

SKRIPSI

**SISTEM *MONITORING* KUALITAS UDARA BERBASIS LORA
DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh:

MOHAMMAD INDRA KURNIAWAN

D041201126



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SISTEM *MONITORING* KUALITAS UDARA BERBASIS LORA DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun dan diajukan oleh

Mohammad Indra Kurniawan
D041201126

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24 April 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Pembimbing Utama, Menyetujui, Pembimbing Pendamping,


Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng.
NIP. 19720828 199903 1 003


Ir. Samuel Panggalo, M.T.
NIP. 19620304 198811 1 001

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.
NIP. 19691026 199412 2 001



LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

SISTEM *MONITORING* KUALITAS UDARA BERBASIS LORA DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

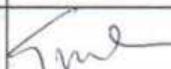
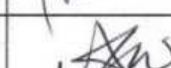
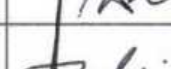
Oleh:

MOHAMMAD INDRA KURNIAWAN

D041 20 1126

Skripsi ini telah dipertahankan pada Ujian Akhir Sarjana pada tanggal 24 April 2024
Telah dilakukan perbaikan penulisan dan isi skripsi berdasarkan usulan dari
penguji dan pembimbing skripsi.

Persetujuan perbaikan oleh tim penguji:

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng.	
Sekretaris	Ir. Samuel Panggalo, M.T.	
Anggota	Azran Budi Arief, S.T., M.T.	
	Andini Dani Achmad, S.T., M.T.	

Persetujuan perbaikan oleh tim pembimbing:

Pembimbing	Nama	Tanda Tangan
I	Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng.	
II	Ir. Samuel Panggalo, M.T.	



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Indra Kurniawan

NIM : D041201126

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

SISTEM *MONITORING* KUALITAS UDARA BERBASIS LORA DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 April 2024

Yang Menyatakan



Mohammad Indra Kurniawan



ABSTRAK

MOHAMMAD INDRA KURNIAWAN. Sistem *Monitoring* Kualitas Udara Berbasis LoRa di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (dibimbing oleh Wardi dan Samuel Panggalo)

Pada Agustus 2023, Jakarta menjadi kota dengan tingkat polusi udara tertinggi di dunia, sementara pada Juni 2023, Kota Makassar menempati peringkat pertama di Sulawesi Selatan. Penyumbang utama polusi ini adalah emisi CO dan CO₂ dari kendaraan dan industri. Di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, jumlah mahasiswa serta dosen/pegawai terus meningkat setiap tahun, dengan sebagian besar menggunakan kendaraan bermotor. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan penerapan alat pemantau kualitas udara di kampus tersebut.

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Long Range* (LoRa) menggunakan Mappi32 dengan sensor MQ-7, MQ-135, dan DHT-22. Data dari sistem akan ditampilkan melalui *platform* ThingSpeak, sehingga dapat diakses oleh mahasiswa serta pegawai/dosen di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk memantau dan menjaga kualitas udara lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan sistem *monitoring* kualitas udara berhasil dirancang dengan persentase *error* pada sensor MQ-135 sebesar 0,74% tanpa polutan dan 4,36% dengan asap kertas, MQ-7 sebesar 3% dengan gas buang kendaraan, serta DHT-22 sebesar 3,81% untuk suhu dan 2,73% untuk kelembaban dengan menggunakan *hair dryer*, serta 3,68% untuk suhu dan 1,81% untuk kelembaban dengan menggunakan hawa air dingin. Pengujian QoS LoRa menunjukkan nilai bervariasi yang bergantung terhadap jarak lokasi parkir yang diuji, *delay* 115 – 324 ms, *throughput* 566,97 – 581,26 bps, *packet loss* 0 – 8%, dan RSSI -93 dBm hingga -118 dBm. Dari 8 lokasi parkir yang diuji, hanya 5 lokasi yang dapat dijangkau oleh jaringan LoRa. Jarak maksimal pengiriman informasi melalui LoRa tercatat sebesar 184,54 m pada Parkiran Gedung Perkapalan, dari total jarak pengujian sebesar 339,1 m untuk radius pengiriman informasi dari Laboratorium Telematika, Gedung Elektro. Pengujian QoS HTTP juga menunjukkan variasi nilai yang signifikan bergantung pada jarak, dengan jarak maksimal pengukuran yang dapat dijangkau sejauh 60 m. *Delay* berkisar dari 0,032 – 0,302 detik, *throughput* berkisar dari 1417,263 hingga 43395,201 bps, dan tidak terdapat adanya *packet loss* saat. Namun, pada jarak 70 m, data QoS sudah tidak dapat terukur.

nci: Kualitas Udara, *Internet of Things*, LoRa, ThingSpeak, ThingView.



ABSTRACT

MOHAMMAD INDRA KURNIAWAN. LoRa-based Air Quality Monitoring System at Faculty of Engineering, Hasanuddin University (supervised by Wardi dan Samuel Panggalo)

In August 2023, Jakarta became the city with the highest air pollution levels in the world, while in June 2023, Makassar City ranked first in South Sulawesi. The main contributors to this pollution are CO and CO₂ emissions from vehicles and industry. At the Faculty of Engineering of Hasanuddin University, the number of students and employees/lecturers continues to increase every year, with most using motorized vehicles. Therefore, it is important to consider the implementation of air quality monitoring devices on campus.

In this research, a Long Range (LoRa) based air quality monitoring system using Mappi32 with MQ-7, MQ-135, and DHT-22 sensors is designed to detect pollutant levels along with temperature and humidity. Data from the system will be displayed through the ThingSpeak platform, so that it can be accessed by students and employees/lecturers at the Faculty of Engineering, Hasanuddin University to monitor and maintain environmental air quality.

The research showed that the air quality monitoring system was successfully designed with a percentage error on the MQ-135 sensor of 0,74% without pollutants and 4,36% with paper smoke, MQ-7 of 3% with vehicle exhaust gas, and DHT-22 of 3,81% for temperature and 2,73% for humidity using a hair dryer, and 3,68% for temperature and 1,81% for humidity using cold water. QoS LoRa tests showed varying values depending on the distance of the parking lot location tested, delay 115 – 324 ms, throughput 566,97 – 581,26 bps, packet loss 0 – 8%, and RSSI -93 dBm to -118 dBm. Among 8 parking lot locations tested, only 5 locations can be reached by the LoRa network. The maximum distance of sending information via LoRa was recorded at 184,54 m in the Naval Building parking lot, from a total test distance of 339,1 m for the radius of transmitting information from the Telematics Laboratory, Electrical Building. HTTP QoS tests also show significant variations in value depending on the distance, with the maximum measurement distance that can be reached as far as 60 m. Delay ranged from 0,032 – 0,302 seconds, throughput ranged from 1417,263 to 43395,201 bps, and no packet loss was recorded. , at a distance of 70 m, QoS data could no longer be measured.



Is: Air Quality, Internet of Things, LoRa, ThingSpeak, ThingView.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Ta'ala. karena atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: **“SISTEM *MONITORING* KUALITAS UDARA BERBASIS LORA DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk dapat menyelesaikan pendidikan tahap sarjana di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan skripsi ini, penulis banyak dihadapi dengan berbagai hambatan, namun berkat adanya bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara penulis, Ayahanda Subianto (*Rahimahullah*), Ibunda Suwatik, Mas Wahyu Effendi, S.T., dan Kakak Mohammad Syaiful Lutfi, S.T. yang telah memberikan doa dan dukungan selama penyelesaian skripsi ini.
2. Ketua Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.
3. Bapak Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng. selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Samuel Panggalo, M.T. selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya selama membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
4. Bapak Azran Budi Arief, S.T., M.T., selaku penguji I dan Ibu Andini Dani
mad, S.T., M.T., selaku penguji II yang telah memberikan kritik maupun
an dalam penyusunan skripsi ini.



5. Teman-teman PROCEZ20R yang telah kebersamai penulis dalam menjalani kehidupan bermahasiswa.
6. Seluruh staf dan teman-teman *Student Volunteer* Kantor Urusan Internasional Universitas Hasanuddin yang telah kebersamai penulis selama menjadi *volunteer*.
7. Teman-teman *Liaison Officer ASEAN High Level Forum (AHLF) on Disability-Inclusive Development and Partnership Beyond 2025* yang telah kebersamai penulis dan selalu memberikan dukungan serta semangat.
8. Teman-teman organisasi *Society of Renewable Energy* Universitas Hasanuddin atas pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama menjalani kehidupan bermahasiswa.
9. Teman-teman Magang dan Studi Independen Bersertifikat *Batch 6 (MSIB 6)* di PT. Huawei Tech Investment yang telah kebersamai penulis dalam menjalani proses magang, khususnya teman-teman pada divisi *Wireless*. Terkhususnya mentor penulis, diantaranya Kakak Farrel Ferdian, S.T. dan Kakak Raymondus Kevin Sinurat, S.T. yang telah membimbing penulis dalam penulisan skripsi dan juga selama magang.
10. Dan untuk semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini baik isi maupun cara penyajian. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Gowa, 24 April 2024

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	4
I.3 Tujuan Penelitian	4
I.4 Manfaat Penelitian	4
I.5 Ruang Lingkup	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Kualitas Udara	6
II.2 <i>Internet of Things</i> (IoT).....	8
II.3 <i>Long Range</i> (LoRa).....	9
appi32.....	11
duino IDE	12
nsor Gas MQ-135	13



II.6.1 Cara Kerja Sensor.....	14
II.6.2 Spesifikasi Sensor.....	14
II.7 Sensor Gas MQ-7	15
II.7.1 Cara Kerja Sensor.....	15
II.7.2 Spesifikasi Sensor.....	16
II.8 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT-22	16
II.9 WebPlotDigitizer	17
II.10 <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD) 20x4.....	18
II.11 <i>Hypertext Transfer Protocol</i> (HTTP)	19
II.12 <i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> (UART).....	19
II.13 Sistem Komunikasi <i>Single Input Single Output</i> (SISO).....	20
II.14 ThingSpeak dan ThingView	20
II.15 <i>Quality of Services</i> (QoS).....	21
II.15.1 Pengertian <i>Quality of Services</i> (QoS).....	21
II.15.2 Parameter QoS.....	21
II.16 Wireshark.....	24
II.17 <i>State of the Art</i>	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
III.1 Alur Penelitian.....	31
III.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	32
III.3 Alat dan Bahan	32
III.4 Perancangan Alat.....	33
III.4.1 Perancangan <i>Hardware</i>	33
III.4.2 Perancangan <i>Software</i>	37
III.4.3 Kalibrasi dan Pengujian Pembacaan Sensor	37
III.4.3.1 Kalibrasi Sensor	37



