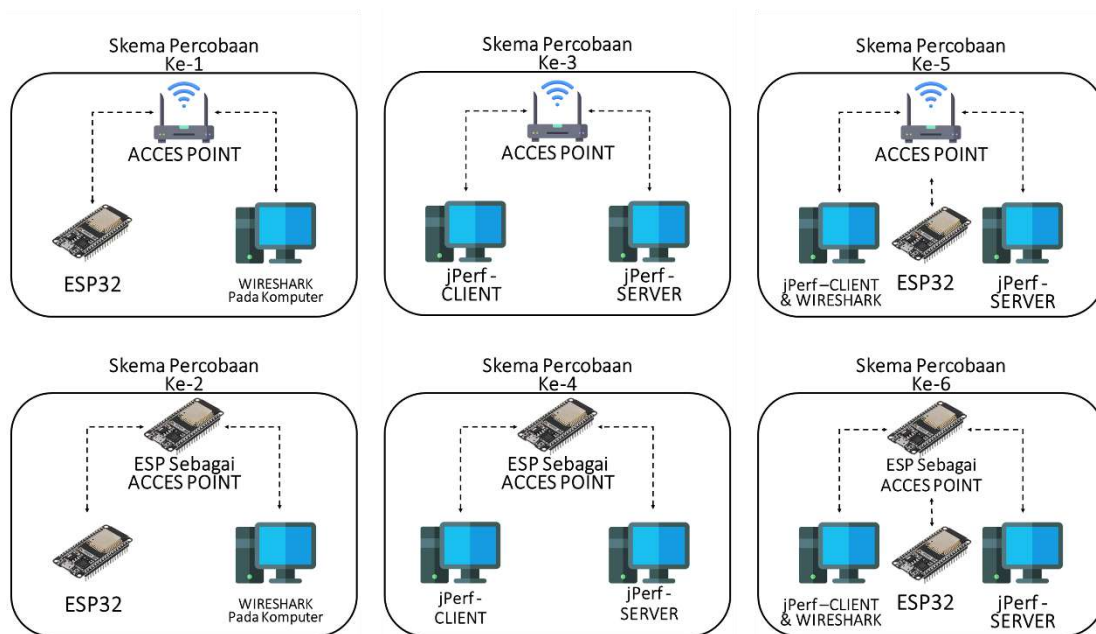


Gambar 3.10 Titik Pengujian Aspek Jaringan.

Titik kuning merupakan tempat *Access point* diletakan yang mana nantinya *node-node* akan terhubung ke *Access Point* yang telah disiapkan, titik-titik berwarna hijau merupakan titik dimana *node* akan diletakan secara berurutan, sehingga mendapatkan nilai nilai RSSI yang diinginkan, dalam penempatan *node* RSSI yang semakin kecil nilainya makan signal yang diterima semakin buruk, Rentang nilai RSSI -30 dBm

menunjukkan koneksi "*Very Good*" (sangat baik), -60 dBm menunjukkan koneksi "*Good*" (baik), -70 dBm menunjukkan koneksi "*Weak*" (lemah), -80 dBm menunjukkan koneksi "*Poor*" (buruk), dan -90 dBm atau lebih rendah menunjukkan "*No Connection*" (tidak ada koneksi) [36].

Setelah melakukan perencanaan titik-titik penempatan *node* dilakukan enam skema pengujian jaringan yang dilakukan secara berurutan. Dengan adanya enam skema pengujian diharapkan dapat menghasilkan data yang baik dan sesuai harapan, untuk menggambarkan rancangan skema dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Rancangan skema dalam uji kinerja jaringan.

Pelaksanaan uji jaringan akan dilakukan dengan empat skema berbeda, yaitu:

Skema Percobaan Ke-1:

- Konfigurasi: ESP32 dan komputer langsung terhubung ke *Access Point* eksternal (seperti *router*). Data lalu lintas jaringan dipantau menggunakan Wireshark pada komputer.

- Tujuan:
 - Mengukur performa konektivitas jaringan dasar antara ESP32 dan komputer.
 - Menilai kualitas sinyal, latensi, dan throughput antara perangkat yang terhubung melalui *Access Point*.

