

## **Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruang Berbiaya Rendah Berbasis IoT**

**Rady Purbakawaca<sup>1\*</sup>, Sayed Ahmad Fauzan<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal, Jakarta

Correspondence email: radyp09@gmail.com

**Abstrak.** Gas karbon monoksida (CO) merupakan salah satu zat pencemar udara dalam ruangan yang memiliki sifat tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa sehingga sulit dideteksi oleh panca indra manusia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang-bangun sistem pemantau kualitas udara di dalam ruang khususnya gas CO dalam ruangan secara waktu nyata dan akurat. Sistem dibangun menggunakan sensor CO berupa MQ-7, sistem pengendali utama ESP8266 AT2560 Robodyn, sensor temperatur dan kelembaban relatif udara DHT22, penanda waktu RTC, dan *dashboard monitoring* yang terkoneksi dengan Grafana yang telah dibangun dengan bahasa pemrograman Go-Lang untuk menerima data yang dikirimkan oleh sistem. Hasil pengujian di dalam ruangan bangunan rumah tipe-38 selama 24 jam menunjukkan bahwa kadar CO rata-rata di dalam ruangan sebesar 11ppm dan telah melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PERMENKES Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011. Tingkat kenyamanan termal berada pada kondisi nyaman optimal (22.8 – 25.8°C) dengan nilai rata-rata temperatur sebesar 25.7 °C, sedangkan kelembaban relatif rata-rata sebesar 65 % berada pada kondisi diatas kelembaban yang dianjurkan (40 – 50 %). Kinerja pengiriman data menunjukkan bahwa *packet loss* sistem sebesar 0.83% yang termasuk dalam kategori sangat bagus.

**Kata Kunci:** Kualitas udara, udara dalam ruangan, kadar CO, tingkat kenyamanan termal, IoT

### **PENDAHULUAN**

Polusi udara dalam ruangan merupakan salah satu dari lima resiko teratas kesehatan masyarakat (US EPA, 2018). Rata-rata orang menghabiskan sekitar 90% waktu mereka di dalam ruangan sehingga udara dalam ruangan yang buruk kualitasnya (AQI) menimbulkan risiko besar bagi kesehatan masyarakat. Hal ini diperparah dengan adanya pandemi covid-19 yang menyebabkan masyarakat dunia harus berada di dalam ruangan rumah guna membatasi interaksi sosial. Kualitas udara yang buruk di dalam ruangan dapat menyebabkan peningkatan masalah kesehatan jangka pendek seperti kelelahan dan mual serta penyakit pernapasan kronis, penyakit jantung, dan kanker paru-paru (WHO, 1983). Selain penyakit tersebut di atas, Bronkhitis kronis, Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK), kanker paru, kematian Berat Bayi Lahir Rendah (BBLR), kematian bayi usia kurang dari satu minggu, otitis media dan ISPA, tuberculosis sering dijumpai pada lingkungan dengan kualitas udara dalam ruang yang tidak baik.

Banyaknya aktivitas dan lamanya kegiatan yang dilakukan orang di dalam ruangan rumah menuntut tersedianya kualitas udara di dalam ruangan yang baik. Sebagai tambahan, aspek kenyamanan termal di dalam ruangan harus dipertimbangkan karena dapat mempengaruhi aktivitas dan produktivitas orang di dalamnya (Haven et al, 2021). Oleh karena itu, bangunan harus mempertimbangkan kondisi bioklimatik lokasi di mana bangunan rumah dibangun untuk meningkatkan standar hidup penghuninya (Ragheb et al, 2016).

Kebanyakan orang tidak menyadari bahwa beberapa aktivitas mereka sehari-hari menurunkan kualitas udara dalam ruangan. Kebanyakan orang berpikir kualitas udara dalam ruangan lebih baik daripada di luar ruangan, sementara penelitian menunjukkan bahwa tingkat polutan dalam ruangan mungkin dua sampai lima kali lebih tinggi daripada di luar ruangan. Rendahnya kesadaran akan kualitas udara di dalam ruangan rumah dapat meningkatkan resiko bagi kesehatan penghuninya. Hal ini diperburuk dengan terbatasnya instrumen ukur untuk memantau kualitas udara di dalam ruangan yang dirancang bagi penghuni rumah. Kebanyakan, perangkat pengukuran kualitas udara yang ada dirancang untuk para profesional sehingga perangkat tersebut mahal harganya dan diluar jangkauan rata-rata pengguna. Oleh karena itu, ada kebutuhan yang mendesak akan sistem pemantauan kualitas udara di dalam ruangan yang dapat diakses oleh penghuni rumah untuk mengetahui tingkat pencemar udara dan kenyamanan termal di dalam ruangan.

