

## DESAIN IMPLEMENTASI MODUL GSM (*GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION*) DALAM MONITORING POLUSI UDARA SEBAGAI FAKTOR PEMANASAN GLOBAL

Michael Jeremy Fountain<sup>1\*</sup>, Ditya Pramesti Hidayat<sup>2</sup>, Adeev Nidya Perdana<sup>3</sup>,  
Sukiswo<sup>4</sup>, Imam Santoso<sup>5</sup>

<sup>12345</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*\*)E-mail: michaeljfsimarmata@students.undip.ac.id*

### Abstrak

*Global warming terjadi karena polusi udara dengan tingginya kadar karbon monoksida (CO) sehingga dapat memengaruhi tingkat suhu dan kelembapan. Dinas lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Jawa Tengah memiliki alat sensor dan metode untuk memantau tingkat kualitas udara namun sistem kerja alat tersebut belum terkoneksi dengan jaringan internet dan mengharuskan petugas melakukan pengaktifan alat dan input data secara manual. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan melihat kinerja sistem transmisi yang lebih efisien dalam pengambilan dan pengiriman data dengan melihat tingkat Error Rate, Delay, dan RSSI dari modul transmisi. Maka dibuatlah desain dengan konsep menggunakan modul GSM berbasis teknologi seluler 2G untuk memantau dan mengirimkan hasil data dengan sensor DHT-22 dan sensor GM-702B menuju Database. Dalam proses pengujian diperoleh hasil rata-rata gas CO di Ngesrep bernilai 0.09 ppm dan di Kota Lama bernilai 0.73 ppm. Rata-rata suhu dan kelembapan di Ngesrep bernilai 29.9°C dan 71.03%, sementara di Kota Lama bernilai 35.1°C dan 52.1%. Tingkat kerusakan data bernilai 0 % di Ngesrep dan 2,56 % di Kota Lama serta tingkat kegagalan pengiriman data bernilai 3,44 % di Ngesrep dan 5,12 % di Kota Lama. Nilai RSSI di antara 31 – 28, dibutuhkan tenaga sekitar 1 – 2 Watt, dan latensi sekitar 40 sampai 50 detik.*

*Kata kunci: Polusi udara, GSM, sensor*

### Abstract

*Global warming occurs due to air pollution with high levels of carbon monoxide, which can affect temperature and humidity. The Environmental and Forestry Agency of Central Java Province has sensors and methods to monitor air quality, but the system is not yet connected to the internet, requiring manual activation and data input by personnel. This research aims to create and assess the performance of a more efficient data transmission system by evaluating Error Rate, Delay, and RSSI levels of the transmission module. This design was developed using GSM modules based on 2G cellular technology to monitor and send data results with DHT-22 and GM-702B sensors to the Database. In the testing process, the average CO gas level was found to be 0.09 ppm in Ngesrep and 0.73 ppm in Kota Lama. The average temperature and humidity in Ngesrep were 29.9°C and 71.03%, respectively, while in Kota Lama, they were 35.1°C and 52.1%. The data damage rate was 0% in Ngesrep and 2.56% in Kota Lama, with data transmission failure rates of 3.44% in Ngesrep and 5.12% in Kota Lama. RSSI values ranged between 31 – 28, requiring around 1 – 2 Watts of power, with a latency of 40 to 50 seconds.*

*Keywords: Air pollution, GSM, sensor*

### 1. Pendahuluan

*Global warming* adalah suatu peristiwa dimana terjadi peningkatan suhu di atmosfer dan permukaan bumi (suhu global) [1]. Salah satu faktor penyebab pemanasan global adalah tingginya konsentrasi gas polutan dalam atmosfer[2]. CO juga memainkan peran penting terutama di daerah perkotaan[3]. Konsentrasi gas berbahaya yang

naik ke atmosfer menyebabkan efek rumah kaca sehingga panas matahari tetap terperangkap dalam atmosfer dan mengakibatkan kenaikan suhu permukaan bumi.

Berdasarkan laporan dari IQAIR, Indonesia merupakan negara yang masuk pada kategori indeks kualitas udara yang tidak sehat (*unhealthy*). Salah satu wilayah yang memiliki indeks kualitas udara yang buruk adalah Kota

Semarang dengan angka dalam Indeks Kualitas Udara Amerika Serikat (US Air Quality Index/AQI US) sebesar 34,8 per Januari 2022 [4]. Tingkat polusi udara dan global warming bergantung terhadap beberapa faktor antara lain dengan memperhatikan CO serta tingkat suhu dan kelembapan. Temperatur rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat  $0,74 \pm 0,18 \text{ }^\circ\text{C}$  selama 100 tahun terakhir.[5]

Polusi udara akibat gas CO berasal dari kendaraan bermotor mencapai 60-70%, sedangkan kontribusi gas buang dari cerobong asap industri berkisar 10-15% [6]. Sebagai standar ketentuan untuk tingkat konsentrasi polutan maka EPA (*Environmental Protection Agency*) membuat tabel Indeks Kualitas Udara (AQI) seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Poin Pembatas dan Indeks Kualitas Udara (AQI) EPA [7].