III.5.2 Pengujian Pembacaan Sensor.....	41
III.6 Teknik Pengambilan Data	44
III.6.1 Pengujian QoS LoRa <i>End-Device to LoRa Gateway</i>	44
III.6.2 Pengukuran QoS Pada HTTP	46
III.6.3 Pengukuran Kualitas Udara.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
IV.1 Hasil Perancangan Alat.....	50
IV.2 Pengujian Pembacaan Sensor	51
IV.2.1 Sensor Gas CO ₂ MQ-135	51
IV.2.2 Sensor Gas CO MQ-7	54
IV.2.3 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT-22.....	57
IV.3 Hasil Pengujian QoS Pada LoRa.....	62
IV.4 Hasil Pengujian QoS Pada HTTP	63
IV.4.1 Hasil Pengujian Rata-Rata <i>Delay</i>	64
IV.4.2 Hasil Pengujian Rata-Rata <i>Throughput</i>	65
IV.4.3 Hasil Pengujian Rata-Rata <i>Packet Loss</i>	66
IV.5 Hasil Pengukuran Kualitas Udara Pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.....	67
IV.5.1 Kondisi Saat Libur Semester	69
IV.5.2 Kondisi Saat Perkuliahan	79
IV.5.3 Data Keseluruhan	89
BAB V PENUTUP.....	97
V.1 Kesimpulan	97
V.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	100



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Visualisasi pada <i>internet of things</i> (IoT)	9
Gambar 2 Visualisasi pada LoRa	10
Gambar 3 Diagram <i>pin-out</i> Mappi32	12
Gambar 4 Arduino IDE	13
Gambar 5 Sensor gas MQ-135	14
Gambar 6 Sensor gas MQ-7	15
Gambar 7 Sensor suhu dan kelembaban DHT-22	17
Gambar 8 LCD 20x4	18
Gambar 9 Sistem pengirim dan penerima pada SISO	20
Gambar 10 Diagram alur penelitian	31
Gambar 11 Perancangan alat	33
Gambar 12 Desain <i>casing</i> alat, (kiri) <i>end-device</i> dan (kanan) <i>gateway</i>	34
Gambar 13 Perancangan pada <i>end-device</i>	35
Gambar 14 Rangkaian skematik pada <i>end-device</i>	35
Gambar 15 Perancangan pada <i>gateway</i>	36
Gambar 16 Rangkaian skematik pada <i>gateway</i>	36
Gambar 17 Grafik karakteristik sensitivitas sensor MQ-135	38
Gambar 18 Grafik karakteristik sensitivitas sensor MQ-7	40
Gambar 19 Denah gedung Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin	44
Gambar 20 Tampilan <i>total length</i> pada aplikasi CoolTerm	45
Gambar 21 Tampilan nilai RSSI pada <i>serial monitor</i>	46
 22 Tampilan awal aplikasi Wireshark	46
23 Tab halaman ThingSpeak	47
24 Tampilan pada saat <i>capturing packets</i> akan dimulai	47



Gambar 25 Tampilan pada saat <i>capturing packets</i> akan dihentikan	48
Gambar 26 Tampilan data <i>capture file properties</i>	48
Gambar 27 Hasil perancangan alat	50
Gambar 28 Grafik pengujian sensor MQ-135.....	52
Gambar 29 Pengujian sensor MQ-135.....	52
Gambar 30 Grafik pengujian sensor MQ-135.....	53
Gambar 31 Pengujian sensor MQ-135.....	54
Gambar 32 Grafik pengujian sensor MQ-7.....	56
Gambar 33 Pengujian sensor MQ-7.....	56
Gambar 34 Grafik pengujian sensor suhu DHT-22.....	58
Gambar 35 Grafik pengujian sensor kelembaban DHT-22	58
Gambar 36 Pengujian sensor DHT-22	59
Gambar 37 Grafik pengujian sensor suhu DHT-22.....	60
Gambar 38 Grafik pengujian sensor kelembaban DHT-22	60
Gambar 39 Pengujian sensor DHT-22	61
Gambar 40 Pengujian QoS pada HTTP	64
Gambar 41 Grafik pengujian <i>delay</i>	64
Gambar 42 Grafik pengujian <i>throughput</i>	65
Gambar 43 Grafik pengujian <i>packet loss</i>	66
Gambar 44 Tampilan pada <i>website</i> ThingSpeak	68
Gambar 45 Tampilan pada aplikasi ThingView	68
Gambar 46 Lokasi pengambilan data pada gedung elektro	70
Gambar 47 Lokasi pengambilan data pada gedung sipil	72
Gambar 48 Lokasi pengambilan data pada gedung geologi	74
Gambar 49 Lokasi pengambilan data pada gedung mesin.....	76
Gambar 50 Lokasi pengambilan data pada gedung perkapalan.....	78



Gambar 51 Lokasi pengambilan data pada gedung elektro	80
Gambar 52 Lokasi pengambilan data pada gedung sipil	82
Gambar 53 Lokasi pengambilan data pada gedung geologi	84
Gambar 54 Lokasi pengambilan data pada gedung mesin.....	86
Gambar 55 Lokasi pengambilan data pada gedung perkapalan.....	88
Gambar 56 Grafik nilai CO pada setiap lokasi parkir.....	89
Gambar 57 Grafik nilai CO ₂ pada setiap lokasi parkir.....	90
Gambar 58 Grafik nilai suhu pada setiap lokasi parkir.....	91
Gambar 58 Grafik nilai kelembaban pada setiap lokasi parkir	91
Gambar 59 Grafik nilai CO pada setiap lokasi parkir.....	92
Gambar 60 Grafik nilai CO ₂ pada setiap lokasi parkir.....	93
Gambar 61 Grafik nilai suhu pada setiap lokasi parkir.....	94
Gambar 62 Grafik nilai kelembaban pada setiap lokasi parkir	94



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Rentang indeks standar pencemar udara	7
Tabel 2 Persentase komponen pencemar udara.....	7
Tabel 3 Parameter nilai CO ₂	8
Tabel 4 Parameter nilai CO	8
Tabel 5 Perbandingan Arduino Uno dan Mappi32.....	12
Tabel 6 Index sensor MQ-135.....	14
Tabel 7 Index sensor MQ-7.....	16
Tabel 8 Index sensor DHT-22	17
Tabel 9 Parameter nilai <i>delay</i>	22
Tabel 10 Parameter nilai <i>throughput</i>	22
Tabel 11 Parameter nilai <i>packet loss</i>	23
Tabel 12 Parameter nilai <i>received signal strength indicator</i>	23
Tabel 13 <i>State of the art</i>	24
Tabel 14 <i>Hardware</i> yang digunakan	32
Tabel 15 <i>Software</i> yang digunakan	33
Tabel 16 Koneksi <i>port</i> sensor gas MQ-7 ke Mappi32	35
Tabel 17 Koneksi <i>port</i> sensor gas MQ-135 ke Mappi32	35
Tabel 18 Koneksi <i>port</i> sensor suhu dan kelembaban DHT-22 ke Mappi32.....	35
Tabel 19 Koneksi <i>port</i> LCD 20x4 I2C ke Mappi32.....	36
Tabel 20 Estimasi jarak antara laboratorium telematika dengan parkir setiap gedung.....	45
Tabel 21 Ukuran alat	50
Pengujian sensor MQ-135 tanpa menggunakan sumber polutan	51
Pengujian sensor MQ-135 dengan menggunakan asap kertas	53



Tabel 24 Pengujian sensor MQ-7 dengan menggunakan asap knalpot.....	55
Tabel 25 Pengujian sensor DHT-22.....	57
Tabel 26 Pengujian sensor DHT-22.....	59
Tabel 27 Hasil pengujian QoS pada LoRa	62
Tabel 28 Hasil pengujian QoS pada HTTP	63
Tabel 29 Data pengujian alat pada parkir gedung elektro	69
Tabel 30 Data pengujian alat pada parkir gedung sipil	71
Tabel 31 Data pengujian alat pada parkir gedung geologi	73
Tabel 32 Data pengujian alat pada parkir gedung mesin.....	75
Tabel 33 Data pengujian alat pada parkir gedung perkapalan.....	77
Tabel 34 Data pengujian alat pada parkir gedung elektro	79
Tabel 35 Data pengujian alat pada parkir gedung sipil	81
Tabel 36 Data pengujian alat pada parkir gedung geologi	83
Tabel 37 Data pengujian alat pada parkir gedung mesin.....	85
Tabel 38 Data pengujian alat pada parkir gedung perkapalan.....	87
Tabel 39 Data keseluruhan pada setiap lokasi.....	89
Tabel 40 Data keseluruhan pada kondisi saat perkuliahan.....	92
Tabel 41 Sampel data relasi CO, CO ₂ , suhu, dan kelembaban.....	95



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kode program untuk mendapatkan nilai R_O sensor MQ-7	105
Lampiran 2 Hasil nilai R_O sensor MQ-7	106
Lampiran 3 Kode program untuk mendapatkan nilai R_O sensor MQ-135	106
Lampiran 4 Hasil nilai R_O sensor MQ-135	107
Lampiran 5 Kode program untuk <i>end-device</i>	107
Lampiran 6 Kode program untuk <i>gateway</i>	113
Lampiran 7 Data pengujian alat – kondisi libur semester	120
Lampiran 8 Data pengujian alat – kondisi perkuliahan	122
Lampiran 9 Perhitungan <i>delay</i> LoRa	124
Lampiran 10 Perhitungan <i>throughput</i> dan <i>packet loss</i>	125
Lampiran 11 Perhitungan RSSI	125
Lampiran 12 Pengujian untuk daerah <i>line of sight</i>	134