Skema Percobaan Ke-2:

- Konfigurasi:
 - ESP32 dikonfigurasi sebagai *Access Point* (menggantikan **router** eksternal).
 - Perangkat lain, seperti ESP tambahan dan komputer, juga terhubung ke ESP32 tersebut.
 - Data komunikasi jaringan tetap dipantau menggunakan Wireshark.
- Tujuan:
 - Menguji kemampuan ESP32 sebagai *Access Point* dan kestabilannya saat digunakan sebagai titik penghubung.
 - Mengevaluasi performa jaringan saat terdapat beberapa perangkat yang terhubung ke ESP32.

Skema Percobaan Ke-3

- Konfigurasi:
 - ESP32 terhubung ke *Access Point* eksternal sebagai perangkat IoT .
 - Komputer lain dikonfigurasi sebagai *jPerf Server* untuk mengukur performa jaringan (misalnya *throughput*).
 - Komunikasi data terjadi antara komputer *client* dan komputer sebagai *server* melalui *Access Point*.
- Tujuan:
 - Mengukur performa jaringan dalam hal kecepatan transfer data (*throughput*) menggunakan alat seperti jPerf.

- Memvalidasi konektivitas antara ESP32 dan server melalui *Access Point*.

Skema Percobaan Ke-4

- Konfigurasi:
 - ESP32 diatur sebagai *Access Point*, menggantikan router eksternal.
 - Komputer dikonfigurasi sebagai *jPerf Server* untuk menerima data dari perangkat lain.
 - Data dipantau dengan Wireshark untuk menganalisis lalu lintas jaringan.
- Tujuan:
 - Menguji kinerja jaringan yang dikelola oleh ESP32 sebagai *Access Point*.
 - Menilai *throughput* dan stabilitas koneksi dari perangkat yang terhubung ke ESP32.

Skema Percobaan Ke-5

- Konfigurasi:
 - Dua ESP32 digunakan: satu sebagai *client* dan satu sebagai *server*, dengan keduanya terhubung melalui *Access Point* eksternal.
 - Komputer menjalankan Wireshark dan berfungsi sebagai alat analisis tambahan.
- Tujuan:
 - Mengukur performa komunikasi antar ESP32 yang terhubung ke jaringan melalui *Access Point* eksternal.
 - Mengevaluasi efisiensi pengiriman data antara dua perangkat IoT dalam skenario jaringan yang lebih kompleks.

