

SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA BERBASIS KOMUNIKASI LORA DI IT TELKOM PURWOKERTO

AIR QUALITY MONITORING SYSTEM BASED ON LORA COMMUNICATION IN IT TELKOM PURWOKERTO

Danny Kurnianto*¹, Kemuning Nenden Testy², Prasetyo Yuliantoro³

*Email: dannykurnianto@ittelkom-pwt.ac.id

¹Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

^{2,3}Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Abstrak— Institut Teknologi Telkom Purwokerto merupakan salah satu institusi pendidikan tinggi berbasis *Information and Communication Technology (ICT)* yang ada di kota Purwokerto. Sebagai salah satu perguruan tinggi yang sedang berkembang pesat, pertumbuhan jumlah mahasiswa maupun pembangunan fasilitas gedung perkuliahan meningkat setiap tahunnya. Polusi udara akibat asap kendaraan bermotor maupun aktifitas pembangunan gedung di sekitar kampus Institut Teknologi Telkom Purwokerto menyebabkan kualitas udara di sekitar kampus menjadi kurang sehat. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dirancang sebuah sistem monitoring kualitas udara yang dapat dipantau secara jarak jauh menggunakan komunikasi LoRa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah merancang sebuah purwarupa sistem dan kemudian melakukan pengujian terhadap performa purwarupa sistem yang dirancang tersebut. Pada sistem ini digunakan tiga sensor untuk mengukur kualitas udara yaitu MQ-7 untuk mengukur gas CO, MQ-135 untuk mengukur gas CO₂ dan GP2Y1010AU0F untuk mengukur partikulat debu. Protokol komunikasi dari *gateway* ke ThingSpeak menggunakan protokol HTTP. Hasil pengujian kalibrasi sensor dapat dikatakan baik dengan nilai akurasi sensor MQ-7 sebesar 98,19%. dan MQ-135 sebesar 95,04%. Pengujian parameter QoS pada komunikasi LoRa mendapatkan hasil nilai *throughput* tertinggi 4122,4 bps pada paket 64 byte jarak 10 m, nilai *packet loss* tertinggi sebesar 52% pada ukuran 251 byte jarak 300 m dan nilai RSSI terkecil yaitu -120,5 dBm pada ukuran paket 1 byte jarak 300 m. Pengujian kandungan gas CO mendapatkan nilai tertinggi gas CO yang terukur sebesar 17,58 PPM, sedangkan pengukuran gas CO₂ mendapatkan nilai tertinggi sebesar 643,25 PPM. Hasil pengujian kandungan debu cenderung meningkat dari nilai 78,03 ug/m³ ke nilai tertinggi sebesar 89,69 ug/m³.

Kata kunci — Kualitas udara, QoS, Komunikasi LoRa, sistem monitoring

Abstract— Telkom Institute of Technology Purwokerto is one of the higher education institutions based on Information and Communication Technology (ICT) in the city of Purwokerto. As one of the fastest-growing universities, the number of students enrolled and the number of buildings constructed each year continues to rise. The air quality around the Telkom Purwokerto Institute of Technology campus is unhealthy due to air pollution caused by motor vehicle fumes and construction activities. To resolve this concern, the goal of this research is to develop an air quality monitoring system that can be monitored remotely utilizing LoRa technology. The method employed in this research is to develop a prototype and then evaluate the performance of the developed prototype. Three sensors are used to measure air quality in this system: the MQ-7 for CO gas, the MQ-135 for CO₂ gas, and the GP2Y1010AU0F for dust particles. HTTP protocol is used to communicate from the gateway to ThingSpeak. The calibration test results on the sensor are good, with the accuracy value of the MQ-7 sensor being 98.19 percent and the MQ-135 sensor being 95.04 percent. The highest throughput value of 4122.4 bps on a 64-byte packet and a distance of 10 meters, the highest packet loss value of 52 percent at a size of 251 bytes and a distance of 300 meters, and the smallest RSSI value of -120.5 dBm at a packet size of 1 byte and a distance of 300 meters were obtained when the QoS parameters on LoRa communication were tested. The CO gas content test had the maximum value of 17.58 PPM, however the CO₂ gas measurement had the highest value of 643.25 PPM. The dust content test findings tended to rise from 78.03 ug/m³ to the highest value of 89.69 ug/m³.

Keywords – Air quality, QoS, LoRa communication, monitoring system

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu Negara yang memiliki perkembangan di sektor industri yang pesat, hal tersebut tentunya berpengaruh pada lingkungan hidup termasuk kualitas udara. Menurut Supraptini, polusi udara yang dikeluarkan dari cerobong asap kawasan industri apabila tidak dikelola dengan baik akan berdampak buruk pada kesehatan manusia, diantaranya dapat berpengaruh terhadap status fatal paru – paru, perubahan respon kekebalan tubuh, bahkan menyebabkan kematian pada makhluk hidup. Telah dijelaskan dalam peraturan pemerintah pentingnya udara bagi kehidupan, sehingga perlu dilestarikan serta dijaga fungsinya melalui pengendalian pencemaran udara [1]. Hal ini diperparah dengan pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor yang buruk [2]. Secara umum, pencemaran udara dapat berbentuk partikel maupun gas. Pencemaran udara berbentuk partikel seperti debu, aerosol dan timah hitam sedangkan yang berbentuk gas seperti CO, NOx, SOx, H₂S, hidrokarbon [3].

Institut Teknologi Telkom Purwokerto sebagai salah satu perguruan tinggi yang sedang berkembang pesat, pertumbuhan jumlah mahasiswa maupun pembangunan fasilitas gedung perkuliahan meningkat setiap tahunnya. Asap kendaraan bermotor maupun aktifitas pembangunan gedung dapat menyebabkan polusi udara dalam bentuk partikel maupun gas di sekitar kampus Institut Teknologi Telkom Purwokerto, hal ini menyebabkan kualitas udara di sekitar kampus menjadi kurang sehat.

Untuk mengatasi masalah tersebut, dirancang sebuah sistem monitoring kualitas udara yang dapat dipantau secara jarak jauh menggunakan komunikasi LoRa. Pada penelitian ini dibuat satu perangkat *end device* yang akan melakukan akuisisi data sensor gas dan debu. Data dari *end device* akan dikirimkan ke LoRa gateway yang selanjutnya akan ditampilkan di aplikasi Thingspeak melalui internet. Pada perangkat *end device* digunakan tiga sensor untuk mengukur kualitas udara yaitu MQ-7 untuk mengukur gas CO, MQ-135 untuk mengukur gas CO₂ dan GP2Y1010AU0F untuk mengukur partikulat debu. Protokol komunikasi dari gateway ke ThingSpeak menggunakan protokol HTTP.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pemantauan kualitas udara dirancang secara *real-time* guna memantau kandungan gas CO, O₃ dan partikel debu di Universitas Riau. Perangkat *end device* akan mengirimkan pembacaan data sensor ke sebuah komputer PC yang terhubung ke internet melalui komunikasi ZigBee [4]. Data kandungan gas CO dan O₃ yang telah diolah akan ditampilkan di *website* menggunakan aplikasi yang dibangun menggunakan Visual Basic 10.