O <sub>3</sub> (ppm)	PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (ug/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	AQI Values	Tingkat Keprihatinan Kesehatan
0.000–0.059	0–54	0.0–15.4	0.0–4.4	0.000–0.034	–	0–50	Baik
0.060–0.075	55–154	15.5–40.4	4.5–9.4	0.035–0.144	–	51–100	Sedang
0.076–0.095	155–254	40.5–65.4	9.5–12.4	0.145–0.224	–	101–150	Tidak Sehat Untuk Kelompok Sensitif
0.096–0.115	255–354	65.5–150.4	12.5–15.4	0.225–0.304	–	151–200	Tidak Sehat
0.116–0.374	355–424	150.5–250.4	15.5–30.4	0.305–0.604	0.65–1.24	201–300	Sangat Tidak Sehat
–	425–504	250.5–350.4	30.5–40.4	0.605–0.804	1.25–1.64	301–400	Berbahaya
–	505–604	350.5–500.4	40.5–50.4	0.805–1.004	1.65–2.04	401–500	Berbahaya

Pada Tabel 1 ditunjukkan nilai dan indeks kualitas udara berdasarkan jenis gas. Oleh karena itu, penulis membuat alat desain implementasi modul GSM (*global system for mobile communication*) dalam monitoring polusi udara sebagai faktor pemanasan global di Kota Semarang.

Alat ini diharapkan menjadi solusi dalam mengatasi kendala agar dapat meningkatkan efisiensi pengambilan data serta memberikan solusi yang lebih terukur di Kota Semarang.

## 2. Metode

### 2.1. Konsep Desain

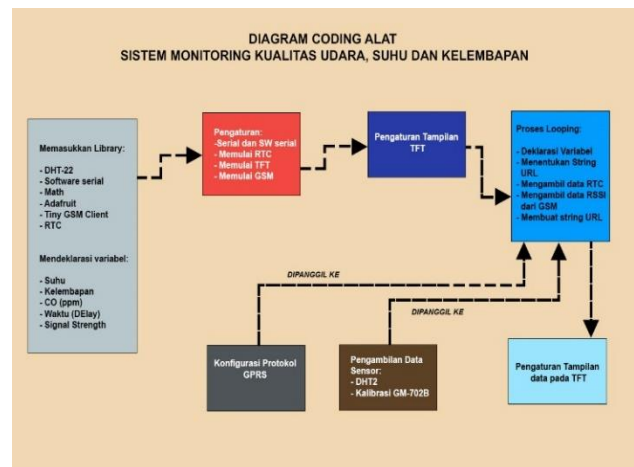
Konsep keseluruhan Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara, Suhu Dan Kelembapan di Dinas Lingkungan Kota Semarang akan dibagi pengerjaannya kepada tiga orang. Dalam hal ini penulis mengerjakan

sistem dengan transmisi GSM, yaitu merancang *hardware*, jalur pengkabelan, desain *sensing* sistem serta *coding*. Seperti yang dapat di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep perancangan alat

Gambar 1 menunjukkan hubungan antar masing-masing perangkat, dari awal sensor dan RTC kemudian menuju mikrokontroler dan GSM lalu menuju database. Untuk pembuatan *Database* serta *Website* akan dikerjakan oleh rekan penulis lainnya dalam penelitiannya. Selain itu, untuk program alat penulis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Block diagram coding alat.

Pada Gambar 2 terlihat alur coding bagi sistem yang dikerjakan. Mulai dari memasukkan library dan pemulaian protokol program sampai pengiriman data menuju *database*.

### 2.2. Komponen Alat

Dalam alat penelitian ini digunakan beberapa modul yang digunakan untuk dapat mengambil data dan mengirimkan data tersebut menuju *database*. Beberapa komponen penting pada alat penelitian seperti modul transmisi GSM (*Global System for Mobile Communication*), sensor DHT-

22 untuk mengukur tingkat suhu dan kelembapan, GM-702B untuk mengukur kadar CO, serta Mikrokontroler Arduino Nano sebagai system pengendali alat.

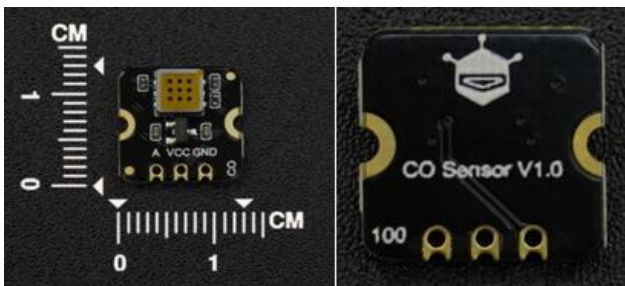
Global System for Mobile Communication (GSM) yang digunakan dalam penelitian ini merupakan modul transmisi yang menggunakan General Packet Radio Service (GPRS) sebagai sistem transmisi berbasis paket. GPRS adalah layanan data berbasis paket yang memungkinkan perangkat seluler untuk mengirim dan menerima data melalui jaringan seluler yang termasuk dalam generasi ke-2 (2G). Teknologi ini mengadopsi sistem modulasi digital, kapasitas lebih besar, kualitas suara dan sekuritas yang lebih baik. GPRS menggunakan protokol packet switch, yang memungkinkan penggunaan bandwidth secara efisien. Kecepatan transfer data GPRS juga lebih tinggi [8]. Modul yang digunakan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta pin SIM800L [9]

Pada Gambar 3 terlihat bahwa modul yang digunakan adalah SIM800L untuk sistem transmisi dengan GPRS sebagai sistem transmisi berbasis paket. Dengan SIM800, data dapat dikirimkan ke server web melalui HTTP menggunakan metode POST/GET. Ini memungkinkan hasil data sensor untuk dihubungkan ke Internet dengan harga yang terjangkau jika Ethernet, LoRa, atau WiFi tidak tersedia di lokasi tersebut. Salah satu metode untuk mengirimkan sebuah permintaan HTTP dengan SIM800 adalah dengan menggunakan perintah AT.