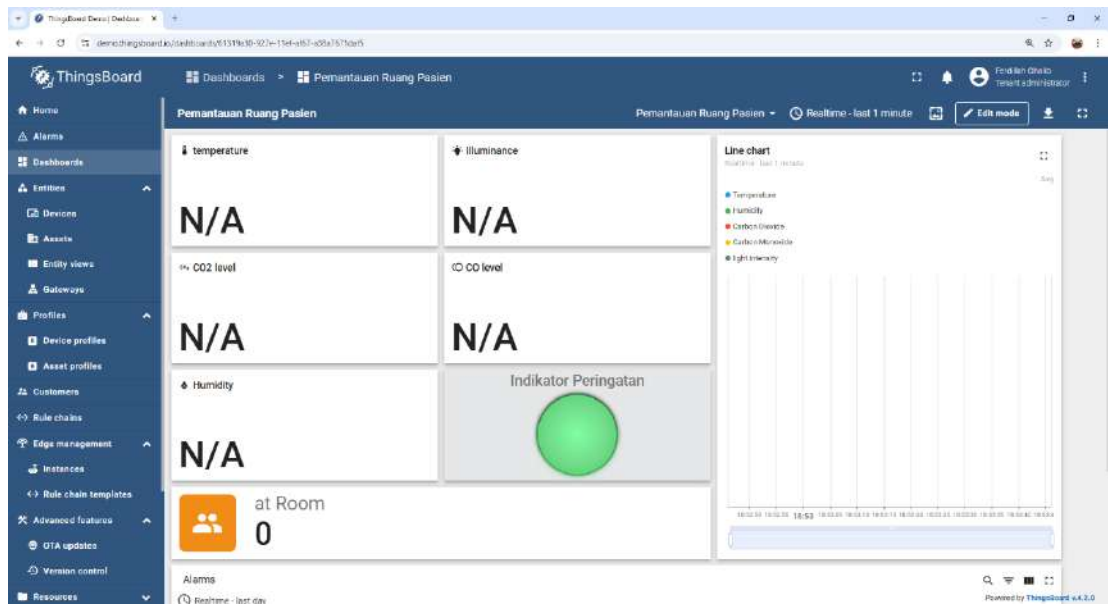
Skema Percobaan Ke-6

- Konfigurasi:
 - Dua ESP32 digunakan: satu sebagai *Access Point* sekaligus *client*, dan satu lagi sebagai *server*.
 - Komunikasi terjadi langsung antara kedua ESP32 tanpa *router* eksternal.
 - Komputer digunakan untuk analisis data (Wireshark).
- Tujuan:
 - Menguji performa jaringan lokal antar perangkat IoT ketika ESP32 berfungsi sebagai *Access Point*.
 - Mengevaluasi kualitas komunikasi langsung antara perangkat, termasuk kecepatan transfer data dan latensi.

Dengan keenam skema ini, diharapkan dapat diperoleh data yang komprehensif mengenai kinerja dan keandalan jaringan dalam berbagai konfigurasi serta peran ESP dalam setiap skema.

3.9 Desain Antarmuka Pengguna (*User interface*)

Desain interaksi antara manusia dan komputer merupakan ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dan komputer dengan berfokus pada proses desain atau siklus desain. Proses perancangan desain antarmuka merupakan hal yang penting dalam perancangan suatu perangkat lunak, dikarenakan antarmuka aplikasi merupakan media komunikasi antara pengembang aplikasi dengan pengguna [35]. Maka dilakukan desain antarmuka yang dapat menghubungkan pengguna dan pengembang, digambarkan pada Gambar 3.12 sebagai desain antar muka pengguna.



Gambar 3. 12 Desain Antar Muka Pengguna.

Gambar 3.12 menampilkan antarmuka untuk "Pemantauan Ruang Pasien" di sebuah *dashboard* berbasis *ThingsBoard*, yang dirancang untuk menampilkan data lingkungan ruangan secara *real-time*. Antarmuka pemantauan ruangan pasien ini menampilkan berbagai parameter lingkungan seperti intensitas cahaya, kadar CO₂, kadar CO, suhu, dan kelembapan, yang saat ini ditampilkan dengan status "N/A" yang berarti tidak ada data yang tersedia. Jika semua sensor node dihidupkan, data akan terkirim dan menggantikan status "N/A" tersebut. Selain itu, terdapat indikator peringatan berupa lingkaran merah sebagai tanda adanya masalah atau gangguan. Terdapat juga informasi mengenai jumlah orang di ruangan tersebut. Di sebelah kanan pada Gambar 3.12 tersedia grafik garis yang akan menampilkan data secara *real-time*, dan di bagian bawah terdapat status alarm untuk memantau kondisi terkini. Secara keseluruhan, antarmuka ini menunjukkan sistem pemantauan *real-time* untuk kondisi lingkungan ruangan pasien.

V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta pengujian sistem monitoring ruang rawat inap rumah sakit berbasis IoT sebagai bagian dari *Smart Hospital*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring ruangan pasien berbasis IoT berhasil dirancang sebagai satu-kesatuan sistem yang mengintegrasikan berbagai sensor, antara lain sensor MQ-7, MQ-135, DS18B20, DHT22, sensor cahaya (LDR), dan sensor ultrasonik. Sistem ini mampu memantau kondisi suhu, kelembapan, konsentrasi gas karbon monoksida dan dioksida, intensitas cahaya, serta jumlah orang di dalam ruangan secara *real-time*, sehingga mendukung pemantauan lingkungan secara menyeluruh.
2. Sistem *web-server* berbasis *ThingsBoard* berhasil dirancang untuk menampilkan dan mengevaluasi indeks kesehatan ruangan pasien. Data yang dikirimkan dari *node sensor* dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik, alarm, dan indikator kesehatan. Hal ini akan memudahkan tenaga medis untuk melakukan evaluasi terhadap kondisi lingkungan dan mengambil keputusan secara cepat dan tepat.
3. Pengujian kinerja jaringan antara *node* dan *access point* menunjukkan bahwa jarak berpengaruh terhadap performa jaringan. Nilai rata-rata ukuran paket (Av. Bytes) dan jumlah data (MBytes) cenderung menurun pada jarak yang lebih jauh, meskipun jumlah paket tetap relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tetap dapat bekerja dengan baik pada jarak tertentu, namun efisiensi transmisi data menurun seiring bertambahnya jarak. Dengan demikian, sistem mendukung hipotesis bahwa konektivitas stabil dapat dicapai selama konfigurasi jaringan disesuaikan.

Keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring yang dirancang dapat meningkatkan efisiensi pemantauan lingkungan ruang rawat inap rumah sakit

dan memberikan dukungan terhadap transformasi menuju smart hospital yang lebih adaptif, responsif, dan efisien.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem monitoring ruang rawat inap rumah sakit ke depan. Pertama, untuk mengatasi penurunan performa jaringan akibat jarak, disarankan agar sistem jaringan dioptimalkan menggunakan metode seperti penambahan repeater guna menjaga kestabilan koneksi antar node dan access point. Kedua, sistem akan lebih efektif jika dilengkapi dengan fitur notifikasi tambahan seperti pengiriman pesan melalui SMS atau integrasi dengan aplikasi mobile, sehingga tenaga medis dapat menerima informasi secara langsung saat terjadi kondisi ruangan yang tidak sesuai standar. Ketiga, implementasi sistem perlu diuji lebih lanjut dalam kondisi nyata di lingkungan rumah sakit sesungguhnya, seperti ruang ICU atau ruang isolasi, agar dapat dievaluasi kinerja dan keandalannya secara komprehensif dalam lingkungan yang dinamis. Selain itu, perawatan dan kalibrasi sensor secara berkala juga perlu dilakukan untuk menjaga akurasi pembacaan sensor, terutama sensor gas dan kelembapan yang cenderung sensitif terhadap perubahan lingkungan. Terakhir, penelitian lanjutan dapat mengembangkan sistem prediktif berbasis kecerdasan buatan (AI) yang mampu memprediksi perubahan kondisi lingkungan ruangan pasien berdasarkan tren data historis, sehingga sistem dapat berperan lebih proaktif dalam menjaga kualitas ruang rawat inap rumah sakit.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka

- [1] T. A. Jacobson, J. S. Kler, M. T. Hernke, R. K. Braun, K. C. Meyer, and W. E. Funk, "Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide," *Nature Sustainability*, vol. 2, no. 1, pp. 691-701, Jul. 2019, DOI: 10.1038/s41893-019-0323-1.
- [2] Mattiuzzi. C and G. Lippi, "Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning," *Hum. Exp. Toxicol.*, vol. 39, no. 4, pp. 1-6, Apr. 2019, DOI: 10.1016/j.toxrep.2020.01.005.
- [3] H. Kumar, and Priya. P, "An *IoT* based Automatic Room Temperature and Health Monitoring System", *International Journal of Engineering and Advanced Techonology (IJEAT)*, vol.11, no.6, pp. 1-4, Aug. 2022, DOI: <https://doi.org/10.54105/ijsp.E1012.02041122> .
- [4] B. Guo, Wang. X, Zhang. X, Yang. J, and Wang. Z, "Research on the Temperature & Humidity Monitoring System in the Key Areas of the Hospital on the Internet of Things", *International Journal of Smart Home*, vol. 10, no. 7, pp 205-216, Jul. 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/ijsh.2016.10.7.21>.
- [5] M. Soe. A, Than. S. S. M, and Myint. M. T, "Hospital Room Air Quality Monitoring and Record System Using Arduino", *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 2, no. 6, pp. 1238-1242, Jun. 2020,
- [6] M. Islam. Md, Rahman. A, and Islam. Md. R, "Development of Smart Healthcare Monitoring System in *IoT* Enviroment", *Sn Computer Science: A Springer Nature Journal*, vol. 1, no. 185, pp. 1-11, May. 2020, DOI: 10.1007/s42979-020-00195-y.
- [7] Y. Zhang, Liu. H, Su. X, Jiang. P, and Wei. D, "Remote Mobile Health Monitoring System Based on Smart Phone and Browser/Server Structure", *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 717-738, Jun. 2015, DOI: <https://doi.org/10.1260/2040-2295.6.4.717>.
- [8] R. Thamaraiselvi, N. Nandhagopal, and P. T. J. Devi, "Smart hospitals using sensor technology and Internet of Things (IoT)," *Journal of Critical Reviews*,