Sistem monitoring kualitas udara yang diusulkan oleh Toni Nur Hakim dan kawan-kawan [5] melakukan pengukuran terhadap kandungan gas CO, NO dan O₃. Data gas tersebut akan ditampilkan di aplikasi Thingspeak melalui internet menggunakan komunikasi GPRS. Setiap modul atau perangkat akan mengirimkan data-data gas CO, NO dan O₃ secara langsung ke Thingspeak. Pada penelitian lain [6][7], data kualitas udara ditampilkan di website untuk dipantau secara *real-time* menggunakan akses internet melalui komunikasi Wi-Fi. Selain menggunakan website, data kualitas udara juga dapat ditampilkan pada aplikasi android di *smartphone* [8] melalui komunikasi Bluetooth (*peer to peer* tanpa melalui internet).

Pada perangkat-perangkat *end device* sensor yang diletakkan di banyak tempat dan tanpa akses internet, diperlukan suatu jaringan sensor yang akan mengirimkan data ke suatu perangkat gateway secara wireless (*wireless sensor network*). Data yang diterima perangkat gateway lalu dikirimkan ke server cloud melalui jaringan internet untuk dapat disimpan dan ditampilkan di website atau perangkat *mobile*. Perangkat komunikasi wireless yang mendukung terbentuknya jaringan sensor salah satunya adalah ZigBee. Selain menggunakan komunikasi ZigBee, teknologi LoRa juga dapat digunakan untuk komunikasi data jarak jauh dan membentuk LoraWAN. Salah satu penerapan teknologi LoRa yaitu digunakan pada sistem pelacakan perahu nelayan [9]. Koordinat perahu nelayan nantinya akan ditampilkan di website secara *real-time* sehingga memudahkan operator mengetahui posisi perahu tersebut setiap waktu.

Pada teknologi *internet of things*, data *output* dapat ditampilkan melalui website atau perangkat *mobile phone*. Untuk menampilkan data tersebut, dibutuhkan *server cloud* untuk menyimpan data dari *end device* sebelum ditampilkan pada website maupun *mobile phone*. Salah satu *server cloud* yang

mulia banyak digunakan adalah ThingSpeak [9-10]. Komunikasi data antara *gateway* dengan *server cloud* dilakukan melalui sebuah protokol komunikasi. Protokol HTTP merupakan protokol yang digunakan pada perancangan sistem multi telemetri untuk mengukur suhu udara [11]. Pada penelitian [12] dilakukan pengukuran kualitas layanan komunikasi pada LoRa meliputi delay, RSSI, throughput dan nilai SNR yang dihasilkan saat transmisi data berlangsung.

Sistem monitoring kualitas udara yang kami usulkan memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya yaitu menggunakan LoRa sebagai komunikasi jarak jauh. Kelebihan LoRa adalah mampu menjangkau tempat-tempat dengan jarak yang jauh, dimana tempat-tempat tersebut tidak memiliki akses internet.

A. Parameter Kualitas Udara

Pada penelitian ini standar udara yang diukur yaitu Karbonmonoksida (CO) menggunakan sensor gas MQ-7, Karbondioksida (CO₂) menggunakan sensor gas MQ-135 dan Partikulat debu menggunakan sensor GP2Y1010AU0F.

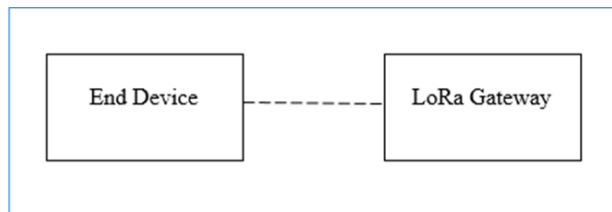
B. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah struktur di mana obyek, orang disediakan dengan identitas eksklusif dan kemampuan untuk pindah data melalui jaringan tanpa memerlukan dua arah antara manusia ke manusia yaitu sumber ke tujuan atau interaksi manusia ke komputer. Perkembangan teknologi yang menjanjikan pada IoT dapat mengoptimalkan kehidupan dengan sensor-sensor cerdas dan benda yang memiliki jaringan dan bekerjasama dalam internet [13].

C. LoRa (Long Range Area)

LoRa atau *Long Range Access* adalah salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang saat ini banyak digunakan dalam aplikasi *wireless sensor network*. Sebagai salah satu teknologi dari LPWAN (*Low Power Wide Access Network*), LoRa beroperasi pada pita frekuensi tidak berlisensi (2.4 GHz, 868/915 MHz, 433 MHz, dan 169 MHz) [14]. Sebagai salah satu teknologi nirkabel LoRa digunakan sebagai sensor monitoring suatu objek. Pada Gambar 1 ditunjukkan LoRa *End-device* digunakan sebagai pengirim data ke objek yang diamati terus-menerus, dimana untuk sensor yang terhubung pada radio LoRa ke satu atau pada beberapa *gateway*. LoRa *gateway* yang digunakan untuk menghubungkan *end-device* ke LoRa NetServer pada arsitektur

jaringan LoRa. LoRa Netserver digunakan untuk server jaringan apabila dilakukan pengontrolan atau monitoring seperti security, radio resource management dan lain sebagainya.



Gambar 1. Visualisasi LoRa

D. Sensor Gas MQ – 135

MQ – 135 merupakan sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas – gas di udara yaitu karbondioksida (CO₂). Berupa nilai resistansi analog di pin keluarannya. Pin keluaran tersebut disambungkan pada pin ADC (Analog-to-digital converter) di mikrokontroler atau pin analog input arduino dengan menambahkan satu buah resistor saja. Pada sensor gas MQ – 135 terdapat internal heater. Kondisi heater pada sensor penting karena sensor bias bekerja stabil jika heating pada voltage terpenuhi sebesar 5 V dengan waktu heating 60 detik, jarak pengukuran : 10 – 1000 ppm [15][16]. Pada Gambar 2 ditunjukkan sensor gas MQ-135.