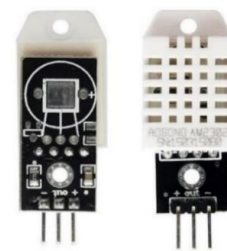
Pada alat ini akan menggunakan 2 sensor yaitu sensor CO dengan GM-702B dan sensor DHT-22 untuk suhu dan kelembapan. Tampilan sensor gas karbon monoksida MEMS yang digunakan adalah seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Modul Sensor DFRobot SKU:SEN0564

Pada Gambar 4 terlihat gambar sensor GM-702B yang menggunakan pelat panas yang difabrikasi secara mikro pada dasar substrat (Si). Bahan peka gas yang digunakan dalam udara bersih adalah semikonduktor oksida logam dengan konduktivitas rendah. Ketika sensor terpapar gas atmosfer, konduktivitasnya berubah seiring dengan konsentrasi gas yang terdeteksi di udara. Semakin tinggi konsentrasi gas, semakin tinggi konduktivitasnya. Penggunaan rangkaian sederhana dapat mengonversi perubahan konduktivitas tersebut menjadi sinyal keluaran yang sesuai [10].

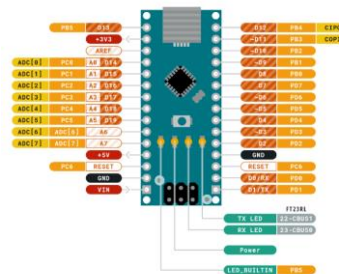
Sensor kedua adalah suhu dan kelembapan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Modul Sensor DHT22

Pada Gambar 5 terlihat tampilan sensor DHT-22 yang merupakan salah satu jenis sensor yang dapat mengukur suhu dan kelembapan udara secara bersamaan. Menurut informasi dari aosong.com, sensor ini diklaim sudah terkalibrasi penuh. Artinya, sensor ini telah melalui proses pengukuran suhu serta kelembapan yang dihasilkannya [11].

Mikrokontroler adalah suatu perangkat elektronik atau modul komputasi yang terdiri dari CPU, ROM, RAM, ADC, DAC, port komunikasi serial, dan sebagainya [13, 14]. Mikrokontroler yang digunakan seperti Gambar 6.



Gambar 6. Peta Pin Arduino Nano [12]

Pada Gambar 6 terlihat Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Nano yang fungsi utamanya melibatkan pengendalian dan pemantauan perangkat atau sistem elektronik, seperti dalam kendali otomatis, perangkat rumah pintar, kendaraan otomotif, dan peralatan elektronik

lainnya. Mikrokontroler memproses instruksi dari program yang telah dimuat, mengkoordinasikan operasi periferal, dan memberikan respons sesuai dengan keadaan atau input yang diterima.

Gambar dibuat dengan contoh format dan judul gambar sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Tabel dibuat dengan contoh format dan judul tabel sebagaimana terlihat pada Tabel 1. Setiap gambar dan tabel yang dicantumkan harus disitasi dalam naskah.

### 2.3. Parameter Quality of Service (QoS)

Dalam pengembangan alat ini, penulis mengidentifikasi beberapa parameter yang menjadi fokus analisis. Selain memperhatikan hasil sensor pada alat ada parameter-parameter lain melibatkan aspek-aspek penting yang memiliki dampak signifikan terhadap kinerja dan fungsionalitas alat yang dikembangkan, maka dari itu QoS perlu diperhatikan. Quality of Service (QoS) adalah suatu konsep dan rangkaian teknik yang dirancang untuk mengukur, mengelola, dan meningkatkan kualitas kinerja suatu layanan atau aplikasi dalam suatu jaringan.

*Error Rate* atau rasio kesalahan yang diperhatikan adalah perbandingan banyaknya unit data yang salah dengan jumlah keseluruhan unit data. Untuk menganalisa rasio kesalahan dari sistem transmisi pada alat ini maka akan diperhatikan dari *Packet Loss* atau persentase data yang gagal terkirim oleh modul GSM menuju *database*, dan juga jumlah data yang berhasil terkirim namun data yang diterima tidak sesuai dengan yang dikirim atau rusak. Untuk menghitung persentase *Error Rate* maka digunakan rumus persentase seperti berikut.

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah Data}}{\text{Jumlah Data Total}} \times 100\% \quad (1)$$

Untuk mengukur penundaan atau selisih waktu antara data dikirim dan diterima, parameter yang perlu diperhatikan adalah *Delay* atau latensi menggunakan modul RTC. Data dikirim dan diterima dapat dihitung dengan mengurangi timestamp data dikirim dari timestamp data diterima di *database*. Faktor-faktor seperti konfigurasi APN, waktu pengambilan data sensor dan RTC, protokol pengambilan data RSSI, dan protokol pembuatan serta pengiriman string data memengaruhi besar waktu *Delay*. Cara untuk menghitung rata-rata dari waktu *Delay* maka menggunakan perhitungan berikut [15].

$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total paket diterima}} \quad (2)$$

GSM juga dapat menentukan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) yang merupakan pengukuran daya yang ada dalam sinyal radio yang diterima seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Level RSSI untuk sinyal 2G [5]

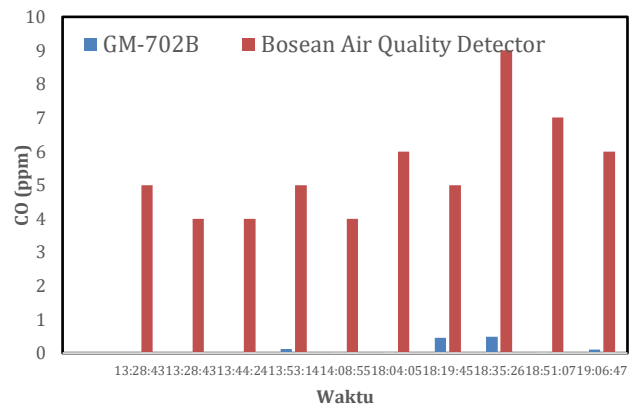
RSSI	Kekuatan Sinyal	Deskripsi
$\geq -70$ dBm	Sangat Baik	Sinyal kuat dengan kecepatan data maksimum
-70 dBm to -85 dBm	Baik	Sinyal kuat dengan kecepatan data yang baik
-86 dBm to -100 dBm	Sedang	Cukup dan bisa digunakan
$< -100$ dBm	Buruk	Kinerja akan turun secara drastis
-110 dBm	Tidak ada Sinyal	Putus koneksi