- vol. 7, no. 4, pp. 3865-3873, 2020. DOI: 10.31838/jcr.07.04.428.
- [9] B. G. Mohammed and D. S. Hasan, "Smart healthcare monitoring system using IoT," *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, vol. 17, no. 1, pp. 32-42, Jan. 2023, DOI: 10.3991/ijim.v17i01.34675.
 - [10] T. S. Znad, I. A. M. Al Sayed, S. S. Hameed, I. Al_Barazanchi, P. S. J. Ng, and A. L. Khalaf, "Internet of Things system wearable healthcare for monitoring the challenges of the COVID-19 pandemic," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 6, pp. 385-396, Nov. 2022, DOI: 10.18196/jrc.v3i6.16393.
 - [11] H. J. Kong, S. An, S. Lee, S. Cho, J. Hong, S. Kim, and S. Lee, "Usage of the Internet of Things in medical institutions and its implications," *Healthcare Informatics Research*, vol. 28, no. 4, pp. 287-296, Oct. 2022, DOI: 10.4258/hir.2022.28.4.287.
 - [12] D. K. A. A. Rizk, H. M. Hosny, S. ElHorbety, and A. Salem, "SMART hospital management systems based on Internet of Things: Challenges, intelligent solutions and functional requirements," *International Journal of Informatics and Computer Science (IJICIS)*, vol. 10, no. 1, pp. 23-36, Nov. 2021, DOI: 10.21608/ijicis.2021.82144.1107.
 - [13] I. Al Khatib, A. Shamayleh, and M. Ndiaye, "Healthcare and the Internet of Medical Things: Applications, trends, key challenges, and proposed resolutions," *Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 1-47, Jul. 2024, DOI: 10.3390/informatics11030047.
 - [14] J. T. Kelly, K. L. Campbell, E. Gong, and P. Scuffham, "The Internet of Things: Impact and implications for health care delivery," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 22, no. 11, pp. e20135, Nov. 2020, DOI: 10.2196/20135.
 - [15] V. F. Rodrigues, R. da R. Righi, C. A. da Costa, and R. S. Antunes, "Smart hospitals and IoT sensors: Why is QoS essential here?" *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 11, no. 3, pp. 1-33, Jul. 2022, DOI: 10.3390/jsan11030033.
 - [16] Espressif Systems, "Espressif Systems," 2024. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/>. [Accessed: 16-Oct-2024].
 - [17] E. H. Yayan and M. Zengin, "A key point in medical measurements: Device calibration and knowledge level of healthcare professionals," *International Journal of Caring Sciences*, vol. 13, no. 2, pp. 1346-1354, May-August 2020.
 - [18] DFRobot, "DFRobot," 2024. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/>. [Accessed: 16-Oct-2024].

- [19] E. A. Prastyo, "Pengertian dan cara kerja sensor ultrasonik HC-SR04," *Arduino Indonesia*, Oct. 2022. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/10/pengertian-dan-cara-kerja-sensor-ultrasonik-HC-SR04.html>. [Accessed: 16-Oct-2024].
- [20] R. Xiang and Z. Shi, "Design of millimeter range high precision ultrasonic distance measurement system," in *Proceedings of the International Conference on Communications Security (ICCSEC)*, pp. 1052-1057, Dec. 2017. DOI: 10.1109/ICCSEC.2017.8446880.
- [21] A. K. Sahoo and S. K. Udgata, "A novel ANN-based adaptive ultrasonic measurement system for accurate water level monitoring," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 6, pp. 3359-3369, Jun. 2020. DOI: 10.1109/TIM.2019.2939932.
- [22] S. Indriyanto and I. Y. M. Edward, "Ultrasonik underwater acoustic modem using frequency shift keying (FSK) modulation," in *2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, Nusa Dua, Bali, Indonesia, , pp. 1-4, Jul. 2018, DOI: 10.1109/ICWT.2018.8527809.
- [23] A. J. A. Firdaus, D. Pramono, and W. Purnomo, "Pengembangan sistem informasi UPT kalibrasi Dinas Kesehatan Kabupaten Malang berbasis web," *Jurnal Sistem Integrasi, Pendidikan, dan Sistem Informasi*, vol. 1, no. 1, pp. 23-34, Aug. 2020. DOI: 10.25126/justsi.v1i1.3.
- [24] A. Hadi, *Pemahaman dan penerapan ISO/IEC 17025:2005: Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2007. ISBN: 979222940X.
- [25] S.-Y. Chen and C.-L. Lin, "Wi-Fi-based human activity recognition for continuous, whole-room monitoring of motor functions in Parkinson's disease," *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. PP, no. 99, pp. 788 - 799, April. 2024. DOI: 10.1109/OJAP.2024.3393117.
- [26] I. M. M. El Emary and S. Ramakrishnan, *IEEE Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications*, 1st ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2013. DOI: 10.1201/b15425.
- [27] D. D. K. Rathinam, D. Surendran, A. Shilpa, A. Santhiya Grace, and J. Sherin, "Modern agriculture using wireless sensor network (WSN)," in *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, pp. 548-552, Jun. 2019, DOI: 10.1109/ICACCS.2019.8728284
- [28] TIPHON, "General aspects of Quality of Service (QoS)," TR 101 329, 1998; TR 101 329 V2.1.1, Jun. 1999, DTR/TIPHON-05006, ETSI, F-06921 Sophia Antipolis Cedex, France.