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
a	Nilai <i>Scaling Factor</i>
adcraw	Nilai Mentah/Raw Hasil Pembacaan Sensor
b	Titik Persimpangan (Untuk Sensor MQ-7) dan Nilai <i>Exponent</i> (Untuk Sensor MQ-135)
bps	<i>Bits per second</i>
CO	<i>Carbon Monoxide</i>
CO ₂	<i>Carbon Dioxide</i>
dB _i	<i>Decibels Isotropic</i>
dB _m	<i>Decibels Milliwatt</i>
GND	<i>Ground</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I ² C	<i>Inter Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integreted Development Environment</i>
ISPU	Indeks Standar Pencemar Udara
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
m	Kemiringan Garis Pada Grafik
ms	<i>Milisecond</i>
ppm	Nilai dalam Satuan Udara atau Gas
R _L	Resistansi Beban
R ₀	Nilai Resistansi Sensor Pada Kondisi Udara Bersih (Untuk Sensor MQ-7) dan Nilai Resistansi Sensor Pada Kadar Gas yang Diketahui (Untuk Sensor MQ-135)
R _s	Resistansi Sensor
R _s /R ₀	Rasio Pada Udara Bersih
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
R _x	<i>Receiver</i>
SCL	<i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
TIPHON	<i>Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks</i>
T _x	<i>Transmitter</i>
V _c /VCC	Tegangan Input
	Tegangan Pada Resistansi Beban
	<i>Wireless Fidelity</i>
	Waktu Indonesia Tengah



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada bulan Agustus 2023, Jakarta mencapai sebuah pencapaian yang tidak diinginkan dengan menduduki peringkat pertama sebagai kota metropolitan dengan tingkat polusi udara tertinggi di dunia dengan nilai *Air Quality Index* sebesar 161 (Kompas.com, 2023). Faktor ini dipengaruhi oleh peningkatan drastis jumlah kendaraan bermotor di wilayah Jakarta. Data yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) mengungkapkan bahwa dalam lima tahun terakhir, jumlah kendaraan bermotor di Jakarta terus meningkat, mencapai 26,37 juta unit pada tahun 2022, menunjukkan peningkatan sebesar 4,39% dari tahun sebelumnya. Pada tahun 2020, jumlah kendaraan bermotor di Jakarta berjumlah 24,26 juta unit, yang juga mengalami peningkatan dari tahun-tahun sebelumnya, yaitu 2019 dan 2018. Dari segi jenis kendaraan, sepeda motor mendominasi dengan jumlah mencapai 17,3 juta unit, setara dengan 65,6% dari total kendaraan bermotor di kota tersebut pada tahun 2022. Disamping itu, terdapat 3,76 juta mobil penumpang, 748,39 ribu unit truk, dan 37,18 ribu unit bus di Jakarta pada tahun yang sama (Databoks, 2023).

Tidak hanya itu, Kota Makassar, yang terletak di Sulawesi Selatan, juga dihadapkan pada tantangan serupa. Pada bulan Juni 2023, Kota Makassar menduduki peringkat pertama sebagai kota dengan tingkat polusi udara tertinggi di Sulawesi Selatan dengan nilai *Air Quality Index* sebesar 55 (AQI, 2023). Penyumbang utama polusi ini adalah emisi karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) yang berasal dari kendaraan bermotor dan kegiatan industri. Polusi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor terus meningkat seiring berjalannya waktu, dan situasi ini semakin mengancam kesehatan penduduk. Menurut data dari BPS, jumlah kendaraan bermotor di Kota Makassar tercatat mengalami tan sebesar 10-13% setiap tahunnya, seperti yang dilaporkan oleh lsel (2023). Situasi ini menuntut perlunya tindakan segera untuk



mengendalikan pertumbuhan kendaraan bermotor dan mengurangi dampak negatifnya pada kualitas udara serta kesehatan masyarakat.

Seiring dengan berjalannya waktu, tingkat pencemaran udara telah meningkat secara signifikan, mengakibatkan penurunan kualitas udara di sekitar kita yang menjadi semakin buruk dan mengkhawatirkan. Dampaknya pun bersifat berkelanjutan, baik terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan hidup itu sendiri. Berbagai bentuk polusi udara telah muncul, termasuk emisi gas buangan dari kendaraan bermotor yang terus meningkat dalam jumlahnya seiring berjalannya waktu. Selain itu, limbah udara yang dihasilkan oleh sektor industri merupakan penyumbang terbesar dalam pencemaran udara. Asap pabrik dan kendaraan bermotor mengandung berbagai zat berbahaya, termasuk pada emisi karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO), sehingga diperlukannya perangkat yang dapat diterapkan untuk memantau kadar kualitas udara pada suatu lokasi.

Penerapan yang dapat diimplementasikan yaitu pada lingkungan kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Seiring dengan bertambahnya jumlah mahasiswa serta dosen/pegawai kampus yang terus meningkat setiap tahun, hampir seluruh penduduk kampus menggunakan kendaraan bermotor untuk mencapai lokasi kampus. Peningkatan polusi udara dan potensi dampaknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan menjadi perhatian serius. Dalam konteks ini, penting untuk mempertimbangkan penerapan alat-alat pemantauan kualitas udara di kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tindakan ini akan membantu mengidentifikasi tingkat polusi udara dan memungkinkan pengambilan langkah-langkah untuk meminimalkan dampak negatifnya pada kesehatan manusia serta memperbaiki kualitas lingkungan kampus yang saat ini tercemar akibat polusi udara. Oleh karena itu, dalam rangka penelitian ini, penulis merancang sebuah sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan yang mampu memberikan informasi secara instan dan *real-time*.



la penelitian sebelumnya yang berjudul “Aplikasi *Wireless Sensor* Untuk Sistem *Monitoring* dan Kualifikasi Udara”, digunakan sensor gas tuk mengukur kadar CO di udara. Konsep *wireless sensor network* (WSN)

diterapkan untuk pemantauan kualitas udara dengan pemasangan beberapa *node* sensor di lokasi tertentu dan satu *sink* yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan data dari *node* sensor dan mengirimkannya ke *server*. Data kualitas udara yang diperoleh oleh *node* sensor kemudian diklasifikasikan menggunakan metode klasifikasi pada *data mining*, yaitu *k-nearest neighbor* (K-NN) (Arya et al., 2018). Selain itu, dalam penelitian yang berjudul “Stasiun Pemantau Kualitas Udara Berbasis Web”, digunakan sensor MQ-135 untuk mengukur kadar CO₂ di udara. Perangkat keras menggunakan mikrokontroler *board* Arduino Uno, sensor pendeteksi gas, dan sensor pendeteksi suhu serta kelembaban udara. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C untuk Arduino, PHP untuk pengembangan *web*, *web server Apache*, dan *database MySQL* (Sebayang, 2017).

Pada penelitian ini dibutuhkan juga teknologi yang mendukung untuk mengimplementasi alat yang dirancang, salah satu teknologi yang mendukung adalah teknologi telekomunikasi LoRa (*Long Range*). LoRa merupakan salah satu teknologi telekomunikasi *wireless* yang dapat mengirimkan informasi dengan jarak yang luas. LoRa juga merupakan teknologi yang bersifat *open-source* sehingga teknologi ini dapat mengirimkan informasi secara gratis dari *transmitter* ke *receiver* (Simbolon et al., 2021). Alat yang akan dikembangkan memiliki tujuan untuk mengukur konsentrasi gas CO (karbon monoksida) dan CO₂ (karbon dioksida) di setiap gedung kampus. Pengukuran ini akan dilakukan menggunakan sensor gas MQ yang sensitivitasnya telah disesuaikan dengan gas yang ingin diukur. Selain itu, penambahan alat pengukur suhu dan kelembaban dengan sensor DHT-22 juga akan membantu dalam memahami kondisi lingkungan secara lebih komprehensif. Semua komponen ini akan diintegrasikan dengan mikrokontroler Mappi32, menciptakan sistem pemantauan yang terintegrasi secara menyeluruh. Dengan sistem ini, data mengenai kualitas udara dalam ruangan di kampus dapat diperoleh secara *real-time*, memungkinkan identifikasi polusi dan pengambilan tindakan yang tepat untuk menjaga kesehatan manusia serta memperbaiki kualitas lingkungan kampus yang tercemar akibat polusi udara.



Berdasarkan latar belakang yang ada di atas maka dibuatlah skripsi yang berjudul ‘**SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA BERBASIS LORA DI**

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN” yang akan memudahkan mahasiswa dan dosen/pegawai di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk mengetahui kualitas udara yang berada disekitar dan juga menjadi salah satu upaya menjaga kesehatan bagi yang berada di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penyusunan Skripsi ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem *monitoring* kualitas udara berbasis LoRa di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?
2. Bagaimana QoS (*Delay, Throughput, Packet Loss*, dan RSSI) pengiriman data LoRa *end-device* ke LoRa *gateway*?
3. Bagaimana QoS (*Delay, Throughput*, dan *Packet Loss*) pada HTTP?

I.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem *monitoring* kualitas udara berbasis LoRa menggunakan *platform* ThingSpeak.
2. Untuk mengetahui kualitas layanan (QoS) dalam pengiriman data LoRa-to-LoRa.
3. Untuk mengetahui kualitas layanan (QoS) protokol HTTP dengan menggunakan perangkat lunak Wireshark.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini merupakan sebagai sarana teknologi yang memungkinkan pemantauan dan evaluasi kualitas udara di setiap Gedung Fakultas

Universitas Hasanuddin, serta mendorong kesadaran akan pelestarian an di sekitar kampus.