Pada Tabel 2 ditunjukkan nilai RSSI yang diindikasikan oleh nilai dBm yang negatif. Modul GSM memiliki beberapa jenis daya pengirim sekitar 0.2 W (200 mW) hingga 2 W (2000 mW) atau lebih, tergantung pada regulasi dan standar yang berlaku di suatu negara atau wilayah.

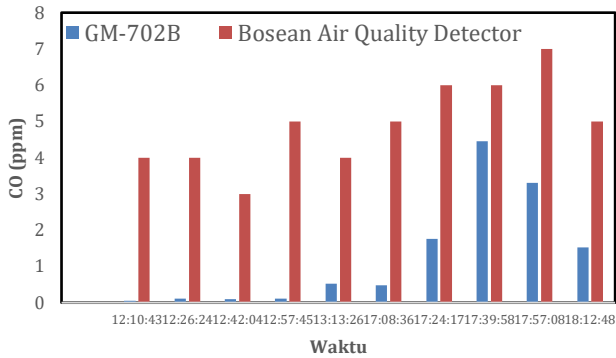
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengujian Parameter

Pada penelitian ini pengujian transmisi GSM ini terdiri dari pengujian Program Sensor, Program Display TFT ILI9341 (3,2 Inchi 240x320 Pixel), Program RSSI, dan Program RTC seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8.



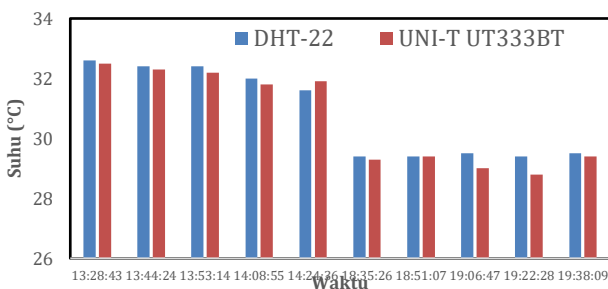
Gambar 7. Grafik hasil CO dan Bosean dengan waktu dikirim di Ngesrep



Gambar 8. Grafik hasil CO dan Bosean dengan waktu dikirim di Kota Lama

Dari hasil yang terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 pembacaan sensor dan Bosean Air Quality Detector menunjukkan selisih sekitar 3 hingga 4 ppm. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh formulasi kalibrasi sensor GM-702B yang belum memasukkan faktor suhu, yang dapat mempengaruhi hasil kalibrasi. Terlihat bahwa kadar CO pada siang hari lebih rendah daripada malam hari, dipengaruhi oleh peningkatan kendaraan bermotor antara pukul 17:00 hingga 19:00 WIB, jam pulang kerja. Meskipun tingkat gas CO di Kota Lama lebih tinggi daripada di Ngesrep. Perbandingan rata-rata gas CO menunjukkan nilai 0.09 ppm di Ngesrep dan 0.73 ppm di Kota Lama. Ini disebabkan oleh jumlah kendaraan yang lebih banyak di daerah Kota Lama.

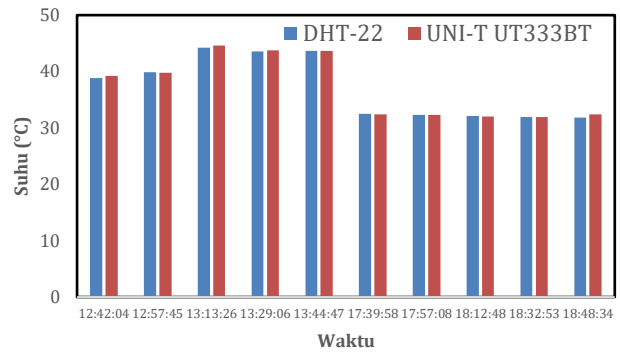
Selanjutnya penulis juga mengambil data dari alat UNI-T UT333BT dan membandingkan hasil data dari alat tersebut dengan sensor DHT-22 pada daerah Ngesrep. Berikut merupakan hasil dari pembacaan data suhu di daerah Ngesrep pada siang dan malam hari seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik tingkat suhu dan UNI-T dengan waktu dikirim di Ngesrep

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa hasil nilai suhu menggunakan UNI-T dan DHT-22 tidak berbeda jauh.

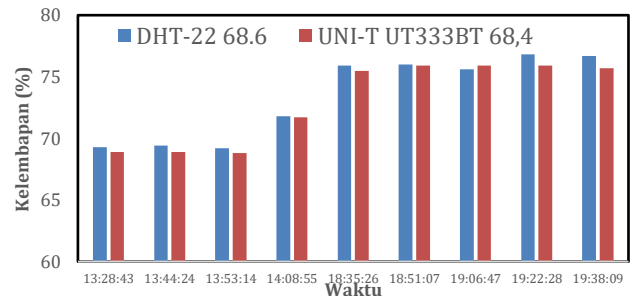
Selanjutnya penulis juga mengambil data pada daerah Kota lama. Berikut merupakan hasil dari pembacaan data suhu di daerah Ngesrep pada siang dan malam hari seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik tingkat suhu dan UNI-T dengan waktu dikirim di Kota Lama

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa hasil nilai suhu menggunakan UNI-T dan DHT-22 tidak berbeda jauh.