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian, yaitu Bagaimana rancangan sistem pemantauan kualitas udara di dalam ruangan dan tingkat kenyamanan termal di ruangan rumah. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun sistem pemantauan kualitas udara di dalam ruangan sekaligus mengidentifikasi tingkat kenyamanan ruangan. Adapun batasan masalah dari penelitian ini mencakup jumlah parameter kualitas udara dalam ruangan rumah dan kenyamanan termal yang akan diukur. Adapun parameter kualitas udara dalam ruangan mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah, sedangkan kenyamanan termal mengacu pada peraturan SNI 03-6527-2001.

Berdasarkan PERMENKES Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 menjelaskan pengertian Pencemaran Udara dalam Ruang Rumah adalah suatu keadaan adanya satu atau lebih polutan dalam ruangan rumah yang karena konsentrasinya dapat berisiko menimbulkan gangguan kesehatan penghuni rumah. Berdasarkan peraturan tersebut, ruangan rumah yang baik memiliki persyaratan kualitas udara dalam ruang rumah yang meliputi diantaranya,

1. Kualitas fisik, terdiri dari parameter: partikulat (Particulate Matter/PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>), suhu udara, pencahayaan, kelembaban, serta pengaturan dan pertukaran udara (laju ventilasi)
2. Kualitas kimia, terdiri dari parameter: Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), Karbon monoksida (CO), Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), Timbal (Plumbum), asap rokok (Environmental Tobacco Smoke/ETS), Asbes, Formaldehid (HCHO), Volatile Organic Compound (VOC); dan
3. Kualitas biologi terdiri dari parameter: bakteri dan jamur

Menurut ASHRAE (American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers, 1979), kenyamanan termal merupakan kondisi dimana seseorang merasa nyaman dengan keadaan temperatur lingkungannya. Dalam SNI 03-6527-2001, faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal seseorang diantaranya, temperatur udara, kelembaban relatif udara, pergerakan udara, radiasi permukaan panas, aktifitas, dan insulasi pakaian. Daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi tiga, yaitu sejuk nyaman antara temperatur efektif 20.5 – 22.8°C, nyaman optimal antara temperatur efektif 22.8 – 25.8°C, dan hangat nyaman antara temperatur efektif 25.8 – 27.1°C. Untuk daerah tropis, kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara 40 – 50 %. Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala diantara 0.15 – 0.25 m/s.

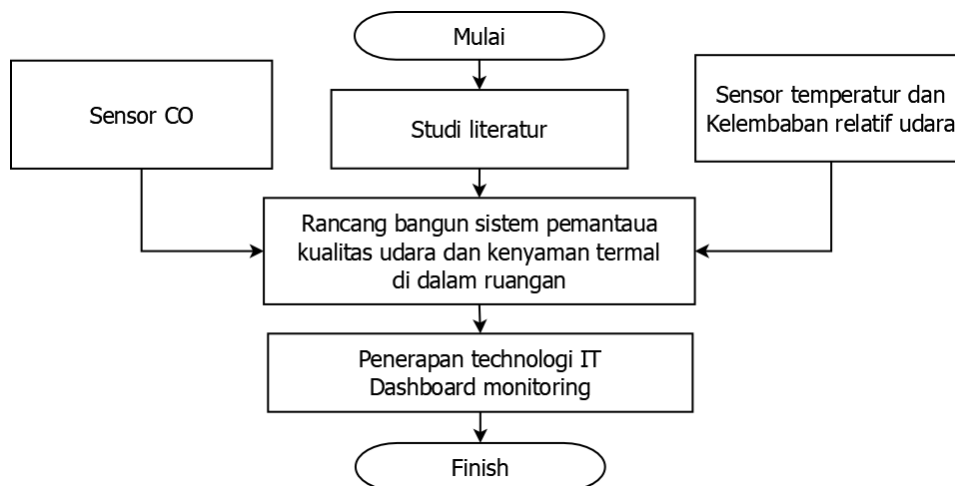
Dalam penelitian ini, parameter kualitas udara dan kenyamanan termal yang diukur antara lain kadar pencemar Karbon monoksida (CO), temperatur, dan kelembaban relatif udara. Parameter tersebut dipilih dengan mempertimbangkan aspek teknis maupun non-teknis. Gas CO dipilih karena sifatnya yang sulit dideteksi oleh panca indra manusia. Sifat gas CO antara lain tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa, mempunyai bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan hemoglobin sehingga membentuk karboksi hemoglobin (COHb). Temperatur dan kelembaban udara selain merupakan parameter kualitas udara juga merupakan parameter kenyamanan termal yang sangat diperlukan dalam penelitian ini.