I.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini merupakan:

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah 2 buah Mappi32 yang sudah terintegrasi dengan teknologi LoRa dengan menggunakan frekuensi kerja 921 MHz.
2. Jenis kualitas udara yang diukur yaitu karbon monoksida (CO) menggunakan sensor MQ-7, karbon dioksida (CO₂) menggunakan sensor MQ-135, dan pendeteksi suhu dan kelembaban menggunakan DHT-22.
3. Menggunakan *platform open-source* ThingSpeak untuk menampilkan data hasil *monitoring* kualitas udara dari *gateway*.
4. Pengambilan data kualitas udara hanya dilakukan pada lokasi yang dapat dijangkau oleh jaringan LoRa dari *end-device* ke *gateway* pada lingkungan Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Pengambilan data dilakukan pada bulan Januari – Maret 2024.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kualitas Udara

Udara memainkan peran sentral dalam kehidupan manusia. Namun, dengan pertumbuhan fisik kota dan pusat-pusat industri yang terus berkembang, terjadi perubahan signifikan dalam kualitas udara. Faktor pencemaran udara dapat berasal dari berbagai aktivitas, termasuk sektor permukiman, transportasi, komersial, pengelolaan limbah padat, serta sektor penunjang lainnya. Semua aktivitas ini memiliki potensi untuk mempengaruhi kualitas udara. Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tidak terkecuali dari perubahan ini. Setiap tahun, jumlah mahasiswa yang menggunakan kendaraan bermotor di kampus ini semakin bertambah, dan pembangunan gedung baru terus dilakukan.

Berdasarkan informasi dari Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang telah ditetapkan oleh Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, parameter yang digunakan dalam perhitungan ISPU meliputi Partikulat (PM_{10} dan $PM_{2.5}$), Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Dioksida (NO_2), Ozon (O_3), dan Hidrokarbon (HC). Tabel 1 memperlihatkan rentang indeks standar pencemar udara. Perhitungan ISPU dilakukan dengan merujuk pada nilai ISPU batas atas, ISPU batas bawah, ambien batas atas, ambien batas bawah, dan konsentrasi ambien hasil pengujian. Persamaan matematika yang digunakan untuk menghitung ISPU adalah sebagai berikut (Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, 2023):

$$ISPU = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b \quad (1)$$

dimana,

I_a = ISPU batas atas

I_b = ISPU batas bawah

X_a = Konsentrasi ambien batas atas ($\mu g/m^3$)

X_b = Konsentrasi ambien batas bawah ($\mu g/m^3$)

X_x = Konsentrasi ambien nyata hasil pengujian ($\mu g/m^3$)



Tabel 1 Rentang indeks standar pencemar udara (Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, 2023)

Rentang	Kategori
0 – 50	Baik
51 – 100	Sedang
101 – 200	Tidak Sehat
201 – 300	Sangat Tidak Sehat
> 300	Berbahaya

Namun, dalam konteks penelitian ini, standar kualitas udara diukur melalui parameter karbon monoksida (CO) menggunakan sensor gas MQ-7, karbon dioksida (CO₂) menggunakan sensor gas MQ-135, dan sensor DHT-22 sebagai sensor tambahan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban. Tabel 2 memperlihatkan persentase komponen pencemar udara. Dalam konteks pemantauan kualitas udara, satuan yang digunakan untuk mengukur konsentrasi karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) adalah *parts per million* (ppm). Hal ini dikarenakan CO dan CO₂ merupakan dua parameter yang paling umum digunakan untuk mengukur kualitas udara dalam ruangan maupun luar ruangan. CO merupakan gas beracun yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi, kendaraan bermotor, pemanas ruangan dengan minyak tanah, cerobong asap, dan tungku yang bocor serta kompor gas, sedangkan CO₂ merupakan gas rumah kaca yang dihasilkan dari aktivitas manusia seperti asap pabrik, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan asap kendaraan bermotor (Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan, 2023). Keduanya dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan lingkungan, sehingga penting untuk terus memantau konsentrasinya dalam udara serta suhu dan kelembaban juga merupakan parameter penting dalam pemantauan kualitas udara karena dapat mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan manusia. Tabel 3 menunjukkan parameter nilai untuk CO₂ dan Tabel 4 menunjukkan parameter nilai untuk CO.

Tabel 2 Persentase komponen pencemar udara (Diva, 2022)

Komponen Pencemar	Persentase
CO	70,5%
NO	8,89%
SO	0,88%
HC	18,34%
Partikel Debu	1,33%



Tabel 3 Parameter nilai CO₂ (Hareendran, 2020)

Nilai CO ₂ (ppm)	Kategori
0 – 400	Sangat Baik
401 – 750	Baik
751 – 1200	Hati-Hati
> 1200	Berbahaya

Tabel 4 Parameter nilai CO (Kurniawan, 2017)

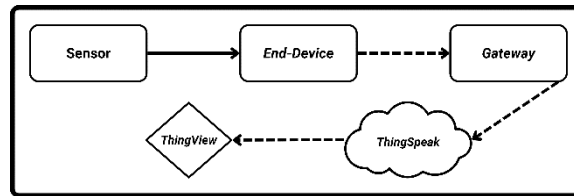
Nilai CO	Kategori
0 – 9	Sangat Baik
10 – 24	Baik
25 – 49	Sedang
50 – 99	Tidak Sehat
100 – 199	Sangat Tidak Sehat
> 200	Berbahaya

II.2 *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) sebuah infrastruktur yang memberikan identitas unik dan kemampuan pengiriman data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi langsung manusia ke manusia. Hal ini berarti data dikirimkan dari sumber ke tujuan tanpa campur tangan manusia. Perkembangan teknologi yang menjanjikan di dalam ranah IoT memiliki potensi untuk mengoptimalkan berbagai aspek kehidupan dengan memanfaatkan sensor-sensor cerdas dan objek-objek yang terhubung dalam jaringan internet (Wilianto dan Kurniawan, 2018). Gambar 1 memperlihatkan gambaran visual implementasi IoT dalam penelitian ini.

Dalam implementasi ini, sistem sensor udara terdiri dari perangkat seperti sensor MQ-7 (untuk mengukur CO), MQ-135 (untuk mengukur CO₂), dan DHT-22 (untuk mengukur suhu dan kelembaban). Sensor-sensor ini secara otomatis mengumpulkan data kualitas udara dan mentransmisikan informasi ini melalui jaringan IoT yang telah dirancang. *Gateway* akan digunakan untuk mengirimkan hasil pengujian dari sensor ke *platform* ThingSpeak. Hal ini memungkinkan pemantauan data dari jarak jauh. Selain itu, data juga dapat diakses melalui *web*, sebuah aplikasi yang tersedia secara gratis untuk diunduh pada *smartphone*. Hal ini memberikan kemudahan dalam pemantauan yang praktis dan efisien.





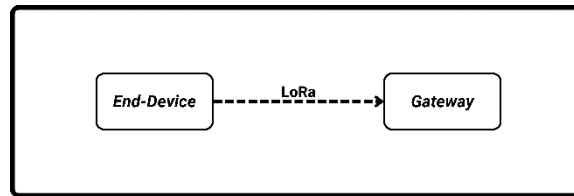
Gambar 1 Visualisasi pada *internet of things* (IoT)

II.3 Long Range (LoRa)

Long Range (LoRa) merupakan sebuah sistem komunikasi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) yang memiliki kemampuan transmisi jarak jauh. Sistem ini diperkuat oleh sejumlah perusahaan terkemuka seperti IBM, Semtech, Actility, dan lainnya, yang bersatu dalam LoRa Alliance, sebuah konsorsium yang mengembangkan dan mendukung teknologi ini. Dari segi teknis, LoRa dapat dijelaskan sebagai proses modulasi gelombang periodik untuk menghasilkan sinyal yang mengandung informasi. Proses modulasi ini melibatkan perubahan berulang dan teratur dalam gelombang, yang dapat berasal dari gangguan yang diterapkan secara bertahap atau getaran. Modulasi yang digunakan dalam LoRa adalah modulasi frekuensi (FM). Dengan metode modulasi ini, informasi berfrekuensi rendah dapat disisipkan ke dalam gelombang pembawa. Hasilnya adalah gelombang frekuensi yang stabil setelah proses modulasi. Di Indonesia, regulasi frekuensi LPWA LoRa mencakup rentang frekuensi 920-923 MHz (Imelda, 2021).

Teknologi nirkabel LoRa secara khusus digunakan untuk tujuan pemantauan objek yang spesifik. Seperti yang digambarkan pada Gambar 2, perangkat LoRa *end-device* berperan sebagai pengirim data yang kontinu mengirimkan informasi ke objek yang diamati. Sensor-sensor yang terhubung ke perangkat radio LoRa ini dapat berkomunikasi dengan satu atau beberapa *gateway*. LoRa *gateway* digunakan untuk menghubungkan *end-device* ke LoRa *NetServer* dalam arsitektur jaringan LoRa. LoRa *NetServer*, dalam hal ini, berfungsi sebagai *server* jaringan yang bertanggung jawab untuk pengontrolan dan pemantauan, termasuk aspek keamanan, manajemen sumber daya radio, dan fungsi-fungsi lain yang relevan.





Gambar 2 Visualisasi pada LoRa

A. Kelebihan LoRa

Adapun kelebihan dari teknologi LoRa merupakan sebagai berikut:

1. Jangkauan jarak jauh yang luas. LoRa menawarkan kemampuan menghubungkan perangkat hingga jarak 15 km (*line of sight*), membuatnya sangat sesuai untuk aplikasi IoT yang memerlukan konektivitas jarak jauh (Fenia, 2023).
2. Konsumsi daya yang rendah sehingga dapat mendukung masa pakai baterai yang lama hingga 5-10 tahun (Aulia, 2021).
3. Hemat biaya pemasangan dan perawatan karena konsumsi dayanya yang rendah (Aulia, 2021).
4. LoRa dapat terhubung dengan berbagai perangkat IoT dalam satu jaringan (Setiawan, 2023).
5. Bersifat *open-source* dan didukung oleh LoRa Alliance (Fenia, 2023).

B. Kekurangan LoRa

Adapun kekurangan dari teknologi LoRa merupakan sebagai berikut (Fenia, 2023):

1. Kecepatan *transfer* data yang lebih lambat dibandingkan teknologi nirkabel lainnya.
2. Tidak cocok untuk aplikasi yang membutuhkan transfer data dalam jumlah besar dan cepat
3. LoRa tidak memiliki enkripsi bawaan, sehingga memerlukan upaya tambahan untuk menjaga keamanan data dalam komunikasi.
4. Infrastruktur yang dibutuhkan untuk mengimplementasikan LoRa membutuhkan investasi yang cukup besar.