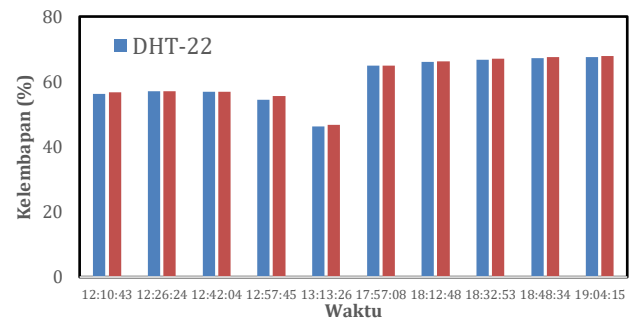
Selanjutnya penulis juga mengambil data kelembapan pada daerah Ngesrep. Berikut merupakan hasil dari pembacaan data Kelembapan di daerah Ngesrep pada siang dan malam hari seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik tingkat kelembapan dan UNI-T dengan waktu dikirim di Ngesrep

Berdasarkan Gambar 11 terlihat bahwa hasil nilai suhu menggunakan UNI-T dan DHT-22 tidak berbeda jauh.

Selanjutnya penulis juga mengambil data kelembapan pada daerah Kota Lama. Berikut merupakan hasil dari pembacaan data Kelembapan di daerah Kota Lama pada siang dan malam hari seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik tingkat kelembapan dan UNI-T dengan waktu dikirim di Kota Lama

Berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa hasil nilai suhu menggunakan UNI-T dan DHT-22 tidak berbeda jauh. Dari hasil pembacaan sensor dan validasi dari UNI-T UT333BT menunjukkan selisih sekitar 1°C dan 1% kelembapan, atribut ini disebabkan oleh kalibrasi sensor DHT-22 yang sudah terkalibrasi. Rata-rata suhu di Ngesrep adalah 29.9°C dengan kelembapan 71.0%, sedangkan di Kota Lama suhu rata-ratanya adalah 35.1°C dengan kelembapan 52.1%. Suhu tertinggi mencapai 44.80°C dan kelembapan tertinggi mencapai 78.60%. Dengan melihat standar SNI (20,50°C - 27,10°C untuk suhu dan 50%-80% untuk kelembapan) [2], suhu yang diperoleh sudah melampaui standar SNI, dan tingkat kelembapan sudah mendekati batas maksimal. Kondisi geografis juga memengaruhi suhu dan kelembapan, terlihat dari perbedaan suhu yang lebih tinggi di Kota Lama dan suhu yang lebih rendah di Ngesrep. Tingkat kelembapan juga lebih rendah di Kota Lama dibandingkan dengan Ngesrep.

Berikutnya adalah Pengujian Sistem Pemantauan RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) seperti Gambar 13.

```
18:48:42.826 -> AT+SAPBR=1,1
18:48:43.215 -> OK
18:48:45.798 -> AT+SAPBR=2,1
18:48:45.798 -> +SAPBR: 1,1,"10.27.240.250"
18:48:45.839 ->
18:48:45.839 -> OK
18:48:48.777 -> AT+CSQ
18:48:48.832 -> +CSQ: 31,0
18:48:48.860 ->
18:48:48.860 -> OK
18:48:51.802 -> -----
18:48:51.802 -> RSSI: 31
18:48:51.802 -> -----
```

Gambar 13. Tampilan hasil RSSI pada *Serial Monitor*

Dari pengamatan di lapangan seperti Gambar 13, data yang terlihat pada *Database* cenderung stabil antara nilai 31 dan 28, ini menunjukkan bahwa nilai RSSI yang diterima oleh GSM sangat baik sehingga penulis berkesimpulan bahwa koneksi seluler 2G GSM layak digunakan. Rata-rata RSSI sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= \frac{1961}{64} \\ &= 30.64 \approx -54 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (3)$$

Berikutnya adalah Pengujian Sistem Pemantauan *Delay* RTC (*Real-time Clock*). Penelitian ini dilakukan untuk menilai kinerja modul GSM dari segi kecepatan operasional protokol GPRS. Hal ini diperlukan untuk mengetahui selisih antara waktu data terkirim oleh GSM dan waktu data diterima oleh *Database*. Berikut merupakan hasil dari waktu, ketika data terkirim dan waktu data diterima oleh *Database* pada Gambar 14.

waktu_dikirim	waktu_diterima
2024-02-22 17:57:08	2024-02-22 17:57:45
2024-02-22 18:12:48	2024-02-22 18:13:25
2024-02-22 18:32:53	2024-02-22 18:33:30

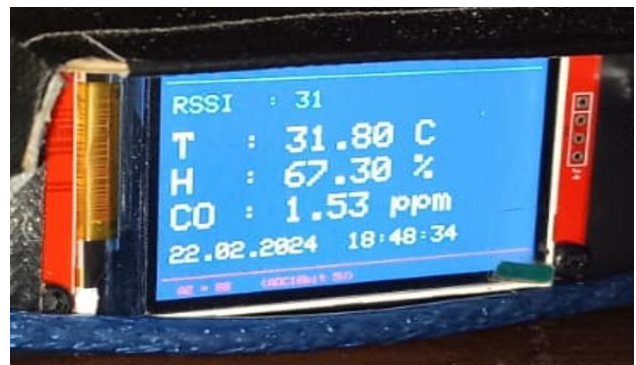
Gambar 14 Tampilan waktu dikirim dan waktu diterima pada *Database*

Pada Gambar 14 terlihat bahwa selisih antara waktu data dikirim dan waktu data diterima rata-rata hanya mempunyai *Delay* selama 1 menit. Rata-rata *Delay* yang dialami saat pengiriman data dapat dihitung seperti berikut.