- [29] S. Bagwari, A. Roy, A. Gehlot, R. Singh, N. Priyadarshi, and B. Khan, "LoRa based metrics evaluation for real-time landslide monitoring on IoT platform," *IEEE Access*, vol. 10, no. 1, pp. 46392-46407, April 2022. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3169797, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3169797
- [30] L. Bock, *Learn Wireshark - Fundamentals of Wireshark*. Packet Publishing, Aug. 2019. ISBN: 978178913450.
- [31] The ThingsBoard Authors, "ThingsBoard," 2024. [Online]. Available: <https://thingsboard.io/>. [Accessed: 16-Oct-2024].
- [32] O. Olimov, G. Artikova, and M. Xatamova, "IPERF to determine network speed and functionality," *Web of Technology: Multidimensional Research Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 94-101, Mar. 2024.
- [33] N. Draper and H. Smith, "Analisis Regresi Terapan: Edisi Kedua", Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1992, pp. xiii, 671, ISBN 979-511-146-9.
- [34] S. Ardhi, T. P. Gunawan, S. Tjandra, and G. L. Dewi, "Penerapan Metode Regresi Linear dalam Pengembangan Pengukuran Aliran Air pada Sensor YF-S201," *Industri*, vol. 26, no. 1, pp. 10-21, 2023, DOI: 10.29303/jppipa.v11i6.11623
- [35] M. Efraim, A. Setiawan, D. Huang, and T. H. Rochadiani, "Perancangan Desain Antarmuka Pada Aplikasi Kesehatan Practalk," *Jurnal Inovasi Informatika Universitas Pradita*, vol. 6, no. 1, pp. 1-10, Mar. 2021, DOI: 10.51170/jii.v6i1.147
- [36] D. Jaisinghani, V. Naik, M. Maity, and N. Gupta, "Adaptive ViFi: A Dynamic Protocol for IoT Nodes in Challenged WiFi Network Conditions," *2020 IEEE 17th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS)*, pp. 147-155, Dec. 10-13, 2020, DOI: 10.1109/MASS50613.2020.00028.
- [37] Jacobson. T. A, J. S. Kler, M. T. Hernke, R. K. Braun, K. C. Meyer, and W. E. Funk, "Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide," *Nature Sustainability*, vol. 2, no 1, pp. 691-701, Jul. 2019, DOI: 10.3390/environments8110125
- [38] Mattiuzzi. C and G. Lippi, "Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning," *Hum. Exp. Toxicol.*, vol. 39, no. 4, pp. 1-6, Apr. 2019, DOI: 10.1016/j.toxrep.2020.01.005
- [39] H. Kumar, and Priya. P, "An IoT based Automatic Room Temperature and Health Monitoring System", *International Journal of Engineering and Advanced Techonology (IJEAT)*, vol.11, no.6, pp. 1-4, Aug. 2022, DOI: 10.35940/ijeat.E7701.088619
- [40] B. Guo, Wang. X, Zhang. X, Yang. J, and Wang. Z, "Research on the Temperature & Humidity Monitoring System in the Key Areas of the Hospital