Sistem pemantauan dirancang dengan biaya rendah, mempertimbangkan ketersediaan komponen elektronik di pasaran, dan sederhana sehingga relatif terjangkau oleh pengguna dan praktis dalam pengopresannya. Untuk mendeteksi gas target (CO) di dalam ruangan rumah digunakan sensor MQ-7. Sensor MQ-7 memiliki spesifikasi pengukuran kadar CO dalam satuan ppm (part per million) yang tertera pada lembar spesifikasi sensor. Untuk parameter temperatur dan kelembaban relatif udara diukur menggunakan sensor DHT22, dimana berdasarkan lembar spesifikasi sensor tersebut memiliki akurasi mencapai 98-99 % (Aosong, 2012).

Penelitian terkait dengan perancangan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan telah banyak dilaporkan. Sherin dan Xinrong telah berhasil membangun sistem jaringan sensor nirkabel berbiaya rendah untuk aplikasi pemantauan kualitas udara di dalam ruangan. Sensor TGS2602, MQ7, MQ131 dan RTH03 digunakan untuk mengukur gas VOC, CO, Ozone, temperatur dan kelembaban relatif udara. Sedangkan perangkat nirkabel modul Xbee digunakan untuk mengirimkan data ke pusat informasi. Widodo et al telah berhasil membangun sistem deteksi gas CO dan SO<sub>2</sub> dalam ruangan berbasis mikrokontroler menggunakan fuzzy logic. Penelitian tersebut memanfaatkan sensor MOS (Metal Oxide Sensor) dengan jenis MQ135 dan MQ136 untuk mengukur kadar gas CO dan SO<sub>2</sub>, dimana sinyal keluaran sensor diolah menggunakan fuzzy logic untuk meningkatkan akurasi pengukuran.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan secara komprehensif, mulai dari tinjauan pustaka, perancangan sistem instrumentasi dan penerapan teknologi informasi. Tinjauan pustaka dilakukan untuk mendalami dan mengkaji ilmiah serta perkembangan teknologi pengukuran dan sensor yang digunakan untuk mendeteksi polutan. Perancangan sistem dilakukan untuk merancang dan membangun sistem elektrikal dan mekanikal dari alat pemantau kualitas udara dalam ruangan dan kenyamanan termal, menguji kinerja sistem, dan membangun sistem informasi yang dapat menampilkan data hasil pengukuran yang dikirimkan oleh perangkat pengukur.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

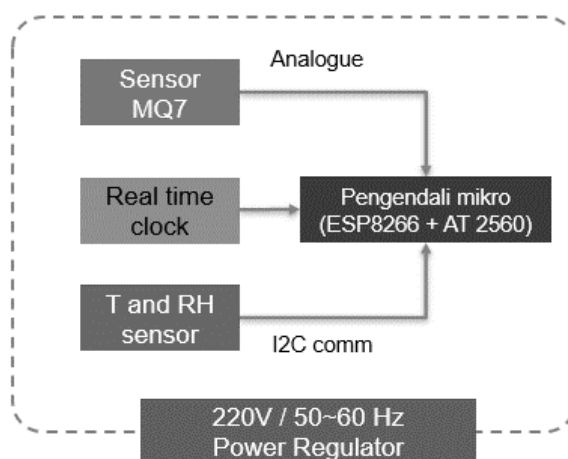
### Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu September 2021 hingga Oktober 2021. Penelitian dilaksanakan di rumah tipe-38 yang berlokasi di salah satu perumahan baru di Kabupaten Bogor. Rumah tersebut dipilih dengan kriteria berada di lokasi yang strategis, kawasan padat penduduk, berada di iklim tropis, dan kondisi baru sehingga dapat mendukung dan mempermudah penelitian.