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= \frac{2414}{64} \\ &= 37.7 \end{aligned} \quad (4)$$

Untuk mendapatkan data berapa daya yang diperlukan, penulis menggunakan sebuah *Wattmeter* untuk pengambilan data pengukuran daya. Alat ini memerlukan tagangan listrik sebesar 219.6 Volt, arus listrik sebesar 0,033 Ampere, daya minimum alat sebesar 1,2 Watt, dan daya rata-rata 1 sampai 2 Watt/hari.

Pengujian berikutnya adalah Pengujian Sistem Pengiriman Data. Pengujian ini menggunakan modul GSM untuk mengirimkan hasil data dari sensor, RSSI, dan RTC menuju *Database*. Untuk memastikan bahwa data berhasil terkirim atau tidak maka harus diperhatikan tampilah dari *Serial Monitor* dari Arduino IDE serta hasil data yang masuk dalam *Database*. Jika pada *Serial Monitor* tertulis "INSERT DATABASE GSM .... BERHASIL !!" berarti bahwa data telah berhasil terkirim ke *Database* seperti pada Gambar 15.

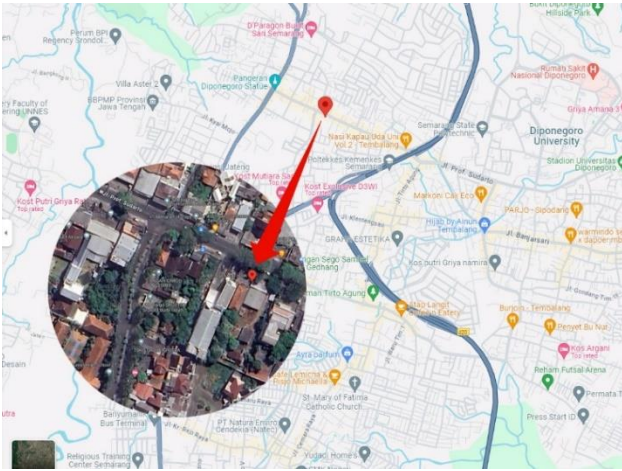


Gambar 15. Tampilan TFT pada alat dengan transmisi GSM

Pada Gambar 15 terlihat bahwa layar TFT dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan penulis dengan menampilkan data sensor, tanggal-waktu dari modul RTC DS3231, serta RSSI yang sesuai dengan tampilan data yang terbaca pada *Serial Monitor*.

### 3.2. Hasil Data Lapangan

Pada penelitian ini pengujian pertama dilakukan pada tanggal 21 Februari 2024 di wilayah Ngesrep, titik lokasi yang dipilih penulis ada di dekat sudut Jl. Prof. Soedarto dan Jl. Sronдол Bumi Indah, seperti terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Peta Lokasi Ngesrep

Pada lokasi di Gambar 16, penulis dan rekan berusaha menempatkan alat sedekat mungkin dengan jalan raya dengan tujuan lebih dekat dengan asap kendaraan yang melintas untuk mendapatkan hasil maksimal dari kerja sensor dan alat. Tampilan lokasi dan peletakan alat terlihat seperti Gambar 17.



Gambar 17. Foto peletakan alat dengan Transmisi GSM

Pada Gambar 17 menunjukkan peletakan alat yang berjarak hanya sekitar 2 meter dari pinggir jalan agar sensor dapat mendeteksi kadar gas CO dari emisi kendaraan bermotor dengan lebih baik. Lokasi tersebut dipilih di tempat dengan banyak kendaraan seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Foto lokasi pengambilan data

Pada Gambar 18 terlihat dari ukuran jalan serta jumlah kendaraan maka tingkat CO yang ada relative lebih tinggi.. Alat tersebut juga terhubung dengan sumber tenaga listrik DC PLN dari sebuah tempat makan dan terhubung langsung dengan Laptop penulis agar bisa didapatkan tampilan *Serial Monitor* dari hasil sensor, waktu, RSSI, dan *Error Rate*. Lokasi ini dipilih dikarenakan banyaknya jumlah kendaraan yang melewati jalan tersebut. Berikut adalah penampilan beberapa data. Data pertama yang ditampilkan adalah data pada tanggal 21 Februari 2024 seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil data lengkap pada lokasi Ngesrep

Suhu (°C)	Kelembapan (%)	CO (ppm)	RSSI	Waktu Dikirim	Waktu Diterima
32.60	69.30	0.00	31	13:28:43	13:29:20
32.40	69.40	0.00	31	13:44:24	13:45:01
32.40	69.20	0.13	31	13:53:14	13:53:57
32.00	71.80	0.01	31	14:08:55	14:09:32
29.40	75.90	0.48	31	18:35:26	18:36:03
29.40	76.00	0.03	28	18:51:07	18:51:44
29.50	75.60	0.06	31	19:06:47	19:07:25
29.40	75.60	0.11	30	19:22:28	19:23:05

Hasil data dari Tabel 3 menunjukkan bahwa system alat pemantau suhu, kelembapan dan gas CO ini dapat berkerja dengan baik. Namun alat ini masih memiliki kekurangan dari segi *Error Rate*. Ada beberapa jenis *Error Rate* yang diperhatikan oleh penulis yaitu, kegagalan pengiriman paket dan rusaknya paket.