- on the Internet of Things”, *International Journal of Smart Home*, vol. 10, no. 7, pp 205-216, Jul. 2016, DOI: 10.14257/ijsh.2016.10.7.21
- [41] M. Soe. A, Than. S. S. M, and Myint. M. T, “Hospital Room Air Quality Monitoring and Record System Using Arduino”, *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 2, no. 6, pp. 1238-1242, Jun. 2020.
- [42] M. Islam. Md, Rahman. A, and Islam. Md. R, “Development of Smart Healthcare Monitoring System in *IoT* Enviroment”, *Sn Computer Science: A Springer Nature Journal*, vol. 1, no. 185, pp. 1-11, May. 2020, DOI: 10.1007/s42979-020-00195-y
- [43] Y. Zhang, Liu. H, Su. X, Jiang. P, and Wei. D, “Remote Mobile Health Monitoring System Based on Smart Phone and Browser/Server Structure”, *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 717-738, Jun. 2015, 10.1260/2040-2295.6.4.717
- [44] R. Thamaraiselvi, N. Nandhagopal, and P. T. J. Devi, "Smart hospitals using sensor technology and Internet of Things (IoT)," *Journal of Critical Reviews*, vol. 7, no. 4, pp. 3865-3873, 2020, DOI: 10.31838/jcr.07.04.428
- [45] B. G. Mohammed and D. S. Hasan, "Smart healthcare monitoring system using IoT," *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, vol. 17, no. 1, pp. 32-42, Jan. 2023, DOI: 10.3991/ijim.v17i01.34675.
- [46] T. S. Znad, I. A. M. Al Sayed, S. S. Hameed, I. Al _Barazanchi, P. S. J. Ng, and A. L. Khalaf, "Internet of Things system wearable healthcare for monitoring the challenges of the COVID-19 pandemic," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 6, pp. 385-396, Nov. 2022, DOI: 10.18196/jrc.v3i6.16393.
- [47] H. J. Kong, S. An, S. Lee, S. Cho, J. Hong, S. Kim, and S. Lee, "Usage of the Internet of Things in medical institutions and its implications," *Healthcare Informatics Research*, vol. 28, no. 4, pp. 287-296, Oct. 2022, DOI: 10.4258/hir.2022.28.4.287.
- [48] D. K. A. A. Rizk, H. M. Hosny, S. ElHorbety, and A. Salem, "SMART hospital management systems based on Internet of Things: Challenges, intelligent solutions and functional requirements," *International Journal of Informatics and Computer Science (IJICIS)*, vol. 10, no. 1, pp. 23-36, Nov. 2021, DOI: 10.21608/ijicis.2021.82144.1107.
- [49] I. Al Khatib, A. Shamayleh, and M. Ndiaye, "Healthcare and the Internet of Medical Things: Applications, trends, key challenges, and proposed

- resolutions," *Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 1-47, Jul. 2024, DOI: 10.3390/informatics11030047.
- [50] J. T. Kelly, K. L. Campbell, E. Gong, and P. Scuffham, "The Internet of Things: Impact and implications for health care delivery," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 22, no. 11, pp. e20135, Nov. 2020, DOI: 10.2196/20135.
- [51] V. F. Rodrigues, R. da R. Righi, C. A. da Costa, and R. S. Antunes, "Smart hospitals and IoT sensors: Why is QoS essential here?" *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 11, no. 3, pp. 1-33, Jul. 2022, DOI: 10.3390/jsan11030033.
- [52] Espressif Systems, "Espressif Systems," 2024. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/>. [Accessed: 16-Oct-2024].
- [53] E. H. Yayan and M. Zengin, "A key point in medical measurements: Device calibration and knowledge level of healthcare professionals," *International Journal of Caring Sciences*, vol. 13, no. 2, pp. 1346-1354, May-August 2020.
- [54] DFRobot, "DFRobot," 2024. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/>. [Accessed: 16-Oct-2024].
- [55] E. A. Prastyo, "Pengertian dan cara kerja sensor ultrasonik HC-SR04," *Arduino Indonesia*, Oct. 2022. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/10/pengertian-dan-cara-kerja-sensor-ultrasonik-HC-SR04.html>. [Accessed: 16-Oct-2024].
- [56] R. Xiang and Z. Shi, "Design of millimeter range high precision ultrasonic distance measurement system," in *Proceedings of the International Conference on Communications Security (ICCSEC)*, pp. 1052-1057, Dec. 2017. DOI: 10.1109/ICCSEC.2017.8446880.
- [57] A. K. Sahoo and S. K. Udghata, "A novel ANN-based adaptive ultrasonic measurement system for accurate water level monitoring," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 6, pp. 3359-3369, Jun. 2020. DOI: 10.1109/TIM.2019.2939932.
- [58] S. Indriyanto and I. Y. M. Edward, "Ultrasonik underwater acoustic modem using frequency shift keying (FSK) modulation," in *2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, Nusa Dua, Bali, Indonesia, , pp. 1-4, Jul. 2018, DOI: 10.1109/ICWT.2018.8527809.
- [59] A. J. A. Firdaus, D. Pramono, and W. Purnomo, "Pengembangan sistem informasi UPT kalibrasi Dinas Kesehatan Kabupaten Malang berbasis web," *Jurnal Sistem Integrasi, Pendidikan, dan Sistem Informasi*, vol. 1, no. 1, pp. 23-34, Aug. 2020. DOI: 10.25126/justsi.v1i1.3.