Gambar 2. Sensor gas MQ-135

E. Sensor Gas MQ-7

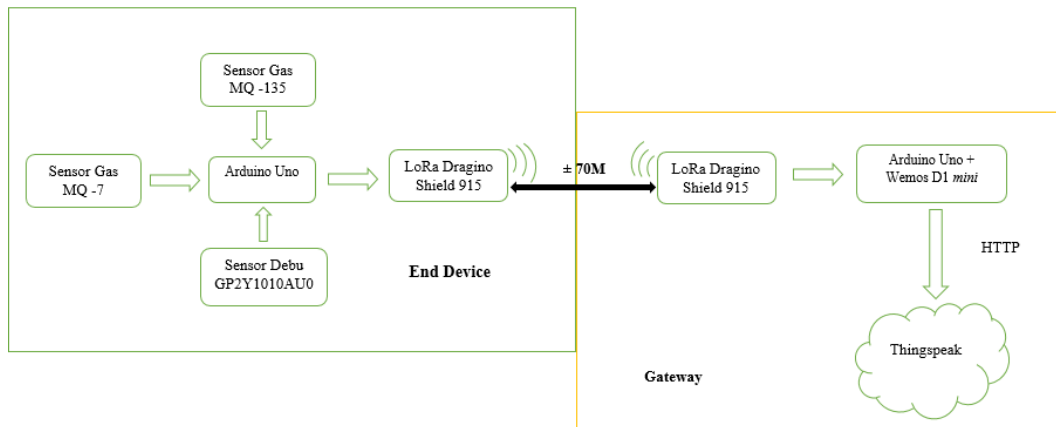
MQ – 7 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi gas karbondioksida (CO). pada kehidupan sehari – hari, industri, atau mobil. Fitur dari sensor gas MQ-7 ini mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap karbonmonoksida (CO). Sensor ini menggunakan daya heater sebesar 5 V AC/DC dan menggunakan daya rangkaian sebesar 5 V, jarak pengukuran : 20 – 2000 ppm untuk mampu mengukur gas karbonmonoksida [17][18]. Pada Gambar 3 ditunjukkan sensor gas MQ-7.



Gambar 3. Sensor gas MQ-7

F. Sharp Optical Dust Sensor GP2Y1010AU0F

Sharp Optical Dust Sensor GP2Y1010AU0F sangat efektif dalam mendeteksi partikel yang sangat halus. Menggunakan diode infra merah dan fototransistor secara diagonal untuk mendeteksi cahaya yang dipantulkan dari debu di udara, prinsip kerja dari sensor ini yaitu dengan mendeteksi debu ataupun partikel yang lain kemudian dipantulkan cahaya ke bagian penerima. Cahaya dicerminkan pada partikel melewati keseluruhan permukaan kemudian, oleh photodiode diubah menjadi tegangan. Tegangan diperkuatkan agar dapat membaca perubahan. Output dari sensor adalah tegangan



Gambar 4. Diagram blok sistem

B. Parameter Pengujian

Beberapa parameter yang akan diuji adalah sebagai berikut:

- Pengujian pembacaan sensor MQ-7, MQ-135 dan GP2Y1010AU0F
- Pengujian QoS komunikasi LoRa end device ke LoRa gateway.

analog sebanding dengan kepadatan debu yang terukur, dengan sensitivitas $0,5 \text{ V} / 0,1 \text{ mg/m}^3$ [17].

III. METODE

A. Diagram Blok Sistem

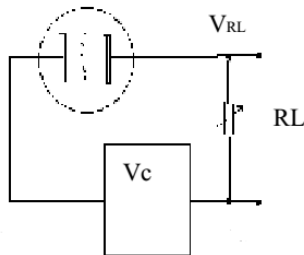
Diagram blok dari sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian *end device* dan *gateway*. Dimana *end device* adalah perangkat antarmuka atau interface antara pengguna dan jaringan komunikasi dasar. Pada *end-device* dilakukan pengambilan data dengan 3 sensor yang digunakan yaitu Sensor Gas MQ-135, Sensor Gas MQ-7, Sensor debu GP2Y1010AU0F. Gateway digunakan sebagai media untuk menghubungkan satu jaringan ke jaringan komputer dengan satu atau beberapa jenis komputer lainnya dengan menggunakan sistem protokol yang berbeda sehingga jaringan komputer dapat mengakses satu sama lain. Jarak pengambilan data antara *end device* dengan gateway yaitu $\pm 70 \text{ m}$.

C. Perancangan Sensor

Perancangan sensor MQ-7

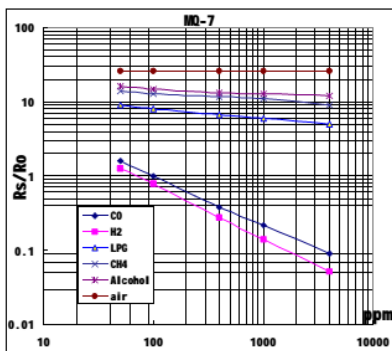
Untuk melakukan perancangan sensor MQ-7 dilakukan dengan melihat rangkaian sensor maupun grafik PPM terhadap nilai RS/RO yang ditunjukkan pada Datasheet sensor MQ-7. Pada Gambar 5 ditunjukkan gambar rangkaian sensor MQ-7, Gambar 6 ditunjukkan grafik nilai RS/RO terhadap nilai PPM pada sensor MQ-7 dan pada Gambar 7

ditunjukkan grafik RS/RO terhadap nilai PPM gas CO pada sensor MQ-7.

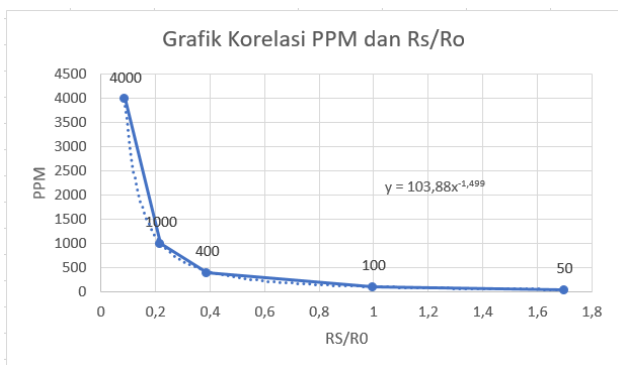


Gambar 5. Rangkaian sensor Mq-7 [18]

Pada Gambar 5, RL adalah hambatan beban yang nilainya 1 K Ohm, VC adalah tegangan sumber sensor yang nilainya 5 Volt dan VRL adalah tegangan yang jatuh pada beban RL.



Gambar 6. Grafik nilai RS/RO terhadap nilai PPM sensor MQ-7 [18]



Gambar 7. Grafik nilai RS/RO terhadap PPM gas CO pada sensor MQ-7 [18]

Dari Gambar 7 ditunjukkan bahwa nilai PPM gas CO ditentukan dari perbandingan nilai RS dan RO sensor MQ-7 yang dimodelkan dalam bentuk persamaan:

$$y = 103,88 x^{-1,499} \quad (1)$$

Keterangan:

$$x = RS/RO$$

$$y = PPM$$

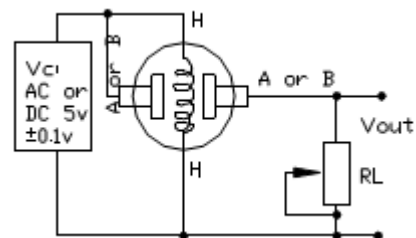
RS adalah resistansi sensor yang nilainya bervariasi sesuai dengan kadar gas yang terdeteksi, sedangkan RO resistansi sensor yang nilainya tetap. Nilai RO dicari dengan melihat grafik pada Gambar 7 pada saat nilai PPM gas CO sebesar 100 PPM, dimana pada saat kondisi tersebut, nilai RS/RO adalah 1 artinya nilai antara RS dan RO adalah sama. Nilai RS didapatkan dengan melihat rangkaian sensor pada Gambar 5 dengan rumus [18]:

$$RS = \frac{Vc - VRL}{VRL} \times RL \quad (2)$$

Dari pengujian nilai RO seperti yang telah dilakukan pada penelitian [19] pada kondisi konsentrasi gas CO bernilai 100 PPM maka didapatkan nilai RO sebesar 6,69 K Ohm. Nilai RO ini akan digunakan sebagai pembanding terhadap nilai RS yang bervariasi sesuai kadar gas CO di udara. Untuk melakukan kalibrasi sensor MQ-7, dilakukan pembandingan pembacaan sensor MQ-7 terhadap nilai PPM gas CO pada saat udara bersih (20 PPM).