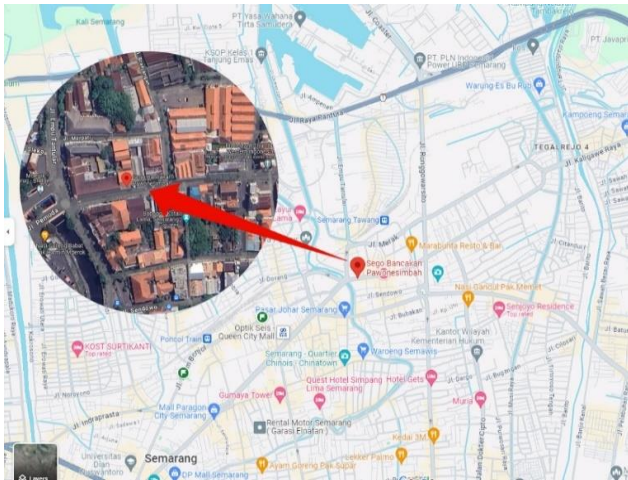
Pada penelitian di daerah Ngesrep tidak terjadi kerusakan data, maka dapat disimpulkan bahwa persentase data yang terkirim akan mengalami rusak adalah 0% tetapi terjadi sebuah kegagalan ketika modul GSM mengirimkan data ke dalam *Database*.

Dari total data yang telah diambil di daerah Ngesrep hanya terjadi 1 kali kegagalan pengiriman data. Dengan total data yang berhasil terkirim berjumlah 29 data. Untuk menghitung persentase kegagalan pengiriman data pada penelitian dipakai rumus:

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase}(\%) &= \frac{1}{29} \times 100\% \\
 &= 3,44\%
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Dari perhitungan tersebut maka didapatkan bahwa persentase kegagalan pengiriman data di daerah Ngesrep sebesar 3,44 %. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa modul Transmisi GSM dapat berfungsi dengan tingkat kegagalan yang kecil.

Berikutnya penulis dan rekan melakukan penelitian di lokasi ke dua yaitu Kota Lama. Lokasi ini dipilih dikarenakan banyaknya jumlah kendaraan yang melewati lokasi ini. Sama seperti pada lokasi pertama, di lokasi ini penulis berusaha menempatkan alat penelitian sedekat mungkin ke jalan raya seperti Gambar 19.



Gambar 19. Peta Lokasi Kota Lama

Pengujian kedua dilaksanakan dilokasi pada Gambar 19 pada tanggal 22 Februari 2024 di sebuah restoran bernama Sejo Bancakan Pawonesimbah di Jl. Letjen Suprpto, Kota Lama, Semarang, Jawa Tengah seperti terlihat pada gambar peta.

Tampilan lokasi dan peletakan alat terlihat seperti gambar berikut. Alat diletakkan di sebuah bangku dan diposisikan dekat dengan jalan raya seperti Gambar 20 dan Gambar 21.



Gambar 20. Foto peletakan alat dengan transmisi GSM



Gambar 21. Foto lokasi pengambilan data

Pada Gambar 21 posisi alat berada sekitar 2 meter dari pinggir jalan raya, diharapkan agar sensor yang terletak pada alat dapat mendeteksi dengan maksimal. Alat tersebut juga terhubung dengan sumber tenaga listrik DC PLN dan terhubung langsung dengan Laptop penulis agar bisa didapatkan tampilan *Serial Monitor* dari hasil sensor, waktu, RSSI, dan *Error Rate* seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil data lengkap pada lokasi Kota Lama

Suhu (°C)	Kelembapan (%)	CO (ppm)	RSSI	Waktu Dikirim	Waktu Diterima
38.20	56.20	0.06	31	12:10:43	12:11:20
38.50	57.00	0.11	31	12:26:24	12:27:01
38.80	56.90	0.09	31	12:42:04	12:42:41
39.90	54.50	0.11	31	12:57:45	12:58:22
32.30	64.90	3.30	30	17:57:08	17:57:45
32.10	66.10	0.70	31	18:12:48	18:13:25
31.90	66.80	0.98	31	18:32:53	18:33:30
31.80	67.30	1.53	31	18:48:34	18:49:11

Hasil data pada Tabel 4 di dua lokasi pengujian menunjukkan bahwa alat ini dapat berkerja dengan baik. Namun alat ini masih memiliki kekurangan dari segi *Error Rate*. Ada beberapa jenis *Error Rate* yang diperhatikan oleh penulis yaitu, kegagalan pengiriman paket dan rusaknya paket yang telah terkirim. Pada penelitian di daerah Kota Lama terjadi kerusakan data yang berhasil terkirim ketika modul GSM mengirimkan data ke dalam *Database*. Untuk menghitung persentase kerusakan data yang terkirim pada penelitian di daerah Kota Lama dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{1}{39} \times 100\% \quad (6)$$

$$= 2,56\%$$

Di Kota Lama terjadi beberapa kegagalan ketika modul GSM mengirimkan data ke *Database*. Dari data-data yang terlihat pada alat-alat yang digunakan menunjukkan bahwa hanya terjadi dua kali kegagalan pengiriman data. Dengan total data yang berhasil terkirim berjumlah 39 data. Dapat dihitung dengan sebagai berikut.