Teknologi LoRa tidak optimal jika digunakan di lingkungan dengan banyak gangguan, seperti kota besar dengan gedung tinggi dan bangunan yang dapat menghambat sinyal.

II.4 Mappi32

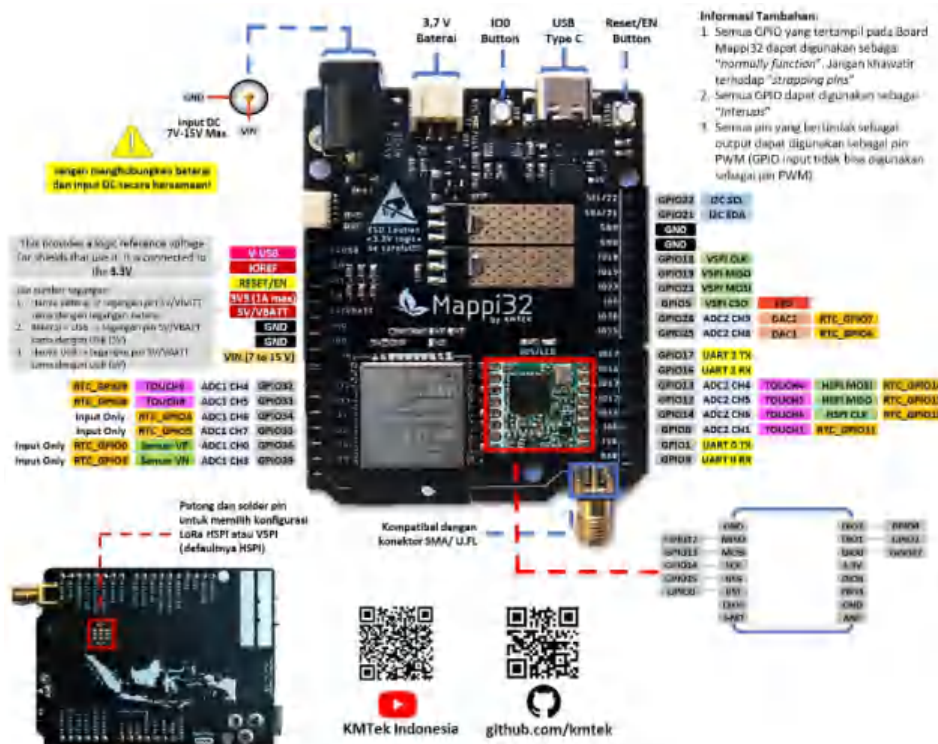
Mappi32 merupakan sebuah papan sirkuit yang diproduksi di Indonesia oleh KMTek. Papan sirkuit ini telah dirancang dengan fitur-fitur canggih yang memungkinkan pemrosesan data dalam jumlah yang lebih besar dengan kemudahan penggunaan. Mappi32 hadir sebagai dukungan penting untuk pengembangan *Internet of Things* (IoT) di berbagai lokasi, baik di daerah terpencil maupun perkotaan (Aulia, 2021). Pada Gambar 3 memperlihatkan diagram *pin-out* dari Mappi32.

Mappi32 merupakan mikrokontroler yang memiliki spesifikasi tinggi dan telah disesuaikan secara khusus dengan kebutuhan para teknisi muda di Indonesia dalam menerapkan teknologi IoT di seluruh wilayah Indonesia. Papan sirkuit ini telah menjalani berbagai pengujian yang ketat, termasuk kemampuannya untuk mengambil data dari jarak yang cukup jauh, hingga 15 kilometer (*line of sight*), dengan memanfaatkan jaringan LoRa. Mappi32 memiliki spesifikasi sebagai berikut (Aulia, 2021):

- ESP32-WROOM-32E 16 MB OTA.
 - *Quad layer* PCB dengan *Dual Core* 32 bit.
 - RFM95 LoRaWAN, fungsi ini sangat membantu mengingat topografi Indonesia yang bervariasi.
 - Dapat tersambung melalui WiFi, Bluetooth, dan LoRa 920-923 MHz.
 - USB type C yang bertujuan untuk meningkatkan *durability* dan kemudahan pengguna.
 - LDO *regulator* agar *device* dapat bekerja lebih lama dengan baterai.
 - *ESD protection* pada *power input* untuk mencegah *electrostatic discharge*.
 - *Qwicc support by sparkfun* untuk menggunakan multi sensor I2C dalam 1 *port*.
 - *Built in* 1A LiPo/Li-on *charger* sebagai *backup power* sehingga *device* dapat dibuat sebagai *portable/mobile product*.
- Support Arduino IDE, ESP, IDF, microPhyton.
Konektor SMA/U.FL.



- *Transceiver Support.*
- *Arduino Uno form factor* agar memudahkan pengguna dalam mengaplikasikan Mappi 32.



Gambar 3 Diagram *pin-out* Mappi32 (Aulia, 2021)

Tabel 5 Perbandingan Arduino Uno dan Mappi32 (Aulia, 2021)

Spesifikasi	Arduino Uno	Mappi32
Processor	ATmega328	ESP WROOM - 32E
Cores	1	2
Architecture	8 bit	32 bit
CPU Frekuensi	16 MHz	240 MHz
Flash Memory	32 KB	16 MB
Connectivity on Board	-	Wifi, Bluetooth, LoRa
Port Input	- USB type B - Power Jack DC	- USB type C - Power Jack DC - JST PH 2.0 mm
Input Voltage (DC)	7 - 12V	1 - 15V
Operating	5 V	5 V

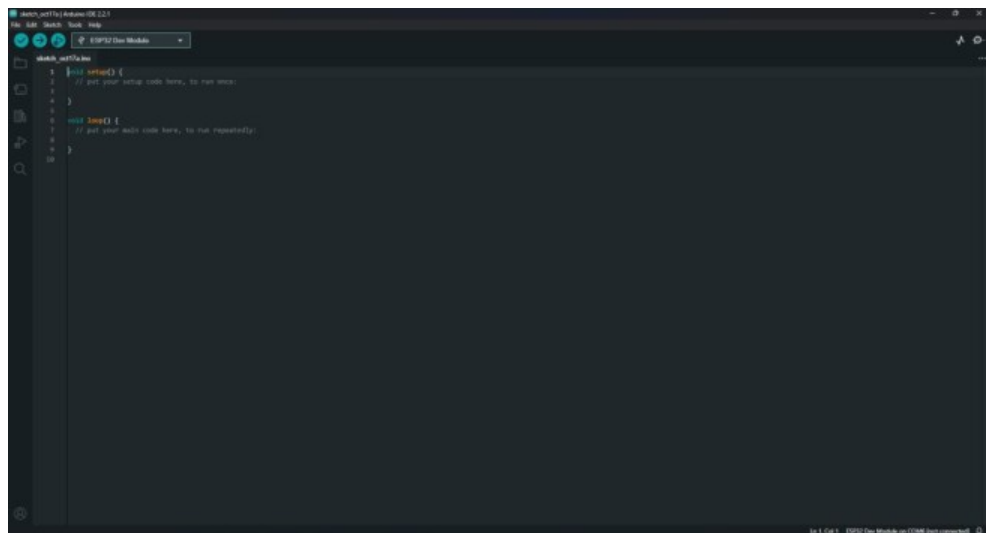


duino IDE

duino IDE merupakan perangkat lunak yang memberikan kemampuan untuk mengembangkan program yang akan ditanamkan ke dalam

mikrokontroler yang terintegrasi dalam modul Mappi32, yang dikenal sebagai “*sketch*”. Arduino IDE tidak hanya berfungsi sebagai *editor* pemrograman, tetapi juga sebagai *compiler* yang memungkinkan pemrogram untuk mengkompilasi kode dan mengunggah program ke modul Mappi32 tanpa perlu menggunakan alat tambahan (Handoko, 2017).

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang canggih yang ditulis menggunakan bahasa pemrograman Java. Meskipun mikrokontroler tidak dapat memahami kode pemrograman yang ditulis oleh manusia, mereka hanya dapat memahami kode biner. Oleh karena itu, *compiler* diperlukan dalam proses ini untuk menerjemahkan kode pemrograman yang ditulis oleh pengguna menjadi kode biner yang dapat dimengerti oleh mikrokontroler. Selanjutnya, Arduino IDE juga dilengkapi dengan fitur *uploader* yang memungkinkan pengguna untuk mengunggah kode biner yang telah dihasilkan ke modul Mappi32 yang terhubung ke komputer, sehingga modul Mappi32 dapat menjalankan program yang telah dibuat. Gambar 4 memperlihatkan tampilan dari aplikasi Arduino IDE.



Gambar 4 Arduino IDE

II.6 Sensor Gas MQ-135



Sensor MQ-135 merupakan perangkat yang digunakan untuk memantau udara dengan tujuan mendeteksi gas karbon dioksida (CO_2). Sensor ini akan nilai resistansi analog pada pin keluarannya. Untuk mengintegrasikan sensor ini ke dalam sistem, pin keluaran sensor MQ-135 dapat

dihubungkan dengan *pin Analog-to-Digital Converter* (ADC) pada mikrokontroler atau dengan *pin input analog* pada *platform* Arduino. Sensor gas MQ-135 dilengkapi dengan pemanas internal yang berfungsi krusial. Kondisi pemanas pada sensor ini memegang peran penting, karena stabilitas operasi sensor dapat tercapai ketika tegangan pemanas mencapai 5 V dan pemanasan dilakukan selama 60 detik (Widodo et al., 2017). Gambar 5 memperlihatkan tampilan dari sensor gas MQ-135.



Gambar 5 Sensor gas MQ-135 (Lazada)

II.6.1 Cara Kerja Sensor

Sensor ini menyajikan laporan hasil deteksi kualitas udara dan meresponsinya dengan menyampaikan keluaran analog melalui pin outputnya. Prinsip operasional dari sensor MQ-135 melibatkan pemaparan data analog yang dapat dibaca dari tegangan keluaran ketika terjadi paparan gas pencemar. Pada saat semikonduktor SnO₂ dikenai tegangan panas, setiap kehadiran gas pencemar memicu perubahan energi dan pergerakan dalam sensor, menghasilkan nilai keluaran yang berbeda dari nilai masukan awalnya.