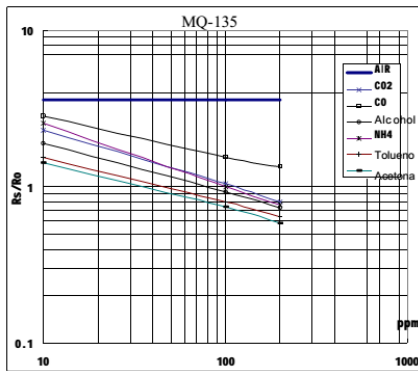
Perancangan Sensor MQ-135

Untuk melakukan perancangan sensor MQ-135 dilakukan dengan melihat rangkaian sensor maupun grafik PPM terhadap nilai RS/RO yang ditunjukkan pada Datasheet sensor MQ-135. Pada Gambar 8 ditunjukkan gambar rangkaian sensor MQ-135, pada Gambar 9 ditunjukkan grafik nilai RS/RO terhadap PPM pada sensor MQ-135 dan pada Gambar 10 ditunjukkan grafik RS/RO terhadap nilai PPM gas CO2 pada sensor MQ-135.

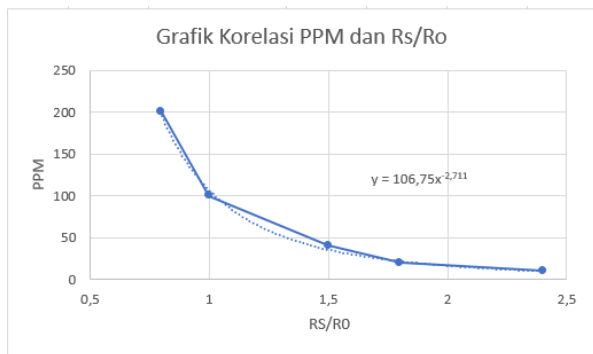


Gambar 8. Rangkaian sensor MQ-135 [16]

Pada Gambar 8, RL adalah hambatan beban yang nilainya 10 K Ohm, VC adalah tegangan sumber sensor yang nilainya 5 Volt dan Vout adalah tegangan yang jatuh pada beban RL.



Gambar 9. Grafik nilai RS/RO terhadap PPM pada sensor MQ-135



Gambar 10. Grafik nilai RS/RO terhadap PPM gas CO2 pada sensor MQ-135

Dari Gambar 10 ditunjukkan bahwa nilai PPM gas CO2 ditentukan dari nilai RS dan RO sensor MQ-135 yang dimodelkan dalam bentuk persamaan:

$$y = 106,75x^{-2,711} \quad (3)$$

Keterangan:

$x = RS/RO$

$y = PPM$

RS adalah resistansi sensor yang nilainya bervariasi sesuai dengan kadar gas yang terdeteksi, sedangkan RO resistensi sensor yang nilainya tetap diukur pada udara bersih. Pada datasheet, nilai RS/RO pada udara bersih adalah 3,6 yang ditunjukkan dengan garis tebal warna biru pada Gambar 9 dan nilai RS didapatkan dari persamaan:

$$RS = \frac{Vc - Vout}{Vout} \times RL \quad (4)$$

Pada udara bersih didapatkan pengukuran nilai RS sebesar 66,92 k Ohm. Maka nilai RO didapatkan adalah:

$$3,6 = 66,92 \text{ k} / RO$$

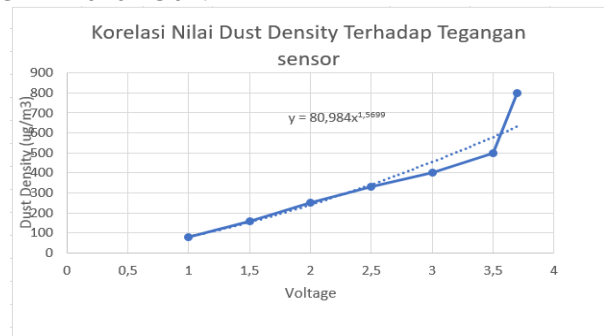
$$RO = 66,92 \text{ k} / 3,6$$

$RO = 18,59 \text{ K Ohm}$

Untuk selanjutnya nilai $RO = 18,59 \text{ K ohm}$ ini akan digunakan sebagai pembanding terhadap nilai RS yang bervariasi sesuai kadar gas CO2 di udara. Untuk Kalibrasi sensor MQ-135 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor MQ-135 (dalam PPM) di dalam udara bersih terhadap nilai PPM gas CO2 pada udara bersih (314 PPM) [15]

Perancangan Sensor GP2Y1010AU0F

Pada Gambar 11 ditunjukkan grafik nilai dust density terhadap tegangan untuk sensor GP2Y1010AU0F.



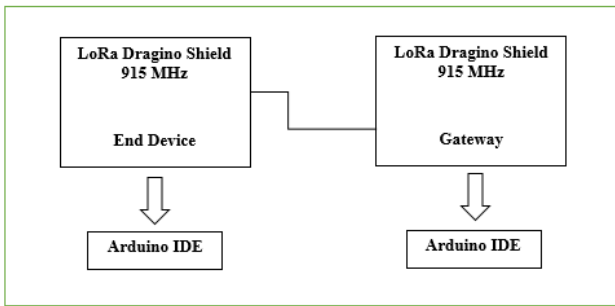
Gambar 11. Grafik nilai *dust density* terhadap tegangan untuk sensor GP2Y1010AU0F [20]

Dari grafik pada Gambar 11 diketahui bahwa sensitifitas sensor GP2Y1010AU0F adalah sebesar 0,5 V / (0,1 mg/m3). Persamaan sensitifitas dari sensor GP2Y1010AU0F sesuai persamaan:

$$y = 80,984x^{1,5699} \quad (5)$$

D. Pengujian Parameter QoS Pada Perangkat LoRa

Pengujian parameter QoS dilakukan dengan mengukur QoS (Quality of Service) pada komunikasi LoRa Dragino Shield 915 MHz di *end device* dan *gateway* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Pengujian ini dilakukan berdasarkan jarak dan ukuran paket. Jarak yang diukur 10 m, 100 m, 200 m dan 300 m pada area kampus IT Telkom Purwokerto dan ukuran paket yang dikirim yaitu 1 byte, 32 byte, 64 byte, 128 byte dan 251 byte. Parameter yang diukur yaitu *throughput*, *packet loss* dan RSSI.