### Konsep dan desain

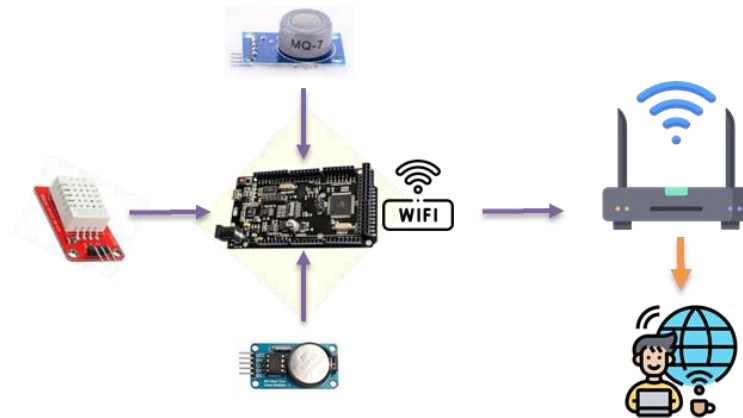
Sistem pemantau kualitas udara dalam ruangan dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu sistem instrumentasi atau perangkat keras (Node sensor) dan sistem perangkat lunak yang meliputi pengembangan algoritma dan program untuk perangkat keras maupun dashboard monitoring.

Node sensor dibangun dari komponen ataupun modul elektronika yang memiliki fungsi yang spesifik. Perangkat keras sistem pemantau kualitas udara dalam ruangan dan kenyamanan termal terdiri atas pengendali utama berupa modul integrasi ESP8266 + Atmega 2560 Robodyn yang juga merupakan modul komunikasi Wi-Fi, sensor MQ7, sensor DHT22, dan untuk catu daya digunakan 220V/ 50~60 Hz yang dihubungkan dengan power regulator. Adapun skema elektrikal dari perangkat keras seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema elektrikal node sensor

Pengembangan perangkat lunak terdiri atas dua bagian yaitu, perangkat lunak untuk kode pemrograman node sensor dan sistem informasi. Bahasa pemrograman untuk node sensor menggunakan platform Arduino IDE. Sedangkan bahasa pemrograman utama yang digunakan untuk pengembangan perangkat lunak sistem adalah Go-Lang (Google Language). Go-Lang terintegrasi dengan beberapa modul untuk mewujudkan fungsionalitas sistem. Persyaratan perangkat lunak terkait lainnya adalah Hypertext Markup Language (HTML) dan JavaScript untuk pengembangan aplikasi dan database sehingga dapat diintegrasikan dengan Grafana.com.

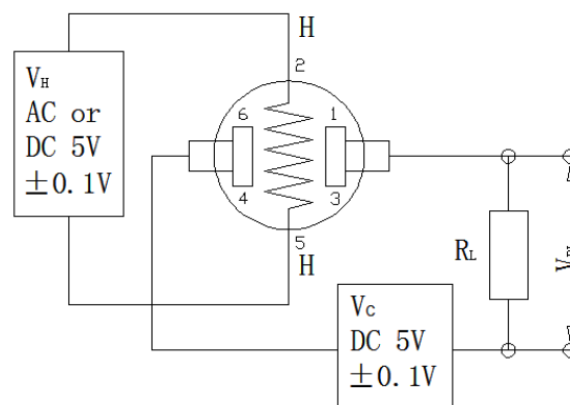


Gambar 3. Skema jaringan Wifi-IoT

Diagram alir pengiriman data dari node sensor hingga dashboard monitoring ditunjukkan pada Gambar 3. Penanda waktu dan nilai sensor yang diperoleh dari modul RTC dan sensor di olah oleh pengendali mikro AT 2560. Nilai tersebut dikirimkan dari AT2560 ke ESP 8266. Sebelum proses pengiriman data, terlebih dahulu dilakukan pengecekan komunikasi antara ESP 8266 dengan router Wi-fi, dan tersedianya jaringan internet pada router. ESP 8266 mengirimkan data melalui internet menggunakan protokol TCP/IP dengan arsitektur REST API dan metode HTTP. Sementara, data yang dikirimkan berupa text dalam format JSON. JSON dipilih karena memiliki struktur yang sederhana, mudah dan cepat.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor MQ7 merupakan sensor tipe MOS yang tersusun atas dua komponen utama, yaitu komponen pengindra dan pemanas. Komponen pengindra diproduksi dengan menggunakan bahan semikonduktor yang dapat berinteraksi dengan gas target setelah dilakukan pemanasan pada temperatur kerja tertentu. Pada saat gas sensor menyentuh permukaan aktif elemen pengindra terjadi reaksi yang kompleks sehingga mengubah resistansi elemen. Besarnya perubahan resistansi elemen pengindra ( $R_s$ ) dipengaruhi oleh banyaknya konsentrasi gas target yang mengenai permukaan elemen. Perubahan resistansi dapat diubah ke dalam bentuk perubahan tegangan dengan menambahkan sebuah resistansi konstan ( $R_L$ ) pada elemen pengindra yang dialiri arus listrik dari tegangan DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian dasar sensor MQ7