II.6.2 Spesifikasi Sensor

Dalam melakukan perancangan sistem penulis merujuk pada spesifikasi sensor MQ-135 yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Index sensor MQ-135 (Widodo et al., 2017)

Fitur	Spesifikasi
VC/(Tegangan Rangkaian)	5 V $\pm$ 0,1
VH (H)/ Tegangan Pemanas (Tinggi)	5 V $\pm$ 0,1
VH (L)/ Tegangan Pemanas (Rendah)	1,4 V $\pm$ 0,1
RL/ Resistansi Beban	Dapat disesuaikan
RH/ Resistansi Pemanas	33 Ω $\pm$ 5%
TH (H)/ Waktu Pemanasan (Tinggi)	60 $\pm$ 1 seconds
TH (L)/ Waktu Pemanasan (Rendah)	90 $\pm$ 1 seconds
PH/ Konsumsi Pemanasan	Sekitar 350mW



II.7 Sensor Gas MQ-7

Sensor gas MQ-7 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas karbon monoksida (CO) dalam udara. Sensor ini sangat sensitif terhadap karbon monoksida dan dapat mendeteksi berbagai gas yang mengandung karbon monoksida. Bahan sensor gas yang digunakan dalam sensor gas MQ-7 adalah timah dioksida (SnO_2) dengan konduktivitas yang lebih rendah di udara bersih. Suhu rendah (pemanasan 1.5V) digunakan untuk mendeteksi karbon monoksida dengan metode deteksi siklus suhu tinggi. Konduktivitas sensor meningkat dengan meningkatnya konsentrasi gas karbon monoksida di udara, dan suhu tinggi (pemanasan 5.0V) membersihkan gas liar yang diadsorpsi pada suhu rendah. Perubahan konduktivitas dapat dikonversi menjadi sinyal keluaran yang sesuai dengan konsentrasi gas menggunakan sirkuit sederhana (GNS Components). Gambar 6 memperlihatkan tampilan dari sensor gas MQ-7.



Gambar 6 Sensor gas MQ-7 (Blibli)

II.7.1 Cara Kerja Sensor

Sensor ini terdiri dari susunan mikro tabung keramik AL_2O_3 , lapisan sensitif tin dioksida (SnO_2), elektroda pengujian, dan pemanas yang terperinci, semuanya terintegrasi dalam suatu kerangka yang terbuat dari plastik dan stainless steel steril. Pemanas, yang merupakan elemen integral, menciptakan kondisi operasional yang esensial bagi fungsi komponen sensitif. MQ-7 dirancang dengan menggunakan 6 pin, di mana 4 pin diarahkan untuk menangkap sinyal, sementara 2 pin lainnya untuk menyediakan arus pemanasan yang diperlukan. Ketika sensor terdapat adanya gas karbon monoksida, resistansi listrik pada sensor ini akan mengalami penurunan. Sensor ini juga dilengkapi dengan penyerap keramik



internal yang berfungsi sebagai pelindung terhadap debu atau gas yang tidak diinginkan. Fungsi pemanas pada sensor ini bersifat krusial, sebagai pemicu yang memungkinkan sensor mendeteksi gas target yang diharapkan setelah diberikan tegangan operasionalnya.

II.7.2 Spesifikasi Sensor

Dalam melakukan perancangan sistem penulis merujuk pada spesifikasi sensor MQ-135 yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Index sensor MQ-7 (Ardiansyah et al., 2018)

Fitur	Spesifikasi
VC/ Tegangan Rangkaian	5 V $\pm$ 0,1
VH (H)/ Tegangan Pemanas (Tinggi)	5 V $\pm$ 0,1
VH (L)/ Tegangan Pemanas (Rendah)	1,4 V $\pm$ 0,1
RL/ Resistansi Beban	Dapat disesuaikan
RH/ Resistansi Pemanas	33 $\Omega \pm 5\%$
TH (H)/ Waktu Pemanasan (Tinggi)	60 $\pm$ 1 seconds
TH (L)/ Waktu Pemanasan (Rendah)	90 $\pm$ 1 seconds
PH/ Konsumsi Pemanasan	Sekitar 350mW

II.8 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT-22

Sensor suhu dan kelembaban DHT-22 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif udara di sekitarnya. Sensor ini menggunakan kapasitor dan termistor untuk mengukur udara di sekitarnya dan mengeluarkan sinyal pada pin data. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban hingga jarak 100 meter. DHT-22 diklaim memiliki kualitas pembacaan yang baik, dinilai dari respon proses akuisisi data yang cepat dan ukurannya yang minimalis (Puspasari et al., 2020). Dalam melakukan perancangan sistem penulis merujuk pada spesifikasi sensor MQ-135 yang terlihat pada Tabel 8 dan pada Gambar 7 memperlihatkan tampilan dari sensor suhu dan kelembaban DHT-22.





Gambar 7 Sensor suhu dan kelembaban DHT-22 (Tokopedia)

Tabel 8 Index sensor DHT-22 (Ardutech, 2019)

Fitur	Spesifikasi
VC/ Tegangan Rangkaian	3,3 – 6 V $\pm$ 0,1
VH (H)/ Tegangan Pemanas (Tinggi)	4,6 V $\pm$ 0,1
VH (L)/ Tegangan Pemanas (Rendah)	1,4 V $\pm$ 0,1
RL/ Resistansi Beban	$>5.1k\Omega$
RH/ Resistansi Pemanas	33 $\Omega \pm 5\%$
TH/ Waktu Pemanasan	2 seconds
PH/ Konsumsi Pemanasan	Sekitar 350mW

II.9 WebPlotDigitizer

Dalam praktek rekayasa balik gambar visualisasi data, seringkali diperlukan untuk mengekstrak data numerik yang mendasar. WebPlotDigitizer muncul sebagai alat semi-otomatis yang secara signifikan menyederhanakan proses pengekstrakan tersebut, dengan keunggulan-keunggulan berikut (Din, 2023):

1. Kompatibilitas yang luas dengan berbagai jenis grafik, termasuk grafik XY, bar, polar, ternary, dan peta.
2. Algoritma ekstraksi otomatis yang mempermudah pengekstrakan sejumlah besar titik data dengan efisien.
3. Sistem gratis untuk digunakan, bersifat *open-source*, dan dapat diakses melalui berbagai platform, baik melalui web maupun desktop.
4. Terbukti secara luas digunakan dalam ratusan karya yang telah diterbitkan

h ribuan pengguna, mencerminkan keandalannya. Bahkan dalam konteks mengukur jarak atau sudut antara berbagai fitur, menjadikannya alat yang sangat berguna dalam berbagai konteks pengujian.



Tool ini umumnya digunakan dalam konteks membaca nilai pada titik yang terdapat pada grafik *datasheet* sensor MQ yang digunakan.

II.10 *Liquid Crystal Display (LCD) 20x4*

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai komponen utama untuk menampilkan informasi. Pengoperasiannya didasarkan pada sistem *dot* matriks yang mampu menampilkan angka, karakter, huruf, dan grafik sesuai dengan perintah dari program pengontrolnya. LCD umumnya membutuhkan tegangan dan daya yang rendah, menjadikannya pilihan yang populer dalam berbagai perangkat elektronik, seperti kalkulator, multimeter digital, jam digital, dan banyak lagi (Paramita, 2023).

LCD 20x4 i2c adalah modul layar LCD dengan ukuran 20 karakter dan 4 baris yang menggunakan protokol komunikasi i2c. Modul ini biasanya terdiri dari dua bagian, yaitu modul LCD dan modul i2c. Modul i2c berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dan modul LCD, sehingga memudahkan penggunaan dan pengaturan modul LCD. Modul ini dapat digunakan dengan berbagai jenis mikrokontroler. Untuk menggunakannya, diperlukan *library* khusus seperti `LiquidCrystal_I2C` atau `LCM1602`. Selain itu, modul ini juga memiliki fitur backlight yang dapat diatur dengan menggunakan potensiometer (Forums RaspberryPI). Gambar 8 memperlihatkan tampilan dari LCD 20x4.



Gambar 8 LCD 20x4 (Tokopedia)



II.11 *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)*

Hypertext transfer protocol (HTTP) merupakan sebuah protokol yang digunakan untuk melakukan pertukaran permintaan dan respons antara klien dan server dalam konteks komunikasi jaringan. Sebuah klien HTTP, seperti peramban web (*web browser*), biasanya memulai permintaan dengan membentuk koneksi *Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)* ke *port* tertentu pada server yang berada di lokasi jauh. Fungsi utama dari HTTP merupakan menentukan bagaimana data harus ditransmisikan atau diformat agar sesuai dengan keinginan pengguna. Oleh karena itu, HTTP merupakan elemen esensial yang selalu terlibat dalam setiap alamat situs web saat mengakses internet. Cara kerja HTTP sendiri sangat sederhana. Ketika pengguna membuka sebuah situs web melalui peramban web, HTTP akan menghubungkan pengguna dengan alamat situs web yang juga dikenal dengan URL (*Uniform Resource Locator*). HTTP menggunakan protokol TCP/IP untuk mengelola koneksi antara klien dan *server*, dan hasilnya ditampilkan dalam peramban web (Zabar dan Novianto, 2015).

Proses kerja protokol HTTP dalam mentransmisikan data dapat dijelaskan sebagai berikut (Testy et al., 2022):

1. Komputer klien, atau klien HTTP, membuat koneksi dan mengirim permintaan dokumen kepada *server web*.
2. Selanjutnya, *server* HTTP memproses permintaan tersebut dan klien HTTP menunggu respons dari *server*.
3. Server web merespons permintaan dengan mengirimkan data serta kode status yang relevan, kemudian menutup koneksi setelah proses permintaan selesai.