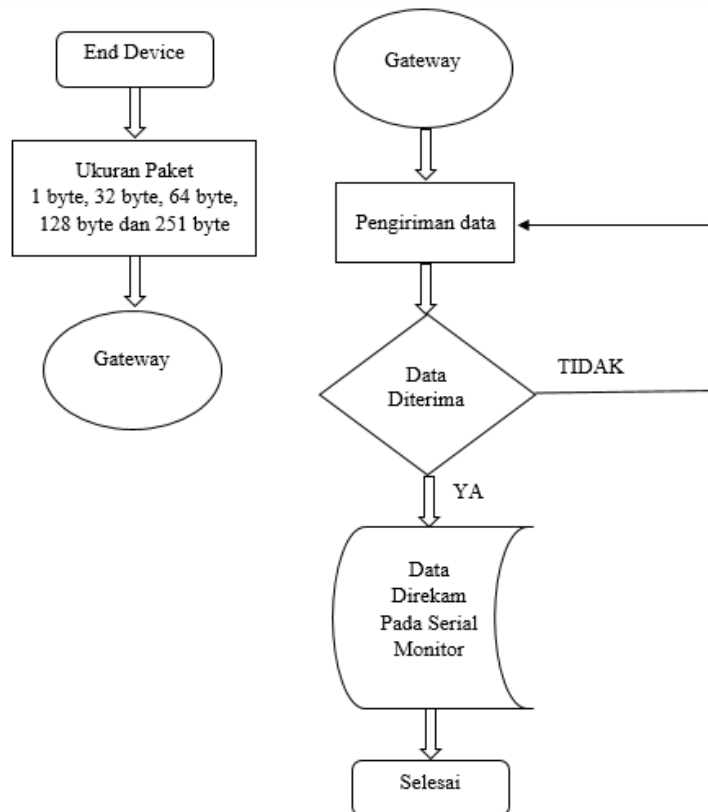


Gambar 12. Diagram blok pengujian parameter QoS pada LoRa

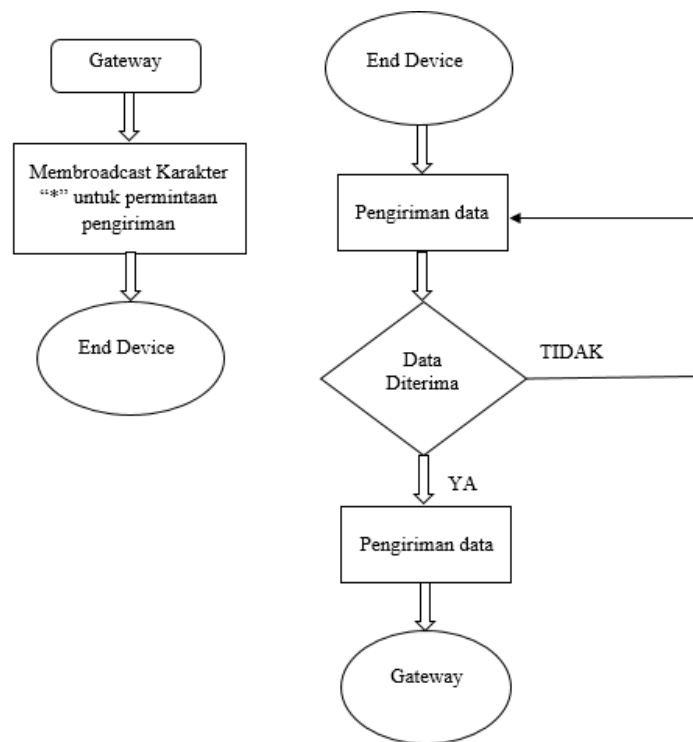
Pengujian komunikasi LoRa Dragino Shield 915 MHz dengan menggunakan 1 laptop, pada gateway daya yang digunakan dengan menggunakan Power

Bank dan pada end-device menggunakan laptop. Pengujian ini menggunakan software Arduino Uno. Dan pengujian ditentukan berdasarkan jarak dan ukuran paket yang sudah ditentukan. Pengujian dilakukan pada wilayah IT Telkom Purwokerto 10-300 meter.

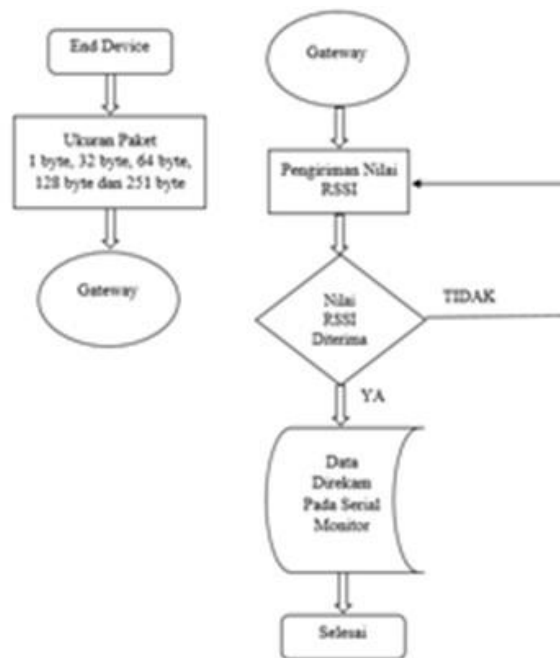
Pada Gambar 13 ditunjukkan diagram alir pengujian nilai *throughput* pada komunikasi LoRa. Pada Gambar 14 ditunjukkan diagram alir pengujian nilai *packet loss* pada komunikasi LoRa. Sedangkan pada Gambar 15 ditunjukkan diagram alir pengujian nilai RSSI pada komunikasi LoRa.



Gambar 13. Diagram alir pengujian nilai *throughput*



Gambar 14. Diagram alir pengujian nilai packet loss



Gambar 15. Diagram alir pengujian nilai RSSI

E. Pengujian Kadar Gas CO, CO₂ dan Partikulat Debu

Setelah sensor MQ-7, MQ-135 dan GP2Y1010AU0F dirancang sesuai ketentuan pada datasheet, maka pada tahap ini akan dilakukan pengukuran kadar gas CO, CO₂ dan partikulat debu selama 6 hari (6 x 24 jam).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem

Pada bab ini akan dijelaskan hasil pengujian sistem. Pada Gambar 16 ditunjukkan gambar sistem pada bagian gateway.

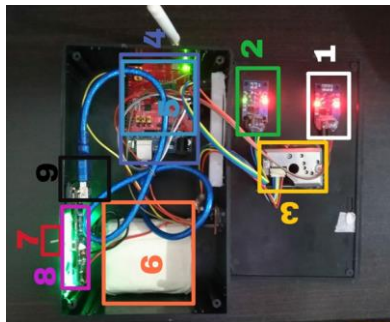


Gambar 16. Gambar sistem pada bagian gateway

Keterangan dari Gambar 16 adalah sebagai berikut:

1. Wemos D1 mini
2. Arduino Uno
3. LoRa Dragino Shield 915 MHz
4. Antena 2dBi
5. kabel konektor
6. Kabel USB

Pada Gambar 17 ditunjukkan gambar sistem pada bagian *end device*.