Perubahan level tegangan ( $V_{RL}$ ) pada sensor MQ7 dapat diolah dengan menggunakan pengendali mikro melalui saluran Analog to Digital converter (ADC). Sinyal tegangan berupa analog dikonversi menjadi sinyal digital (ADC tanpa satuan) agar memudahkan pengolahan secara digital. Nilai digital dapat digunakan untuk menghitung nilai  $R_s$  berdasarkan nilai  $R_L$  dengan menggunakan Persamaan 1.

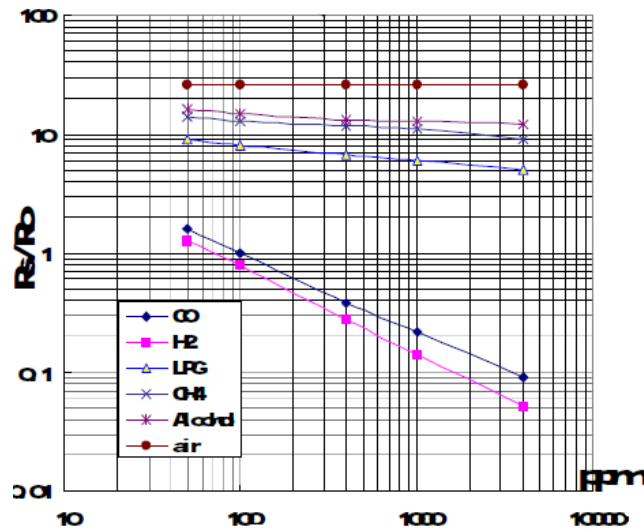
$$R_s = \left( \frac{V_{cc}}{V_{RL}} \right) - 1 \quad (1)$$

Dimana,

$V_{CC}$  adalah tegangan kerja yang diberikan kepada sensor sebesar 5V

$V_{RL}$  adalah tegangan keluaran dari sensor yang merupakan tegangan jatuh pada  $R_L$

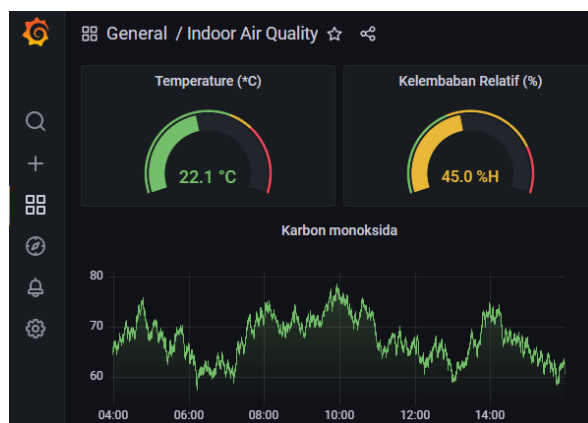
Kadar gas target dinyatakan dalam rasio resistansi pada saat terdapat gas target di permukaan gas sensor dengan tanpa gas target. Pada saat terdapat gas target nilai resistansi sensor akan bernilai  $R_s$  sedangkan saat tidak ada gas target maka nilai resistansi  $R_s$  dianggap dalam kondisi udara bersih yang dinotasikan  $R_o$ . Adapun hubungan antara  $R_s$  dan  $R_o$  dengan konsentrasi gas CO secara grafis dinyatakan pada Gambar 5. Dengan menggunakan metode *fitting curve* maka pengendali mikro dapat mengkonversi nilai  $(R_s/R_o)$  menjadi konsentrasi gas CO dalam satuan ppm.



Gambar 5. Kurva hubungan  $(R_s/R_o)$  dengan konsentrasi gas target

(Sumber: <http://www.hwsensor.com>)

Pengukuran kadar CO dan tingkat kenyamanan termal dilakukan di rumah tipe-38 selama 24 jam secara kontinu. Interval pengiriman data diatur tiap 1 menit dengan alokasi 3 detik untuk proses pengambilan data. Adapun tampilan data pada dashboard Grafana yang dihubungkan dengan database atau pusat data kualitas udara dalam ruangan yang ditunjukkan pada Gambar 6.