II.12 *Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)*

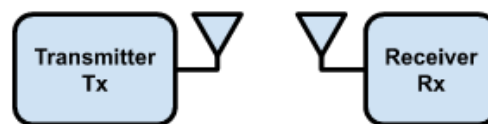
Universal asynchronous receiver-transmitter (UART) merupakan sebuah t yang digunakan untuk menghubungkan modul komunikasi melalui jalur *receiver*) dan Tx (*transmitter*). UART merupakan sebuah sirkuit terintegrasi unakan untuk mengaktifkan komunikasi serial antara perangkat dan



komputer melalui *port serial*. Pada tingkat perangkat keras, komputer umumnya harus mengkonversi data dari bentuk bit-bit paralel menjadi bit-bit serial. Untuk memungkinkan koneksi antara modul antarmuka dengan modul komunikasi, komunikasi UART digunakan melalui jalur Rx dan Tx. Modul komunikasi akan menerima dan mengirimkan data melalui jalur-jalur ini, dan program dengan berbagai fungsi ini dapat dijalankan menggunakan lingkungan pengembangan Arduino IDE (Testy et al., 2022).

II.13 Sistem Komunikasi *Single Input Single Output* (SISO)

Komunikasi *single input single output* (SISO) merupakan salah satu bentuk komunikasi yang sederhana dalam sistem komunikasi. Pada SISO, terdapat satu antena di sisi pengirim dan satu antena di sisi penerima, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9. Sebelum dikirimkan, data yang akan disampaikan melalui sistem komunikasi ini harus mengalami proses modulasi di sisi pengirim. Selanjutnya, data yang telah diterima akan mengalami proses demodulasi di sisi penerima untuk memulihkan data sesuai dengan yang telah dikirimkan (Hapsari, 2016).



Gambar 9 Sistem pengirim dan penerima pada SISO

II.14 ThingSpeak dan ThingView

ThingSpeak merupakan sebuah layanan internet yang menyediakan solusi untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). Layanan ThingSpeak menawarkan sejumlah fitur dan API yang bersifat *open-source*, memungkinkan pengguna untuk menyimpan dan mengambil data dari berbagai perangkat yang terhubung melalui jaringan internet atau LAN (*Local Area Network*) menggunakan protokol HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*). Dengan ThingSpeak, individu dapat dengan mudah membangun aplikasi perekaman data sensor, pelacakan lokasi, dan jejaring



sosial untuk perangkat yang terhubung ke internet dengan pembaruan status yang *real-time* (Testy et al., 2022).

ThingView merupakan sebuah *platform* Android yang dirancang untuk mengintegrasikan *smartphone* dengan sistem operasi Android. Antarmuka pengguna pada ThingView dirancang agar mirip dengan yang ada di ThingSpeak, yang memudahkan pengguna dalam memantau dan mengakses data yang tersimpan di ThingSpeak menggunakan perangkat seluler. ThingView dapat diunduh secara gratis melalui *play store* maupun *app store* pada *smartphone* pengguna (Testy et al., 2022).

II.15 *Quality of Services* (QoS)

II.15.1 Pengertian *Quality of Services* (QoS)

Quality of Service (QoS) merupakan indikator penting yang mengukur kemampuan sebuah jaringan dalam menyediakan layanan berkualitas tinggi, termasuk penyediaan kapasitas yang memadai serta kemampuan untuk mengurangi *delay*. Konsep QoS merujuk pada kapabilitas jaringan dalam memberikan layanan unggul untuk jenis lalu lintas tertentu, dengan berbagai teknologi yang berperan (Lutfi dan Asrun, 2016).

II.15.2 Parameter QoS

Terdapat banyak hal yang bisa terjadi pada paket ketika melakukan perjalanan dari asal ke tujuan yang mengakibatkan masalah-masalah dan sering disebut sebagai parameter QoS, antara lain:

A. *Delay*

Delay merupakan waktu tunda yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. *Delay* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jarak, media fisik, congesti, atau waktu proses yang lama. Dalam keadaan optimal, nilai *delay* akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak (Ubaidillah et al., 2023). Kategori *delay* dapat dilihat di Tabel 9, dimana kategori tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kualitas pengiriman data. Semakin rendah rentang *delay*,



semakin baik kualitas pengiriman data tersebut (BINUS Online Learning, 2020).

$$\text{Delay} = \text{Waktu Paket Diterima} - \text{Waktu Paket Dikirim} \quad (2)$$

Sedangkan, rumus untuk menghitung rata-rata *delay* adalah:

$$\text{Delay} = \frac{\text{Jumlah data yang diterima}}{\text{Banyaknya data yang diterima}} \quad (3)$$

Tabel 9 Parameter nilai *delay* (TIPHON)

Nilai <i>Delay</i> (ms)	Kategori
< 150	Sangat Bagus
150 – 300	Bagus
301 – 450	Sedang
> 450	Buruk

B. *Throughput*

Throughput merupakan kecepatan (*rate*) transfer data efektif yang diukur dalam satuan *bit per second* (bps). *Throughput* merupakan jumlah total dari kedatangan paket yang sukses dan diamati pada sisi klien/tujuan selama selang waktu tertentu dibagi oleh durasi selang waktu tersebut. Dalam keadaan optimal, nilai *throughput* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya jarak (Ubaidillah et al., 2023). *Throughput* biasanya selalu dikaitkan dengan *bandwidth* dalam kondisi yang sebenarnya dikarenakan sifatnya yang dinamis tergantung pada trafik yang sedang terjadi. Kategori *throughput* dapat dilihat pada Tabel 10. Berikut rumus dari *throughput*, dimana (Wulandari, 2016):

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Jumlah data yang dikirim}}{\text{Waktu pengiriman data}} \quad (4)$$

Tabel 10 Parameter nilai *throughput* (TIPHON)

Nilai <i>Throughput</i> (bps)	Kategori
> 75	Sangat Bagus
51 – 75	Bagus
25 – 50	Sedang
< 25	Buruk



C. Packet Loss

Packet loss pada komunikasi LoRa merupakan kondisi hilangnya paket data pada saat pengiriman dilakukan sehingga tidak diterima seutuhnya di tempat tujuan. Dalam komunikasi LoRa, *packet loss* dapat terjadi karena beberapa faktor seperti jarak antara *transmitter* dan *receiver*, interferensi, dan *noise*. Kategori *packet loss* dapat dilihat pada Tabel 11. Berikut rumus dari *packet loss*, dimana (Wulandari, 2016):

$$Packet\ Loss = \frac{(Paket\ data\ dikirim - Paket\ data\ diterima) \times 100\%}{Paket\ data\ dikirim} \quad (5)$$

Tabel 11 Parameter nilai *packet loss* (TIPHON)

Nilai <i>Packet Loss</i> (%)	Kategori
0 – 2	Sangat Bagus
3 – 14	Bagus
15 – 24	Sedang
≥ 25	Buruk

D. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

Received signal strength indicator (RSSI) merupakan parameter yang mengukur kekuatan sinyal yang diterima saat data melewati suatu medium, diukur dalam miliwatt dan diwujudkan dalam dBm (*decibel milliwatt*) (Wulandari, 2016). Nilai RSSI digunakan sebagai acuan untuk menilai kualitas sinyal yang diterima, baik dari penerima maupun pengirim. RSSI diukur dalam skala dBm dan biasanya memiliki nilai negatif. Semakin mendekati angka 0, semakin kuat kekuatan sinyalnya (Testy et al., 2022). Kategori *packet loss* dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Parameter nilai *received signal strength indicator* (RSSI) (TIPHON)

Nilai RSSI (dBm)	Kategori
≥ -71	Sangat Bagus
-70 s/d -85	Bagus
-80 s/d -100	Sedang
≤ -101	Buruk

Sedangkan, rumus untuk menghitung rata-rata RSSI adalah:

$$RSSI = \frac{Jumlah\ data\ yang\ diterima}{Banyaknya\ data\ yang\ diterima} \quad (6)$$



II.16 Wireshark

Wireshark merupakan sebuah aplikasi *network packet analyzer* yang canggih, dirancang untuk melakukan pengawasan dan penyaringan paket data dalam suatu jaringan dengan tujuan menampilkan data dalam tingkat detail yang maksimal. Data yang telah disaring dengan Wireshark dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis yang mendalam terhadap jaringan. Fungsionalitas Wireshark mencakup berbagai aspek, mulai dari merekam paket-paket data dan informasi yang mengalir melalui jaringan, memeriksa keamanan jaringan, hingga melakukan *troubleshooting*. Selain itu, aplikasi ini juga dapat digunakan untuk *sniffing*, yang bertujuan untuk memperoleh data penting seperti kata sandi dan informasi pribadi. Wireshark merupakan aplikasi *open-source* yang tersedia secara luas sebagai alat bantu analisis jaringan dan menampilkan antarmuka pengguna berbasis GUI (*Graphical User Interface*) (Cahyaningtyas, 2013).

Packet sniffer, pada dasarnya, merupakan sebuah alat yang memiliki kemampuan untuk mengintersep dan mencatat lalu lintas data dalam jaringan. Saat data mengalir melalui jaringan, *packet sniffer* mampu menangkap *Protocol Data Unit* (PDU), melakukan dekode, serta menganalisis konten paket. Wireshark, sebagai salah satu perangkat *packet sniffer* terkemuka, telah diprogram secara cerdas agar dapat mengenali berbagai protokol jaringan yang berbeda. Selain itu, Wireshark juga mampu menampilkan informasi mengenai enkapsulasi dan bidang-bidang yang terdapat dalam PDU (Cahyaningtyas, 2013).