Gambar 17. Gambar sistem pada bagian end device

Keterangan dari Gambar 17 adalah sebagai berikut:

1. sensor gas MQ-135
2. sensor gas MQ-7
3. sensor debu GP2Y1010AU0F
4. Arduino Uno
5. LoRa Dragino Shield 915 MHz
6. Baterai
7. Saklar digunakan untuk On – Off daya
8. Lampu indikator
9. Kabel konektor

B. Kalibrasi Sensor MQ-7 dan MQ-135

Untuk melakukan kalibrasi sensor MQ-7 dan MQ-135 dilakukan dengan menggunakan kadar gas CO dan CO₂ pada udara bersih. Kadar gas CO pada udara bersih sebesar 20 PPM dan gas CO₂ sebesar 314. Pada Tabel-1 ditunjukkan hasil kalibrasi sensor MQ-7.

Nilai error didapatkan dari persamaan (5)

$$\text{Error} = (|a-b|/a) \times 100 \quad (5)$$

Tabel-1. Hasil pengujian kalibrasi sensor MQ-7

No	Kadar CO (ppm) pada Udara Bersih (a)	Hasil Baca Sensor (b)	Error (a-b /a)*100
1.	20	20,9	4,5%
2.	20	20,32	1,6%
3.	20	20,14	0,7%
4.	20	20,32	1,6%
5.	20	20,7	3,5%
6.	20	19,95	0,25%
7.	20	20,14	0,7%
8.	20	20,14	0,7%
9.	20	20,32	1,6%
10.	20	20,9	4,5%
11.	20	20,51	2,55%
12.	20	20,32	1,6%
13.	20	20,14	0,7%
14.	20	20,14	0,7%
15.	20	20,14	0,7%
16.	20	20,32	1,6%
17.	20	19,76	1,2%
18.	20	20,9	4,5%
19.	20	20,51	2,55%
20.	20	19,95	0,25%
21.	20	20,9	4,5%
22.	20	20,7	3,5%
23.	20	20,14	0,7%
24.	20	20,32	1,6%

No	Kadar CO (ppm) pada Udara Bersih (a)	Hasil Baca Sensor (b)	Error ((a-b/a)*100)
25.	20	20,14	0,7%
26.	20	20,32	1,6%
27.	20	19,95	0,25%
28.	20	19,95	0,25%
29.	20	20,14	0,7%
30.	20	20,9	4,5%
Rata – Rata Error			1,81%

Dari hasil pengujian sebanyak 30 kali didapatkan nilai rata-rata error sebesar 1,81%. Ini berarti nilai akurasi sensor MQ-7 sebesar 98,19%.

Pada Tabel-2 ditunjukkan hasil kalibrasi sensor MQ-135.

Tabel-2. Hasil pengujian kalibrasi sensor MQ-135

No	Kadar CO ₂ (ppm) pada Udara Bersih (a)	Hasil Baca Sensor (b)	Error ((a-b/a)*100)
1.	314	297,72	5,81%
2.	314	331,91	5,70%
3.	314	289,58	7,78%
4.	314	297,72	5,18%
5.	314	289,58	7,78%
6.	314	289,58	7,78%
7.	314	289,58	7,78%
8.	314	320,77	2,16%
9.	314	289,58	7,78%
10.	314	331,91	5,70%
11.	314	297,72	5,18%
12.	314	331,91	5,70%
13.	314	306,02	2,54%
14.	314	306,02	2,54%
15.	314	289,58	7,78%
16.	314	289,11	7,93%
17.	314	323,11	2,90%
18.	314	289,58	7,78%
19.	314	340,88	8,56%
20.	314	306,02	2,54%
21.	314	297,72	5,18%
22.	314	314,48	0,15%
23.	314	314,48	0,15%
24.	314	331,91	5,70%
25.	314	314,48	0,15%
26.	314	331,91	5,70%

No	Kadar CO ₂ (ppm) pada Udara Bersih (a)	Hasil Baca Sensor (b)	Error ((a-b/a)*100)
27.	314	306,02	2,54%
28.	314	297,72	5,18%
29.	314	297,72	5,18%
30.	314	306,02	2,54%
Rata – Rata Error			4,96%

Dari hasil pengujian sebanyak 30 kali didapatkan nilai rata-rata error sebesar 4,96%. jadi, akurasi sensor MQ-135 sebesar 95,04%.

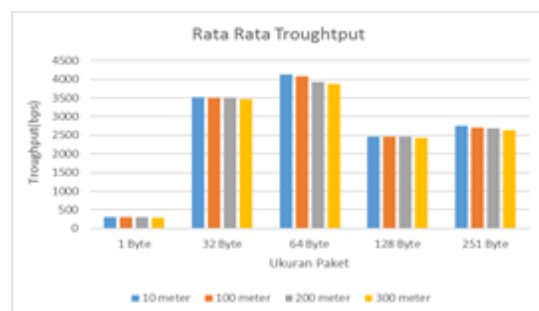
C. Hasil Pengujian QoS Pada LoRa

a) Hasil Pengujian Throughput

Pada ukuran paket 1 byte nilai throughput pada jarak 10 m - 200 m mendapatkan nilai yang sama yaitu 304 bps dan jarak 300 m nilainya mengecil menjadi 292,4 bps, pada ukuran paket 32 byte nilai throughput jarak 10 m yaitu 3513,6 bps, jarak 100 m – 200 m mendapatkan nilai yang sama yaitu 3506,4 bps kemudian, pada jarak 300 m mengecil menjadi 3472,8 bps. Selanjutnya, ukuran paket 64 byte nilai throughput yang didapat pada jarak 10 m yaitu 4122,4 bps, jarak 100 m yaitu 4072 bps, jarak 200 m yaitu 3924 bps dan jarak 300 m yaitu 3882,6 byte.

Pada ukuran paket 128 byte nilai throughput jarak 10 m yaitu 2456 bps, jarak 100 m – 200 m nilainya sama yaitu 2456 bps, jarak 300 m nilainya yaitu 2435,2 bps. Kemudian, ukuran paket 251 byte nilai throughput jarak 10 m 2748 bps, jarak 100 m nilainya yaitu 2708 bps, jarak 200 m nilainya yaitu 2688 bps dan pada jarak 300 m nilainya 2628 bps. Pada pengujian Throughput, semakin jauh jaraknya maka nilai throughput yang didapatkan semakin kecil. Untuk ukuran paket 1 byte, 32 byte, 64 byte, 128 byte dan 251 byte semua masih dikategorikan bagus nilai throughputnya.

Pada Gambar 18 ditunjukkan hasil pengujian nilai throughput pada komunikasi LoRa.