- [60] A. Hadi, Pemahaman dan penerapan ISO/IEC 17025:2005: Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2007. ISBN: 979222940X.
- [61] S.-Y. Chen and C.-L. Lin, "Wi-Fi-based human activity recognition for continuous, whole-room monitoring of motor functions in Parkinson's disease," *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. PP, no. 99, pp. 788 - 799, April. 2024. DOI: 10.1109/OJAP.2024.3393117.
- [62] I. M. M. El Emary and S. Ramakrishnan, Eds., *Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications*, illustrated ed. CRC Press, 2013. ISBN: 9781466518100.
- [63] D. D. K. Rathinam, D. Surendran, A. Shilpa, A. Santhiya Grace, and J. Sherin, "Modern agriculture using wireless sensor network (WSN)," in *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, pp. 548-552, Jun. 2019, DOI: 10.1109/ICACCS.2019.8728284
- [64] TIPHON, "General aspects of Quality of Service (QoS)," TR 101 329, 1998; TR 101 329 V2.1.1, Jun. 1999, DTR/TIPHON-05006, ETSI, F-06921 Sophia Antipolis Cedex, France.
- [65] S. Bagwari, A. Roy, A. Gehlot, R. Singh, N. Priyadarshi, and B. Khan, "LoRa based metrics evaluation for real-time landslide monitoring on IoT platform," *IEEE Access*, vol. 10, no. 1, pp. 46392-46407, April 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3169797.
- [66] L. Bock, *Learn Wireshark - Fundamentals of Wireshark*. Packet Publishing, Aug. 2019. ISBN: 978178913450.
- [67] The ThingsBoard Authors, "ThingsBoard," 2024. [Online]. Available: <https://thingsboard.io/>. [Accessed: 16-Oct-2024].
- [68] O. Olimov, G. Artikova, and M. Xatamova, "IPERF to determine network speed and functionality," *Web of Technology: Multidimensional Research Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 94-101, Mar. 2024.
- [69] N. Draper and H. Smith, "Analisis Regresi Terapan: Edisi Kedua", Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1992, pp. 1-671, ISBN 979-511-146-9.
- [70] S. Ardhi, T. P. Gunawan, S. Tjandra, and G. L. Dewi, "Penerapan Metode Regresi Linear dalam Pengembangan Pengukuran Aliran Air pada Sensor YF-S201," *Industri*, vol. 26, no. 1, pp. 10-21, 2023.
- [71] M. Efrain, A. Setiawan, D. Huang, and T. H. Rochadiani, "Perancangan Desain Antarmuka Pada Aplikasi Kesehatan Practalk," *Jurnal Inovasi Informatika Universitas Pradita*, vol. 6, no. 1, pp. 1-10, Mar. 2021, DOI: 10.51170/jii.v6i1.147

- [72] D. Jaisinghani, V. Naik, M. Maity, and N. Gupta, "Adaptive ViFi: A Dynamic Protocol for IoT Nodes in Challenged WiFi Network Conditions," *2020 IEEE 17th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS)*, pp. 147-155, Dec. 10-13, 2020. DOI: 10.1109/MASS50613.2020.00028.
- [73] K. Abu and H. E. Amhenrior, "Analysis of Path Loss and Propagation Characteristics for Independent Television, Benin City, Edo State," *J. Sci. Technol. Educ.*, vol. 12, no. 3, pp. 826–837, Sept. 2024.