II.17 State of the Art

Tabel 13 *State of the art*

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Andiko Pridiantoko Putro, et al. (2023)	Sistem <i>Monitoring</i> Kualitas Udara Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dengan Sensor MQ2 Berdasarkan <i>Internet</i> <i>of Things</i>	Penelitian ini mencakup perancangan <i>hardware</i> dan <i>software</i> untuk memonitor kualitas udara dalam sebuah ruangan. <i>Hardware</i> menggunakan tiga sensor MQ2 yang dipasang di tiga sisi ruangan, satu sisi dengan ventilasi. Sensor ini digunakan



No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			untuk mendeteksi kadar udara yang buruk (di atas 1300 ppm) dan mengaktifkan kipas ventilasi. <i>Software</i>-nya menggunakan <i>smartphone</i> dan layanan <i>database/Cloud Firebase Google</i> untuk memantau kualitas udara dalam satuan ppm secara <i>real-time</i>, serta menyimpan riwayat pengujian. Hasil pengujian pertama pada 24 Januari 2023 menunjukkan bahwa sensor 1 memiliki <i>range</i> antara 500-1500 ppm, sensor 2 dengan <i>range</i> di bawah 500-2000 ppm, dan sensor 3 dengan <i>range</i> 500-2000 ppm. Hasil pengujian kedua pada 25 Januari 2023 menunjukkan bahwa pembacaan sensor cenderung stabil dengan rata-rata sensor memiliki <i>range</i> 1500 ppm.
2	Alex Andrango-Catota, et al. (2023)	<i>Development and Assessment of an Indoor Air Quality Control IoT-Based System</i>	Penulis mengusulkan sistem berbasis IoT (TDDM4IoTS) dan menggunakan alat pengembangan TDDT4IoTS berbiaya rendah yang disebut IdeAir untuk memantau dan mengurangi tingkat polusi dalam ruangan di kota-kota di Ekuador. Sistem ini bertujuan untuk mengatasi masalah emisi gas berbahaya di lingkungan dalam ruangan, khususnya dari pemanas air dan pemanas yang menggunakan bahan bakar fosil. Solusi yang ada untuk memantau polusi dalam ruangan mahal dan tidak layak untuk rumah tangga dengan sumber daya keuangan terbatas. IdeAir terdiri dari perangkat yang mendeteksi konsentrasi gas berbahaya, seperti karbon monoksida (CO), di lingkungan dalam ruangan. Tergantung pada tingkat



No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
3	Diel Din (2023)	Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) Menggunakan Thingspeak dan <i>Website</i>	konsentrasi, sistem mengeluarkan alarm dan pemberitahuan, menyalakan kipas angin, dan/atau membuka pintu untuk meningkatkan kualitas udara. Penelitian ini melakukan pengujian sebuah sistem yang menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135 untuk mendeteksi kadar polutan udara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa LCD dan <i>buzzer</i> berjalan sesuai dengan program yang dibuat. Saat pengujian menggunakan sensor MQ-7, LCD dapat menampilkan nilai kadar beserta kategori “baik” saat pembacaan kadar 0,86 ppm, dan menampilkan kategori “berbahaya” saat kadar polutan mencapai 1053,60 ppm. Begitu pula saat pengujian menggunakan sensor MQ-135, LCD menampilkan kategori “sedang” saat pembacaan kadar 525,07 ppm, dan menampilkan kategori “sangat tidak sehat” saat kadar mencapai 46920,725 ppm. Selain itu, dilakukan juga pengujian koneksi WiFi untuk memastikan apakah WEMOS D1 Mini dapat terkoneksi dengan WiFi atau tidak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa <i>platform</i> Thingspeak sangat bergantung pada kecepatan internet yang dimiliki agar dapat berjalan maksimal. Sedangkan pada <i>website</i>, pengaruh kecepatan internet tidak begitu signifikan. Pengujian juga dilakukan untuk melihat performansi sistem dari dua <i>platform</i>. Hasilnya menunjukkan bahwa performansi sistem saat menggunakan <i>casing</i> dan tanpa



No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4	Kemuning Nenden Testy, et al. (2022)	Implementasi dan Analisis Sistem <i>Monitoring</i> Kualitas Udara Berbasis Komunikasi Lora di IT Telkom Purwokerto	<i>casing</i> memiliki perbedaan yang signifikan. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang dihubungkan dengan LoRa Dragino Shield 915 MHz yang juga terhubung ke wifi dengan menggunakan Wemos D1 mini melalui ThingSpeak dengan protokol HTTP. Pengukuran menunjukkan bahwa QoS LoRa memiliki <i>throughput</i> terbaik pada jarak 10 m, sementara <i>packet loss</i> meningkat seiring dengan jarak. Pengukuran QoS HTTP menunjukkan <i>delay</i> buruk pada 40 m, dengan <i>throughput</i> terbaik pada 10 m dan <i>packet loss</i> rendah. Sensor gas MQ-7 dan MQ-135 menunjukkan keakuratan yang baik sesuai dengan toleransi <i>datasheet</i> mereka.
5	M Ihaab Munabbih, et al. (2020)	Rancang Bangun Sistem Pemantau Kualitas Udara Menggunakan Arduino dan LoRa Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel	Penelitian ini berhasil merancang sistem pemantau kualitas udara menggunakan Arduino dan LoRa berbasis jaringan sensor nirkabel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran sensor dan tegangan sensor sesuai dengan karakteristik <i>datasheet</i> sensor yang digunakan. LoRa digunakan untuk mengirim data sensor tanpa <i>packet loss</i> hingga jarak 300 meter, cocok untuk aplikasi IoT dengan cakupan luas. Aplikasi <i>web</i> dapat mengolah data sensor menjadi nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang sesuai dengan perhitungan manual. Seluruh fungsi dalam sistem berjalan sesuai fungsinya, dan performa halaman web juga memuaskan.



No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
6	Ikhwan Prayoga, et al. (2020)	Sistem <i>Monitoring</i> Kualitas Udara Secara <i>Realtime</i> Dengan Peringatan Bahaya Kualitas Udara Tidak Sehat Menggunakan <i>Push Notification</i>	Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem pemantauan kualitas udara yang mampu memonitor konsentrasi PM ₁₀ , karbon monoksida, deteksi asap, suhu, dan kelembaban secara <i>real-time</i> . Data hasil pemantauan dapat diakses melalui antarmuka website dan tersedia sepanjang hari, dengan data <i>real-time</i> dan data yang telah dirata-ratakan per jam. Sistem ini juga memiliki fitur notifikasi yang mengirimkan pesan kepada pengguna ketika kualitas udara mencapai tingkat kategori tidak sehat (101 µg/m ³ – 199 µg/m ³), sangat tidak sehat (200 µg/m ³ – 299 µg/m ³), atau berbahaya (lebih dari 300 µg/m ³).
7	Agus Alwi Mashuri dan Nely Zulfa (2022)	Sistem <i>Monitoring</i> dan Pendukung keputusan Kualitas Udara di Kota Semarang Menggunakan IoT.	Penelitian ini menghasilkan alat IoT untuk memonitor kualitas udara menggunakan 3 sensor gas (MQ7, MQ6, dan MQ135) yang mengukur CO, C ₄ H ₁₀ , CO ₂ , dan NH ₃ dalam ppm. Sensor-sensor ini terhubung ke Raspberry Pi dan perisai IoT untuk mendeteksi tingkat polusi udara. IoTShield digunakan untuk keamanan perangkat dan pengiriman data ke <i>Google Spreadsheet</i> dengan pemberian peringatan jika tingkat gas melebihi batas yang diijinkan. Kalibrasi sensor gas diperlukan dengan merujuk pada diagram rangkaian dasar, yang bergantung pada R_s/R_o (resistansi sensor pada kadar CO tertentu/ resistansi sensor pada udara bersih dengan kadar CO 100 ppm). Data R_o dan R_s diperlukan untuk mengukur kadar CO dalam ppm. R_o digunakan untuk kalibrasi hasil



No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
8	Abu Buker Siddique, et al. (2022)	<i>An Intelligent and Secure Air Quality Monitoring System Using Neural Network Algorithm and Blockchain.</i>	pengujian dengan standar, yang akan disesuaikan nanti. Penelitian ini mengusulkan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan (IAQ) menggunakan sensor IoT dan teknologi <i>blockchain</i> . Perlunya pemantauan IAQ ditegaskan karena adanya bahaya pencemaran udara dalam ruangan terhadap kesehatan warga. Sistem ini terdiri dari sensor berbiaya rendah untuk mengukur suhu, kelembaban, karbon dioksida, materi partikulat, karbon monoksida, dan gas minyak cair.
9	Waheb A. Jabbar, et al. (2022)	<i>LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring</i>	Data dari <i>Air Quality Monitoring System</i> (AQMS) yang dikumpulkan melalui TTN, ThingSpeak, dan Virtuino perlu divalidasi untuk memastikan keandalan dan efisiensi sistem. Validasi data adalah langkah penting untuk memastikan data lingkungan yang akurat dan dapat diandalkan sebelum digunakan dalam pengambilan keputusan. Hal ini membantu mematuhi peraturan, menilai dampak kesehatan, dan mengembangkan strategi penanganan polusi lingkungan. Peneliti membandingkan data yang dikumpulkan dengan data eksperimen praktis menggunakan kit <i>Monitor Portable Aeroqual</i> selama periode pengujian tertentu.
10	Taufik Rachman, et al. (2021)	Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Lingkungan Perumahan Berbasis IOT Dengan NODEMCU.	Hasil penelitian ini adalah sistem <i>monitoring</i> kualitas udara berbasis IoT dengan NodeMCU. Sistem mengukur kualitas udara dan suhu, dengan lampu indikator hijau menandakan udara sehat, sedangkan lampu indikator merah menandakan



No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
11	Gita Pati Humairoh dan Rama Dani Eka Putra (2021)	Prototipe Pengendalian Kualitas Udara <i>Indoor</i> Menggunakan Mikrokontroler dengan Sensor MQ135, DHT-22 dan Filter HEPA.	udara tidak sehat. Data dikirim ke database untuk menghasilkan laporan kualitas udara sehat atau tidak sehat. Selain itu, terdapat <i>Use Case Diagram</i> dan <i>Activity Diagram</i> untuk menjelaskan interaksi sistem dan aliran aktivitas dalam sistem. Penelitian ini mengembangkan dua tipe prototipe pengendali udara <i>indoor</i> : satu dengan penyaring udara HEPA dan satu tanpa HEPA, keduanya terintegrasi dengan kipas udara di kedua sisi untuk optimalisasi sirkulasi udara. Filter HEPA dipasang setelah pengujian prototipe tanpa filter. Tahap <i>Running</i> Prototipe terbagi menjadi dua: pengujian dengan dan tanpa filter HEPA tanpa <i>Air Humidifier</i> , dan pengujian dengan dan tanpa filter HEPA dengan tambahan <i>Air Humidifier</i> .