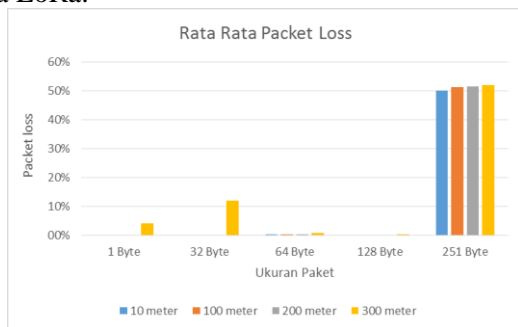


Gambar 18. Hasil pengujian nilai throughput pada LoRa

b) Hasil Pengujian *Packet Loss*

Pada ukuran paket 1 byte nilai *packet loss* pada jarak 10 m - 200 m yaitu 0% sedangkan pada jarak 300 m adalah 4%, kemudian pada ukuran paket 32 byte sama seperti ukuran paket sebelumnya, *packet loss* hanya pada jarak 300 m dengan nilai 12%. Selanjutnya ukuran paket 64 byte terdapat *packet loss* pada jarak 10 m dan 100 m dengan nilai yang sama yaitu 0,2 % dan pada jarak 200 m nilai *packet loss*-nya 0,4%, jarak 300 m nilai tertinggi dengan 0,8%. Kemudian untuk ukuran paket 128 byte pada jarak 10 m – 200 m nilai *packet loss*-nya 0% dan pada jarak 300 m nilainya 0,4%.

Terakhir yaitu dengan ukuran paket 251 byte, pada jarak 10 m nilai *packet loss* yang didapatkan 50%, jarak 100 m dan 200 m nilainya 51%, kemudian jarak 300 m nilainya 52%. Pengujian QoS pada LoRa di parameter *packet loss* apabila semakin jauh jaraknya maka nilai *packet loss* akan semakin besar demikian juga jika nilai paket data sebesar 251 byte maka nilai *packet loss*-nya makin besar. Pada Gambar 19 ditunjukkan hasil pengujian *packet loss* pada LoRa.



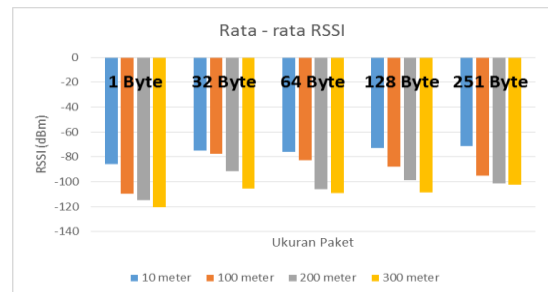
Gambar 19. Hasil pengujian *packet loss* pada LoRa

c) Pengujian RSSI

Pada ukuran paket 1 byte nilai RSSI pada jarak 10 m yaitu -85,7 dBm, jarak 100 m yaitu -109,8 dBm, jarak 200 m yaitu -115 dBm, jarak 300 m yaitu -120 dBm dan pada ukuran paket 32 byte jarak 10 m mendapatkan nilai -75 dBm, jarak 100 m yaitu -77,5 dBm, jarak 200 m yaitu 91,7 dBm dan jarak 300 m yaitu -105 dBm. Kemudian, pada ukuran paket 64 byte jarak 10 m nilainya yaitu -76,2 dBm, jarak 100 m nilainya yaitu -82,7 dBm, jarak 200 m yaitu -106 dBm dan jarak 300 m nilainya -109,1 dBm. Pada ukuran paket 128 byte jarak 10 m mendapatkan nilai -72,9 dBm, jarak 100 m nilainya -88,1 dBm, jarak 200 m nilainya -98,6 dBm dan jarak 300 m nilainya -108,4 dBm.

Ukuran paket yang terakhir yaitu 251 byte dengan jarak 10 m nilainya -71,3 dBm, jarak 100 m nilainya -94,9 dBm, jarak 200 m nilainya -101,2

dBm dan pada jarak 300 m nilainya -102,1 dBm. Pada pengukuran ini semakin jauh jaraknya maka nilai RSSI semakin kecil. Pada Gambar 20 ditunjukkan hasil pengujian nilai RSSI pada LoRa.

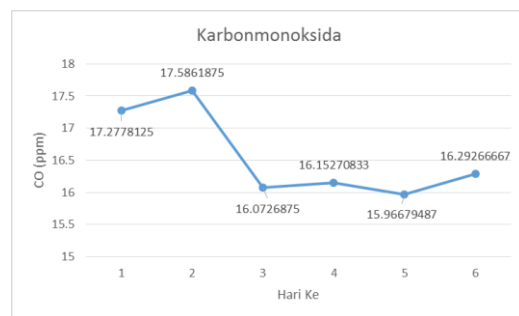


Gambar 20. Hasil pengujian nilai RSSI pada LoRa

D. Pengujian Kadar Gas CO, CO₂ dan Partikulat Debu

a) Hasil Pengujian Gas Karbonmonoksida (CO)

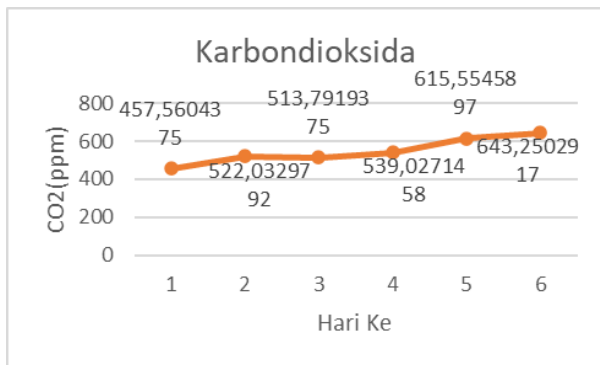
Hasil pengujian kualitas udara pada sensor MQ-7 Karbonmonoksida (CO) selama 6 hari (6x24 jam) dapat dilihat pada Gambar 21. Selama enam hari pengukuran gas CO di udara IT Telkom Purwokerto, kandungan gas CO mengalami kenaikan dan penurunan, kenaikan terjadi pada hari ke dua, empat dan keenam sedangkan penurunan terjadi pada hari ke tiga dan kelima. Kadar CO di udara mencapai nilai tertinggi pada hari kedua yaitu 17,586188 ppm dan kadar CO di udara terendah pada hari ketiga yaitu 16,072688 ppm.



Gambar 21. Hasil pengujian kandungan gas karbonmonoksida (CO)

b) Hasil Pengujian Gas Karbondioksida (CO₂)

Pada pengujian kualitas udara pada sensor MQ-135 Karbondioksida (CO₂) selama 6 hari (6x24 jam), dapat dilihat pada Gambar 22. Kandungan gas CO₂ di udara IT Telkom Purwokerto setiap hari semakin meningkat, kecuali pada hari ke tiga mengalami sedikit penurunan dengan nilai 513,7919375 ppm pada kadar CO₂ di udara dan mencapai puncak tertinggi nilainya 643,2502917 ppm pada hari ke enam.