$$\text{Persentase(\%)} = \frac{2}{39} \times 100\% \quad (7)$$

$$= 5,12\%$$



#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa rancangan alat monitoring kualitas udara, suhu dan kelembaban dengan modul GSM dapat diimplementasikan dengan baik serta dapat mengirimkan data yang diinginkan pada *Database*. Nilai hasil pembacaan sensor GM-702B terlihat lebih kecil dibandingkan hasil dari alat validasi Bosean *Air Quality Detector* karena faktor suhu tidak digunakan pada rumus dari kalibrasi sensor GM-702B. Kadar CO tertinggi yang didapat oleh sensor mencapai 5,49 ppm. Rata-rata CO di Ngesrep bernilai 0.09 ppm dan di Kota Lama bernilai 0.73 ppm. Nilai hasil pembacaan sensor DHT-22 hanya sedikit berbeda dibandingkan dengan alat validasi UNI-T UT333BT karena sensor DHT-22 sudah terkalibrasi dari awal. Dari data-data yang didapat baik pada siang dan juga malam hari menunjukkan tingkat suhu dan kelembaban tertinggi yang didapatkan sensor adalah 44,80 °C dan 78,60 %. Selisih antara waktu data dikirim dan waktu data diterima mempunyai latensi sekitar 30 sampai 40 detik, disebabkan oleh proses protokol GSM yang membutuhkan waktu sekitar 1 menit sehingga terjadi Delay operasional. Total waktu operasional lebih lama dibandingkan waktu terkirim dikarenakan waktu yang diterima oleh RTC diambil oleh program pada pertengahan protokol GPRS. Alat ini membutuhkan 1 sampai 2 Watt daya listrik dan dapat ditempatkan pada lokasi yang hanya memiliki daya listrik rendah. Layar TFT dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan penulis dengan menampilkan data sensor, tanggal-waktu dari modul RTC DS3231, serta RSSI yang sesuai dengan tampilan data yang terbaca pada Serial Monitor. Tingkat RSSI yang ditunjukkan oleh modul GSM cenderung stabil di antara nilai -51 dBm dan -57 dBm, ini menunjukkan bahwa nilai RSSI yang diterima oleh GSM sangat baik sehingga koneksi seluler 2G GSM layak digunakan. Data dari daerah Ngesrep tidak terjadi kerusakan data maka persentase data terkirim yang mengalami kerusakan sebanyak 0%, namun mempunyai persentase kegagalan pengiriman data sebesar 3,44%. Data dari daerah Kota Lama mengalami persentase kerusakan data sebesar 2,56% dan persentase kegagalan pengiriman data sebesar 5,12%. Setelah penulis menganalisa penelitian ini, penulis menyarankan beberapa hal. Diperlukan perbaikan pada pengaturan modul RTC agar pembacaan waktu menjadi lebih konsisten dan akurat. Sistem Wireless pada GSM memungkinkan penggunaan lebih dari satu unit, memungkinkan pembuatan beberapa alat serupa untuk mengumpulkan data kualitas udara, suhu, dan kelembaban di beberapa lokasi secara bersamaan. Ketergantungan pada sumber tenaga listrik PLN membuat alat tidak mobile dan bergantung pada sumber listrik eksternal. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan sumber tenaga mandiri seperti tenaga surya dengan panel surya.

#### Referensi

- [1]. David K. Ting (editor), Jacqueline A. Stagner (editor) - Climate Change Science\_ Causes, Effects and Solutions for Global Warming-Elsevier (2021).
- [2]. Ahmad Nadhil Edar, Arinda Wahyuni. "Pengaruh Suhu dan Kelembaban Terhadap Rasio Kelembaban dan Entalpi" ; Enggining Faculty, Universitas Muslim Indonesia. Vol. 6 No.2 Agustus 2021.
- [3]. Hiroshi Kinoshita, Hülya Türkanb, Slavica Vucinicc – "Carbon Monoxide Poisoning" Toxicology Reports, Volume 7, 2020.
- [4]. IQAIR, "2022\_World\_Air\_Quality\_Report\_ID", 2022
- [5]. Agus Joko Pramono, Suwarno Suwarno, Firdaus Amyar, Renny Friska. "The Effect of Environmental Management Accounting and Control System Integration on Sustainability Orientation through Sectoral Green Economy Mediation". Universitas Jenderal Soedirman, September 2023 International Journal of Energy Economics and Policy 13(5):348-354.
- [6]. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan DITJEN Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara. Tersedia: <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia> . [Diakses: Januari 2024].
- [7]. N. F. Sulaeman, A. Nuryadin, R. Widyastuti, L. Subagiyo, "Air Quality Index and the Urgency of Environmental Education in Kalimantan", *Vol 9, No 3 (2020)*.
- [8]. Melvin Erdian "Teknologi Penguncian Otomatis Pintu Berbasis Mikrokontroler Arduino Dan Smartphone Android", *Vol. 2 No. 6 (2022): Jurnal Portal Data*.
- [9]. Sri Mulyati dan Sumardi, "Perancangan Sistem Alat Kontrol Lampu menggunakan Perintah SMS dengan Modul GSM SIM 800I berbasis Metode Arduino" STIKOM Tunas Bangsa Pematangsiantar, Sumatera Utara, *Vol. 3 No. 2 (2021): JUKI : Jurnal Komputer dan Informatika, Edisi November 2021*
- [10]. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. (2017). "MEMS Carbon Monoxide Gas Sensor Manual (Model No.: GM-702B)" Datasheet. [Diakses: Desember 2023]
- [11]. Aosong Electronics Co., Ltd. (2014). "Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)." Datasheet Tersedia: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf> . [Online]. [Diakses: Agustus 2023].
- [12]. Arduino. (2022, Oktober). Arduino Nano Product Reference Manual [Online]. Tersedia: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano> . [Diakses: April 2023].
- [13]. Sahrul Alam, Khairul Amal, Arham, Masriani, " Rancang Bangun Kursi Physical Distancing Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano " Universitas Negeri Makassar, Vol. 1 No. 6: Mei 2022.
- [14]. Atha Ezrafi, Yuli Fitriyani, Mariza Wijayanti. "Sistem Monitoring Biodigester Berbasis Arduino Nano". Universitas Gunadarma, VOL. 2 NO. 2 (2023): Mei : Jurnal Ilmiah Teknik.
- [15]. Satria Turangga, Martanto, Yudhistira Arie W "Analisis Internet Menggunakan Parameter Quality Of Service Pada Alfamart Tuparev 70", Vol. 6 No. 1, Februari 2022.