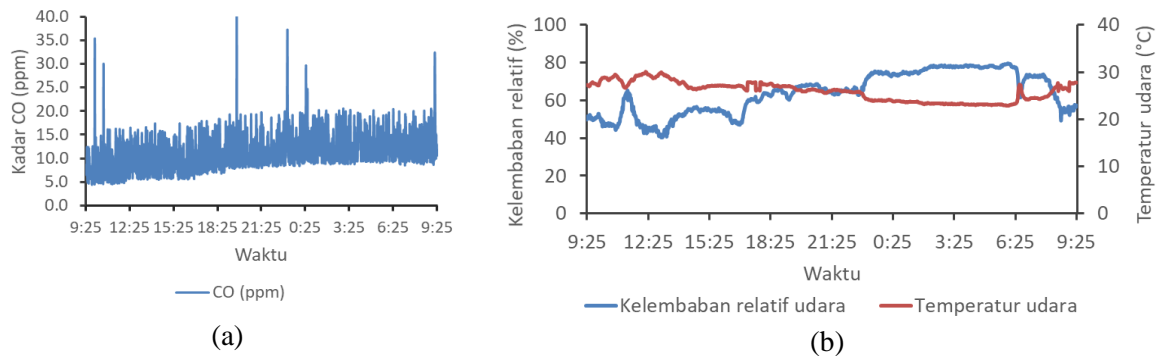


Gambar 6. Tampilan dashboard Grafana yang terkoneksi dengan database

Untuk keperluan analisis lebih lanjut, data yang tersaji pada dashboard Grafana dapat diunduh langsung dalam format CSV. Gambar 7 memperlihatkan data hasil pengukuran CO, temperatur dan kelembaban udara menggunakan Ms. Excel dari data CSV. Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk mengetahui ukuran sebaran atau pemusatan data, rata-rata, rentang dan sebagainya dari data pengukuran seperti yang disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Analisis statistik data pengukuran kadar CO, temperatur dan kelembaban udara

| Parameter          | Temperatur udara (°C) | Kelembaban relatif (%) | CO (ppm) |
|--------------------|-----------------------|------------------------|----------|
| Mean               | 25.7                  | 64.0                   | 11.0     |
| Median             | 26.2                  | 64.9                   | 10.4     |
| Mode               | 23.2                  | 78.0                   | 2.0      |
| Standard Deviation | 2.0                   | 11.2                   | 4.2      |
| Sample Variance    | 3.9                   | 124.7                  | 17.4     |
| Range              | 7.2                   | 39.5                   | 40.0     |
| Minimum            | 22.9                  | 40.3                   | 2.0      |
| Maximum            | 30.1                  | 79.8                   | 42.0     |
| Sum                | 37376.8               | 92252.7                | 16276.6  |
| Count              | 1442                  | 1442                   | 1477     |



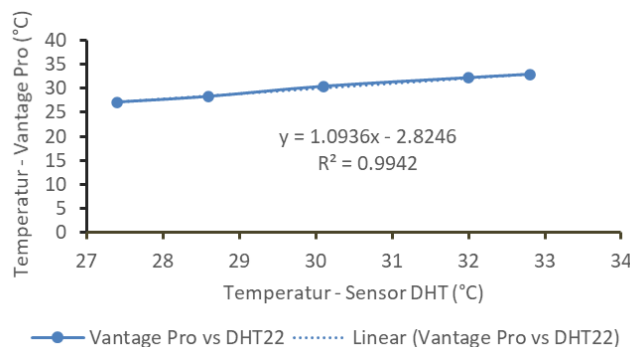
**Gambar 7.** Kurva pengukuran (a) kadar CO, dan (b) temperatur dan kelembaban udara

Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar CO rata-rata di dalam ruangan rumah tipe-38 memiliki kadar sebesar 11 ppm, dimana nilai ini sedikit lebih besar dibandingkan dengan baku mutu kadar CO di dalam ruangan menurut PERMENKES Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 yaitu sebesar 9 ppm untuk 8 jam pengukuran. Hal ini disebabkan karena pada rentang pengukuran kadar CO antara jam 18:15 hingga 9:25 terjadi kenaikan nilai kadar CO seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7a. Kenaikan ini dapat disebabkan oleh adanya perubahan temperatur dan kelembaban udara secara signifikan yang memengaruhi nilai  $R_s$ . Fenomena ini juga diperkuat dengan tidak adanya sumber penghasil gas CO pada lokasi pengujian.