Gambar 22. Hasil pengujian kandungan gas karbondioksida (CO₂)

C. Hasil Pengujian Partikulat Debu

Hasil pengujian kualitas udara pada sensor GP2Y1010AU0F yaitu partikulat debu di udara dapat dilihat pada Gambar 23. Kadar debu di udara IT Telkom Purwokerto selama 6 hari (6x24 jam) mengalami kenaikan dan penurunan. Kenaikan kadar debu di udara terjadi pada hari ke dua, empat, lima dan keenam sedangkan penurunan kadar debu di udara terjadi pada hari ke tiga. Kadar debu di udara dengan nilai terbesar yaitu pada hari ke enam dengan nilai 89,69770833 ug/m³ dan kadar debu dengan nilai terkecil yaitu pada hari pertama dengan nilai 78,03002083 ug/m³. Dimana faktor kenaikan dan penurunan partikulat debu di udara IT Telkom Purwokerto selalu berubah tergantung dengan aktifitas yang ada di sekitar kampus.



Gambar 23. Hasil pengujian kadar partikulat debu

V. KESIMPULAN

Pada kalibrasi sensor MQ-7 dan MQ-135 dihasilkan nilai akurasi yang memuaskan yaitu sebesar 98,19% untuk sensor MQ-7 dan 95,04% untuk sensor MQ-135. Pada pengujian QoS pada komunikasi LoRa didapatkan hasil untuk pengukuran *throughput* bahwa semakin jauh jaraknya semakin kecil nilainya dan nilai tertinggi yaitu pada pengukuran paket 64 byte jarak 10 m dengan nilai 4122,4 bps yang dikategorikan sangat baik menurut standar Thipon, Hasil pengukuran

kategori *packet loss* apabila jarak semakin jauh *packet loss* yang didapat semakin besar, nilai *packet loss* yang tertinggi yaitu pada ukuran 251 byte jarak 300 m dengan nilai 52% yang dikategorikan tidak bagus menurut standar Thipon, Hasil RSSI pada ukuran paket 1 byte jarak 300 m dengan nilai -120,5 dBm yang mana nilai yang semakin baik pada pengukuran RSSI yaitu mendekati 0. Untuk hasil pengujian kandungan gas CO, CO₂ dan debu menunjukkan bahwa nilai tertinggi gas CO yang terukur sebesar 17,58 PPM. Untuk kandungan gas CO₂ nilai tertinggi gas CO₂ yang terukur sebesar 643,25 PPM. Untuk kandungan debu cenderung meningkat dari nilai 78,03 ug/m³ ke nilai tertinggi sebesar 89,69 ug/m³, hal ini tergantung dari banyaknya aktifitas pembangunan atau lainnya di wilayah IT Telkom Purwokerto.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. F. Arya, M. Faiqurahman, and Y. Azhar, "Aplikasi Wireless Sensor Network Untuk Sistem Monitoring Dan Klasifikasi Kualitas Udara," *Sistemasi*, vol. 7, no. 3, p. 281, 2018.
- [2] A. Masito, "Risk Assessment Ambient Air Quality (NO₂ And SO₂) and The Respiratory Disorders to Communities in the Kalianak Area of Surabaya," *J. Kesehatan. Lingkungan.*, vol. 10, no. 4, p. 394, 2018.
- [3] R.D Ratnani, "Teknik Pengendalian Pencemaran Udara Yang Diakibatkan Oleh Partikel," *Momentum*, Vol. 4, No.2, pp.27-32, 2008.
- [4] N. Middinali *et al.*, "Pembangunan Sistem Monitoring Data Kualitas Udara Berbasis Iot Di Universitas Riau," *Jom FTEKNIK* , vol. 6, no.1, pp. 1–8, 2019.
- [5] Toni Nur Hakim and Moh. Farid Susanto. *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Internet of Things*. Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar. Bandung. 2020; 496-502.
- [6] Muchamad Seno Sahisnu Virdaus, Eko Ihsanto, "Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Kualitas Udara Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Wemos," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 01, pp. 22-28, 2021.
- [7] Ikhwan Prayoga, Dedi Triyanto, and Suhardi, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Secara Realtime Dengan Peringatan Bahaya Kualitas Udara Tidak Sehat Menggunakan Push Notification," *Coding : Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 8, no. 2, pp.91-102, 2020.

- [8] Muhammad Syahputra Novelan, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Menggunakan Mikrokontroler dan Aplikasi Android," *InfoTekJar*, vol. 4, no. 2, pp.240-244, 2020.
- [9] W. P. Putra, R. I. M, A. Sumarudin, and A. E. Putro, "Implementasi Lorawan Server Untuk Sistem Tracking Perahu Nelayan Berbasis MQTT Protocol," *J. Appl. Informatics Comput.*, vol. 2, no. 2, pp. 46–50, 2018.
- [10] N. A. Noor, K. Naim, Sofyan, Asriyadi. Implementasi webservice thingspeak pada alat ukur parameter portable solar panel. Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M). 2018. pp. 121–128.
- [11] H. S. Nida, "Prototype Sistem Multi-Telemetry Wireless untuk Mengukur Suhu Udara Berbasis Mikrokontroler ESP8266 pada Greenhouse," *Kinetik*, vol. 2, no. 3, pp. 217–226, 2017
- [12] F. N. Aroeboesman, M. H. H. Ichsan, and R. Primananda, "Analisis Kinerja LoRa SX1278 Menggunakan Topologi Star Berdasarkan," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 4, pp. 3860–3865, 2019.
- [13] W. Wilianto and A. Kurniawan, "Sejarah, Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things," *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, p. 36, 2018.
- [14] M. Diana, R. Nazir, and A. Rufiyanto, "Harvesting RF Ambient Energy dari End Device LoRa (Long Range Access)," *J. Infotel*, vol. 9, no. 4, p. 387, 2017.
- [15] S. Widodo, M. M. Amin, A. Sutrisman, and A. A. Putra, "Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih Dan Gas Berbahaya Co, CO₂, Dan CH₄ Di Dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler," *Pseudocode*, vol. 4, no. 2, pp. 105–119, 2017.
- [16] Huanwei Electronics, "Mq-135 Gas Sensor," vol. 1, pp. 3–4, 2014.
- [17] Fendi Ardiansyah et.al, "Sistem Monitoring Debu Dan Karbon Monoksida Pada Lingkungan Kerja Boiler Di PT. Karunia Alam Segar," *IKRA-ITH TEKNOLOGI : Jurnal Sains & Teknologi*, vol. 2, no. 3, pp. 62–71, 2018.
- [18] Hanwei Henan, "MQ-7 Gas Sensor Datasheet," vol. 1, pp. 3–5, 2006.
- [19] A.W. Damanik. Sistem Detektor Kadar Zat Carbon Monoksida Pada Ruangan Berbasis Mikrokontroller ATMEGA 328. Tugas Akhir. Medan: Universitas Sumatera Utara; 2019.
- [20] Sharp. Technical Data GP2Y1010AU0F. Sharp Corporation. 2006
-