Tingkat kenyamanan di dalam ruangan lokasi pengujian dapat ditentukan berdasarkan data pengukuran yang ditampilkan pada Gambar 7b. Nilai temperatur dan kelembaban yang tercatat berubah secara fluktuatif sepanjang pengukuran berlangsung. Dari Tabel 1 diperoleh bahwa rentang pengukuran temperatur mencapai 7.2 °C dengan nilai temperatur minimum, maksimum dan rata-rata masing-masing sebesar 22.9 °C, 30.1 °C, dan 25.7 °C. Dengan kata lain ruangan di lokasi pengujian termasuk dalam kategori nyaman optimal. Di lain sisi, rentang pengukuran kelembaban relatif sebesar 39.5% dengan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata secara berurutan sebesar 40.3%, 79.8%, dan 64%, dimana nilai ini lebih tinggi dari rentang kelembaban relatif yang dianjurkan yaitu 40 – 50%.

**Kalibrasi sensor**

Akurasi dari data yang dihasilkan oleh sensor sistem pemantuan kualitas udara merupakan parameter utama dari keberhasilan sistem yang dirancang. Sensor DHT22 dikalibrasi menggunakan Vantage Pro produksi Davis instruments. Data kalibrasi sensor DHT22 dengan Vantage Pro seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Kurva kalibrasi sensor DHT22 terhadap sensor cuaca Vantage Pro

Dari Gambar 8 terlihat bahwa koefisien deterministik mencapai 0.9942 yang berarti tingkat akurasi mencapai 99.42%. Hal ini dapat dikatakan bahwa sensor temperatur dan kelembaban relatif udara DHT22 memiliki performa yang sama baiknya dengan perangkat yang tersandar. Pada sensor MQ7 tingkat akurasi tidak dapat dikuantifikasi dikarenakan tidak dilakukannya proses kalibrasi sensor dengan peratan yang terstandar. Hal ini dikarenakan keterbatasan waktu dan biaya dalam melakukan kalibrasi. Namun demikian, beberapa teknik dapat diusulkan untuk kalibrasi sensor MQ7 antara lain, kalibrasi dengan alat standar AAQMS (Automatic Air Quality Monitoring Station) dan kalibrasi dengan menggunakan CRM (Certified Reference Material) seperti gas CO standar. Pada penelitian ini sinyal keluaran sensor diolah secara digital dengan menggunakan persamaan kalibrasi yang disediakan oleh produsen pada kondisi ideal.

### Kinerja sistem

Perancangan sistem kualitas udara di dalam ruangan dikatakan berhasil bukan hanya memiliki hasil pengukuran yang akurat, tapi juga memiliki performa yang baik dalam pengiriman data. Pada penelitian ini, Wifi digunakan sebagai sarana pengiriman/penerimaan data secara nirkabel. Wifi dirancang berdasarkan standar IEEE 802.11/n dengan frekuensi 2.4GHz dan kecepatan data mencapai 100Mbps. Pengendali mikro seperti ESP 8266 dapat terkoneksi dengan jaringan internet melalui titik akses (hotspot) jaringan nirkabel.

*Quality of service* (QoS) merupakan suatu mekanisme untuk menentukan layanan pada suatu jaringan beroperasi sesuai dengan kualitas yang telah ditentukan. QoS diantaranya mencakup *throughput*, *latency*, dan *packet loss* (ETSI, 1999). Salah satu parameter yang paling utama adalah *packet loss* ( $P_L$ ) atau jumlah kehilangan data. Kehilangan data dapat berdampak negatif pada perhitungan sekaligus pelapolaran status kualitas udara dalam ruang.

Data yang hilang atau gagal dikirim atau diterima oleh pemancar atau penerima dapat menyebabkan sulitnya menggambar variabilitas kadar CO pada waktu pengukuran. Sementara, parameter *throughput* dan *latency* dianggap memiliki pengaruh yang tidak signifikan karena sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan dan titik akses hanya berjarak 3 meter. Oleh karena itu, parameter QoS yang diamati hanya  $P_L$  sebagai parameter kinerja sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan, dimana  $P_L$  dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2, sedangkan standarisasi  $P_L$  seperti disajikan pada Tabel 2.

$$P_L = \frac{(P_T - P_R)}{P_T} 100\% \quad (2)$$

Dimana,

$P_T$  adalah paket data yang ditransmisikan

$P_R$  adalah paket data yang diterima

Tabel 2. Klasifikasi *packet loss*

| Kategori     | Packet loss | Indeks |
|--------------|-------------|--------|
| Sangat bagus | 0%          | 4      |
| Bagus        | 3%          | 3      |
| Sedang       | 15%         | 2      |
| Jelek        | 25%         | 1      |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa dalam rentang waktu pengukuran 24 jam dengan interval pengiriman data per 1 menit diperoleh bahwa jumlah paket data yang diterima oleh receiver sebanyak 1428 dari total paket data yang dikirimkan oleh sistem sebanyak 1440 paket. Dengan kata lain, packet loss sistem sebesar 0.83% yang termasuk dalam kategori sangat bagus.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa sistem pemantauan kualitas udara dalam rumah dapat difabrikasi menggunakan perangkat elektronik yang terdiri atas pengendali mikro, modul RTC, sensor CO MQ7, sensor temperatur dan kelembaban relatif udara DHT22, dan pengembangan aplikasi dengan menggunakan bahasa pemrograman Go-Lang dengan metode REST API sehingga dapat terkoneksi dengan *dashboard monitoring* Grafana. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang memiliki *packet loss* dengan kategori sangat bagus. Disisi lain, sinyal keluaran sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik mencapai 99.42% terhadap sensor cuaca Vantage Pro, sedangkan sensor CO berhasil menerapkan algoritma perhitungan kadar CO berdasarkan rasio ( $R_s/R_o$ ) yang disediakan oleh pabrik. Berdasarkan hasil pengukuran kadar CO, temperatur, dan kelembaban relatif udara maka dapat disimpulkan bahwa pada lokasi pengujian yaitu rumah tipe-38 kadar CO sedikit melebihi baku mutu

gas CO di dalam ruangan menurut PERMENKES Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011. Sementara, studi tingkat kenyamanan termal diperoleh bahwa bangunan lokasi pengujian termasuk ke dalam nyaman optimal.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Aosong Electronics Co., Ltd. 2012. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302). Tersedia di <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- ASHRAE. 1979. Handbook of Fundamental. USA: ASHRAE.
- BSN. 2001. SNI 03-6527-2001 Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia.
- ETSI. 1999. Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network: General aspects of Quality of Service (QoS). Tersedia di [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/101300\\_101399/101329/02.01.01\\_60/tr\\_101329v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101300_101399/101329/02.01.01_60/tr_101329v020101p.pdf)
- Hanwei Electronic Co., Ltd. 2012. Technical data MQ7 gas sensor. Tersedia di <http://www.hwsensor.com>
- Haven Hailu, Eshetu Gelan, Yared Girma. 2021. Indoor Thermal Comfort Analysis: A Case Study of Modern and Traditional Buildings in Hot-Arid Climatic Region of Ethiopia. *Urban Science*. 5, 53. <https://doi.org/10.3390/urbansci5030053>
- KEMENKES. 2011. Pedoman Penyehatan, Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah. Dalam Kementerian-Kesehatan, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Ragheb, A.A., El-Darwish, I.I., Ahmed, S. 2016. Microclimate and human comfort considerations in planning a historic urban quarter. *Int. J. Sustain. Built Envi.*, 5, 156–167
- Slamet Widodo, Miftakhul Amin, Ahyar Supani. 2019. Design of Indoor Room Gas CO and SO<sub>2</sub> Detection Based on Microcontroller Using Fuzzy Logic. *ICENIS 2019*, 125. [doi.org/10.1051/e3sconf/201912523013](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912523013)
- Sherin Abraham dan Xinrong Li. 2014. A Cost-Effective Wireless Sensor Network System for Indoor Air Quality Monitoring Applications. *The 9th International Conference on Future Networks and Communications (FNC-2014) Procedia Computer Science*, 34, 165 – 171. Tersedia di [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- US Environmental Protection Agency (USEPA). 2018. Indoor air quality tools for schools Communications guide. Available at <http://www.epa.gov>.
- WHO. 1983. Indoor air pollutants, exposure, and health effects assessment. Euro-Reports and Studies World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen.