

SISTEM MONITORING POLUSI UDARA BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) MENGGUNAKAN ESP8266 WEMOS D1 WIFI

Muhammad Ahmad K¹, Ardi Taryanto²

¹Program Studi Teknik Komputer, ²Program Studi Manajemen Informatika

^{1,2}Politeknik Piksi Ganesha, Jl. Jend. Gatot Subroto No. 301 Bandung

E-mail: ¹puisi.ahmad.21304001@gmail.com, ²ardipiksi@yahoo.com

ABSTRACT

This study aimed to design an air pollution monitoring system in a location based on Internet of Things (IoT) technology using the Wemos D1 Wifi type ESP8266 Microcontroller as a platform for data processing and data communication. The research method uses is a descriptive qualitative approach. The data collection technique is by conducting observations, discussions, and literature studies related to the problem. Meanwhile, the system development process uses the stages of the waterfall model. The formulation of the problem in the research is how to develop a system that can inform about ISPU standard air quality. For this reason, a system design is needed where the MQ2 sensor functions as a detection of CO (Carbon Monoxide) elements in the free air with Internet of Things (IoT) technology, so that it is able to perform monitoring functions in real time as information to the public about air quality in their environment.

Keywords: Air Pollution, IoT, Telegram, Health

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring polusi udara pada suatu lokasi berbasis teknologi *Internet of Things (IoT)* menggunakan Mikrokontroler ESP8266 type Wemos D1 Wifi sebagai *platform* untuk pemrosesan data dan komunikasi data. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif deskriptif. Adapun teknik pengumpulan data dengan melakukan observasi, diskusi, serta studi literatur yang berkaitan dengan masalah. Sedangkan proses pengembangan sistem menggunakan tahapan model *waterfall*. Rumusan permasalahan dalam penelitian adalah bagaimana mengembangkan sistem yang dapat menginformasikan mengenai kualitas udara berstandar ISPU. Untuk itu diperlukan suatu rancangan sistem dimana sensor MQ2 berfungsi sebagai pendeteksi unsur CO (Karbon Monoksida) yang ada di udara bebas dengan teknologi *Internet of Things (IoT)*, sehingga mampu melakukan fungsi monitoring secara *real time* sebagai informasi kepada masyarakat mengenai kualitas udara dilingkungannya.

Kata Kunci: Polusi Udara, IoT, Telegram, Sehat

Diterima Redaksi : 06 Agustus 2024 | Selesai Revisi : 16 Agustus 2024 | Terbit : 30 Agustus 2024

PENDAHULUAN

Faktor penting penunjang lingkungan yang sehat adalah kualitas udara yang memenuhi standar kesehatan. Udara mengandung oksigen yang dibutuhkan untuk kehidupan. Namun selain oksigen, terdapat zat lainnya dalam udara seperti karbon monoksida CO, karbon dioksida CO₂, formaldehida H₂CO, jamur, virus, bakteri, debu dan sebagainya. Oksigen di dalam maupun di luar ruangan dapat terkontaminasi dengan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan. Dalam batasan tertentu kadar zat-zat tersebut masih dapat dinetralisir namun

jika melampaui batas normal maka dapat mengganggu kesehatan. Badan Kesehatan Dunia WHO menyatakan bahwa terdapat zat berbahaya yang berasal dari bangunan, material konstruksi, peralatan, proses pembakaran atau pemanasan dapat memicu masalah kesehatan.

Polutan primer merupakan komponen yang memiliki pengaruh besar dalam penyebaran penyakit pada manusia, polutan ini berasal dari hasil pembakaran bahan bakar kendaraan. Contoh polutan primer yang berbahaya adalah

Karbon monoksida (CO). Polutan primer seperti CO, memiliki ukuran partikel mikroskopik, sehingga dapat memasuki organ pernapasan sampai mencapai organ vital manusia. CO berbahaya karena karakteristik polutan ini, tidak berwarna dan tidak berbau, sehingga sulit untuk mengidentifikasi kadar kandungan CO lingkungan.

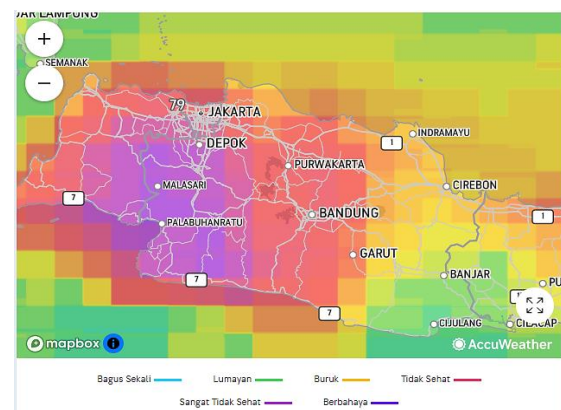
Peningkatan aktivitas manusia dan kawasan industri serta meningkatnya jumlah kendaraan telah memicu masalah pencemaran udara, sehingga dibutuhkan solusi untuk dapat meminimalisir efek yang dapat mengganggu kesehatan manusia. Meskipun pada saat tertentu manusia dapat menggunakan indra (*sense*) untuk memperkirakan jika udara di lingkungan sekitarnya berada pada level normal dan tidak tercemar ataupun sebaliknya, tetapi untuk melakukan pemantauan secara terus menerus, manusia dibatasi oleh ruang dan waktu. Untuk melakukan pemantauan secara *real-time* dan mendapatkan data mengenai kualitas udara dapat dilakukan dengan membangun suatu perangkat keras yang terhubung dengan sistem pemantauan polusi udara.

Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya Muzakirin, M., & Mirza, A. H. (2022), mengatakan bahwa “dengan adanya mikrokontroler dan pengguna *smartphone* teknologi pemantauan kualitas udara dapat digunakan di satu tempat, hal ini sangat mempermudah pengguna dalam memonitoring kualitas udara yang bertujuan untuk menjaga kesehatan serta dapat dijadikan sebagai acuan dan indikator sebagai pengambilan tindakan mengantisipasi secara dini agar dapat mengurangi dampak pencemaran udara di lingkungan”.

Pencemaran udara sangat berdampak pada wilayah Jawa Barat dalam hal ini lingkungan sekitar Rumah Sakit dr. H. A. Rotinsulu, Kota Bandung. Rumah sakit sangat membutuhkan lingkungan yang bersih dengan kualitas udara yang baik. Sehubungan hal tersebut, tentu kita perlu merancang sebuah sistem yang mampu melakukan monitoring polutan secara *real time* dan terukur, serta melibatkan peran serta masyarakat untuk peduli dan aktif dalam menjaga kualitas udara sekitar agar terjaga dengan baik. Rumusan masalah dalam

penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan sistem notifikasi yang dapat menginformasikan mengenai kualitas udara berstandar ISPU (Index Standar Pencemaran Udara) pada lingkungan rumah sakit dan dapat merekam data kualitas udara melalui *IoT*. Sistem ini diharapkan dapat membantu informasi pada masyarakat mengenai kondisi udara yang baik dan level kewaspadaan jika terjadi polusi yang disebabkan oleh gas maupun zat lainnya yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Sistem yang dibangun dalam implementasinya diharapkan dapat bermanfaat untuk meningkatkan kesadaran mengenai pentingnya kualitas udara, khususnya di lingkungan rumah sakit.

Dalam penelitian ini dipaparkan mengenai Perancangan Sistem *Monitoring* Polusi Udara berbasis Internet of Things (IoT) dengan mengoptimalkan perangkat mikrokontroler ESP8266, yaitu sebuah sistem yang terdiri dari *hardware* dan *software* untuk melakukan monitoring polusi udara Karbonmonoksida (CO) serta dapat melakukan pemetaan daerah berpotensi memiliki tingkat polusi udara tinggi di perkotaan. Fungsi utama sistem ini untuk memberikan informasi kepada masyarakat akan bahayanya polusi udara, sehingga diharapkan dapat disosialisasikan kepada masyarakat untuk lebih bijak dalam menggunakan kendaraan dan perilaku merokok yang berpotensi menjadi penyumbang polusi udara.



Gambar 1. Kualitas Udara saat ini

<https://www.accuweather.com/id/id/bandung/208977/air-quality-index/208977>

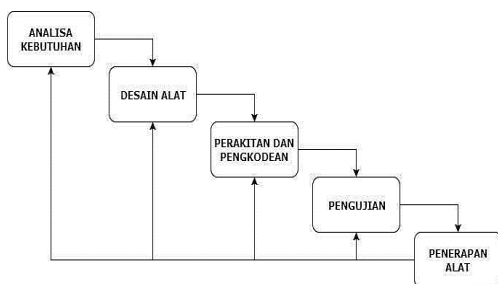
METODE

Penelitian ini mendeskripsikan dan menjelaskan data atau kejadian dengan kalimat-kalimat penjelasan secara kualitatif. Menurut Sugiyono (2018:213) adalah “metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat *post-positivisme*, yang digunakan untuk meneliti pada kondisi ilmiah di mana peneliti sendiri adalah instrumennya, teknik pengumpulan data dan di analisis yang bersifat kualitatif lebih menekankan pada makna”.

Teknik pengumpulan data yang digunakan untuk membuat sistem ini yaitu :

1. Observasi, Pengumpulan data lapangan secara langsung, untuk mengetahui apakah sudah terdapat sistem sejenis atau belum. Apabila sudah ada, apa perbedaan dengan sistem yang dibuat oleh Penulis.
2. Diskusi dan konsultasi, yaitu mengumpulkan data dengan diskusi dengan pihak terkait dalam hal ini adalah pihak rumah sakit yang akan menjadi lokasi atau objek penempatan alat.
3. Studi Literatur, mempelajari sumber referensi yang berhubungan dengan polusi udara berstandar ISPU (Indek Standar Polusi Udara) yang telah ditetapkan oleh Pemerintah maupun oleh Badan Kesehatan Organisasi Dunia (*World Health Organisation*) diantaranya melalui buku, jurnal dan internet.

Dalam proses perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, digunakan pendekatan berbasis dengan model proses yang digunakan adalah sekuensial linier atau *waterfall*. Alasan menggunakan model ini karena model ini mengusulkan sebuah pendekatan yang sistematis dan sekuensial yang mulai pada tingkatan dan kemajuan pada seluruh analisis, design, kode dan pengujian. Berikut merupakan proses skema dalam model sekuensial *linier/waterfall* :



Gambar 2. Sekuensial Linier/Waterfall

Model *waterfall* diatas mencangkup beberapa tahapan sebagai berikut :

A. Analisis Kebutuhan

Mencari semua kebutuhan yang diperlukan dalam perancangan alat, baik kebutuhan untuk perancangan perangkat keras maupun kebutuhan untuk perangkat lunak nya.

B. Design Alat

Tahapan *design* ini bertujuan untuk menterjemahkan hasil analisis kebutuhan ke dalam rancangan design model yang perlu dibuat, yaitu skematik rancangan alat dan program.

C. Perakitan dan Pengkodean

Merakit alat sesuai dengan *design* skematik rancangan alat yang telah dibuat, memasukan kode-kode perintah ke dalam chip agar alat berfungsi sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan.

D. Pengujian

Suatu proses yang dilakukan dengan cara menguji alat untuk memastikan setiap fungsi (dari segi perangkat keras maupun perangkat lunak) pada alat berjalan sesuai dengan apa yang telah ditetapkan.

E. Penerapan Alat

Penerapan atau pemasangan alat pada tempat yang akan dipasang, yaitu tempat tunggu lingkungan Rumah Sakit dr. H. A. Rotinsulu, sedangkan untuk pemeliharaan alat dibutuhkan pemeriksaan elektrolizer dan kabel agar alat terus bekerja secara maksimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Indeks Polusi Udara

Saat ini indeks standar kualitas udara yang dipergunakan secara resmi di Indonesia adalah Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU), hal ini sesuai dengan keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: KEP 45/ MENLH / 1997 Tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. Dalam keputusan tersebut yang dipergunakan sebagai bahan pertimbangan yaitu, untuk memberikan kemudahan dari keseragaman informasi kualitas udara kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu, serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara.

Tabel 1. Nilai Standar ISPU

Indeks Standar Pencemar Udara	24 jam PM10 ug/m ³	24 Jam SO2 ug/m ³	8 jam CO ug/m ³	1 jam O3 mg/m ³	1 jam NO2 ug/m ³
10	50	80	5	120	(2)
100	150	365	10	235	(2)
200	350	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	600	2620	57,5	1200	3750

Standar ISPU memiliki persamaan sebagai berikut :

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb} (Xx - Xb) + Ib \dots (1)$$

Ia = ISPU batas atas

Ib = ISPU batas bawah

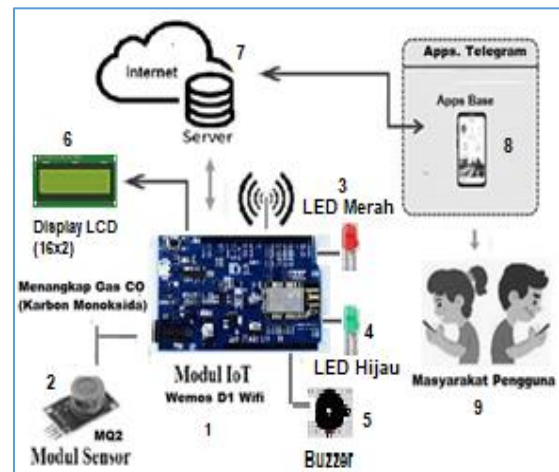
Xa = Ambient batas atas

Xb = Ambient batas bawah

Xx = Kadar ambient hasil pengukuran

B. Perancangan Sistem Hardware

Sistem aplikasi yang dirancang merupakan sistem aplikasi berbasis *Internet of Thing* (IoT), yang dirancang untuk melakukan monitoring polutan Karbonmonoksida (CO) yang ada di suatu lokasi. Pada sistem ini terdapat beberapa perangkat *Hardware* yang telah dilengkapi dengan modul-modul sensor, display, beberapa LED, buzzer dan mikrokontroler sebagai tempat membuat program Arduino IDE sekaligus untuk pengolah data yang diterima dari sensor MQ2. Perangkat mikrokontroler type ESP8266 Wemos D1 Mini ini telah memiliki akses internet dalam bentuk wifi, sehingga dapat melakukan pengiriman data secara otomatis yang berbasis IoT. Untuk lebih jelasnya kami gambarkan cara kerja sistem ini seperti berikut ini :



Gambar 3. Desain Sistem Hardware
(Sumber: Penulis 2024)

Tabel 2 : Fungsi Komponen Sistem

No.	Nama Unit Alat	Fungsi	Ket.
1.	Mikrokontroler ESP8266 WEMOS D1 Wifi	Sebagai pusat pengontrol proses alat yang telah diprogram sesuai dengan keperluan penelitian.	1 Unit
2.	Modul Sensor MQ2	Modul untuk Mengetahui Kadar Polutan Udara Gas CO (Karbon Monoksida)	1 Unit
3.	LED warna Merah	Untuk indikasi jika kualitas udara polusi atau mengandung CO \geq 600 ppm, maka LED warna MERAH akan ON	1 Unit
4.	LED warna Hijau	Untuk indikasi jika kualitas udara bagus atau mengandung CO $<$ 600 ppm, maka LED warna HIJAU akan ON	1 Unit
5.	Buzzer	Untuk indikasi jika kualitas udara polusi atau mengandung CO \geq 600 ppm, maka akan keluar suara beep.	1 Unit
6.	LCD (16x2)	Display untuk menampilkan	1 Unit

No.	Nama Unit Alat	Fungsi	Ket.
		informasi dalam bentuk text	
7.	Cloud Server Layanan Internet	Sistem untuk pengolahan data di Cloud berbasis Internet	1 Unit
8.	Aplikasi Android Telegram	Sistem Aplikasi Komunikasi Data Berbasis Android Mobile	1 Sistem
9.	Masyarakat Pengguna (User)	Masyarakat pengguna Sistem	n orang

Sensor MQ2 yang terdapat pada perangkat, digunakan untuk melakukan proses *sensing*. *Sensing* adalah mekanisme kerja dari sensor untuk melakukan deteksi parameter lingkungan. Sensor-sensor yang digunakan dalam sistem ini yaitu MQ2 guna pendeteksian karbon monoksida (CO) yang ada di sekitar lingkungan sensor tersebut berada. Setiap komponen tersebut saling terintegrasi untuk mengoptimalkan kinerja sistem ini.

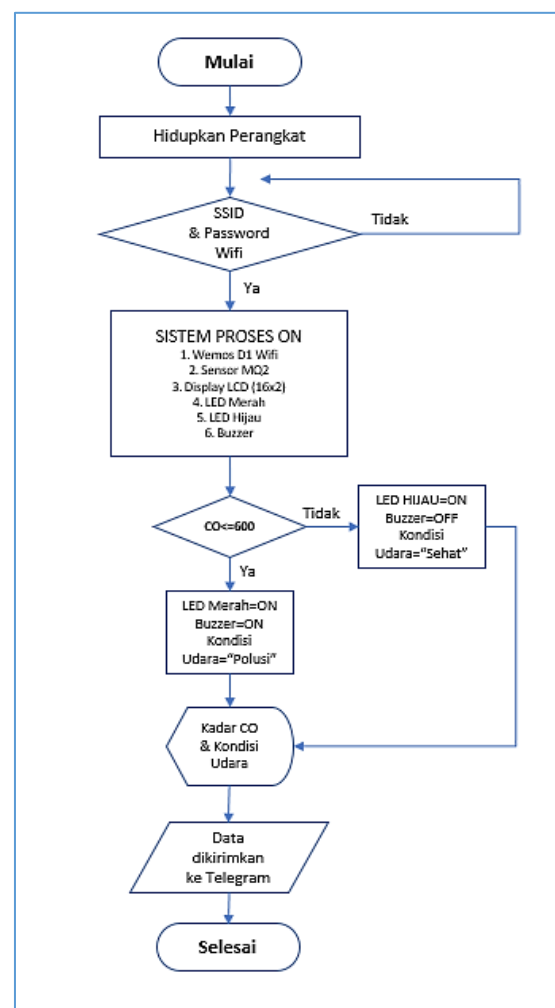
Sistem *hardware* alat ini bekerja dalam tegangan DC 5 volt. Mekanisme *sensing* dilakukan oleh komponen modul sensor seperti MQ2 dalam bentuk data analog. Untuk kebutuhan akses internet agar terhubung dengan *database* server, maka modul Mikrokontroler ESP8266 type Wmos D1 Wifi sebagai *platform* pertukaran data. Data yang tersimpan dalam *database* terkoneksi dengan *Cloud Telegram (BOT)*. Alasan digunakannya Aplikasi *Mobile Telegram* ini, selain penggunaannya mudah, gratis dan juga dapat menampung data relatif banyak dengan kecepatan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan aplikasi android sejenisnya.

Untuk memberikan kemudahan informasi, rancangan alat ini juga dilengkapi dengan notifikasi dengan menggunakan LED warna hijau untuk indikator Udara Aman, LED warna merah untuk indikator Udara Polusi, dan Buzzer untuk notifikasi suara bunyi indikator Udara Polusi.

C. Perancangan Sistem Software

Mekanisme kerja Sistem Perangkat Lunak (*Software*) ini memiliki mekanisme kerja

terpisah antara *hardware* dan *software*, namun keduanya saling terintegrasi menciptakan sistem cerdas yang mampu melakukan analisa kadar polutan udara (CO) di daerah yang dipasang sistem ini. *Software* yang digunakan adalah *Arduino IDE* yaitu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang banyak dipakai di dunia industri teknologi IoT. Untuk *Hardware* memiliki fungsi utama yaitu mendeteksi kadar polutan udara (CO) dengan sensor MQ2 yang terpasang pada perangkat, sedangkan *software Arduino IDE* dirancang untuk melakukan pengolahan serta analisa data yang tersimpan pada *database* di aplikasi *Telegram* sehingga dapat menjadi sebuah informasi bagi masyarakat. Adapun alur kerja dari sistem aplikasi ini adalah sebagai berikut :



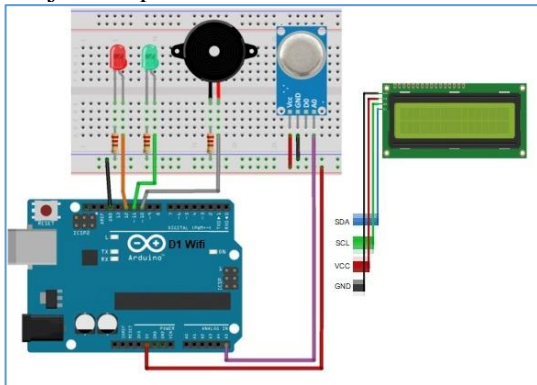
Gambar 4. Alur Kerja Sistem Aplikasi
(Sumber : Penulis 2024)

Perangkat hardware akan mendeteksi jaringan internet yang ada disekitar sistem alat ini

dipasang. Selanjutnya sensor-sensor pada perangkat akan mulai melakukan mekanisme *sensing* (pengambilan data) yaitu data suhu, kelembaban udara dan kadar polutan (CO) dilingkungan sekitar. Data secara otomatis akan dikirimkan menuju *database* menggunakan koneksi internet pada perangkat melalui *module Internet of Thing* (IoT).

D. Perancangan Arsitektur

Konsep rangkaian alat dalam perancangan sistem monitoring polusi udara dapat disajikan seperti berikut :



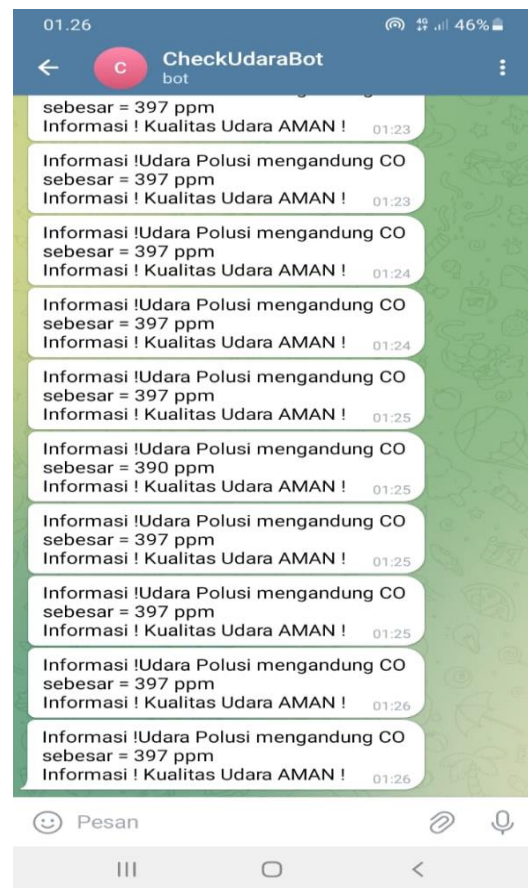
Gambar 5. Konsep Rangkaian Alat
(Sumber : Penulis 2024)

Penjelasan konsep rangkaian alat diatas sebagai berikut :

1. Sensor MQ2 akan *ngetrigger* keadaan udara yang ada di sekitar tempat lokasi sensor berada. Data-data gas CO (Karbonmonoksida) di udara yg ditangkap sensor akan diolah oleh program *Arduino IDE* yang sudah diupload (embedded) ke dalam mikrokontroler Wemos D1 Wifi. Jika sensor MQ2 memberikan nilai data CO = 600 ppm maka ini dikategorikan Udara dalam keadaan tidak baik atau Polusi (Buzzer & Led warna merah akan dalam kondisi ON (menyala), jika CO < 600 dikategorikan kondisi udara aman (Led hijau ON, Buzzer Off).
2. Semua kondisi udara yang ditangkap oleh sensor MQ2 semuanya akan diproses oleh aplikasi program seperti tersebut diatas dan akan ditampilkan juga pada display LCD i2C (16x2).
3. Semua data yang diproses pada kontroler ESP8266 Wemos D1 Wifi ini, akan dikirimkan ke Telegram Apps secara *real time* dengan jeda per 1 (satu) menit. Dan jeda pengiriman data ini dapat

disesuaikan dengan kebutuhan user, artinya bisa dikirim cepat atau diperlambat (*delay*), cukup kita ubah nilai delay yang ada pada data program *Arduino IDE*-nya.

Adapun tampilan notifikasi Telegram Apps mobile yang diterima oleh smartphone berupa pesan informasi besaran Karbonmonoksida (CO) yang terkandung di udara (ppm), kualitas udara, kondisi kualitas udara yang terdeteksi oleh sensor MQ2 adalah seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 6. Notifikasi Sensor MQ2
(Sumber : Penulis 2024)

Perangkat yang sudah dirakit dan dipasang secara lengkap pada miniatur ruangan disajikan pada gambar berikut, dimana tampilan awal alat menyala ON adalah bentuk teks fungsi monitoring polusi udara.



Gambar 7. Tampilan awal alat
(Sumber : Penulis 2024)

Sedangkan tampilan atau display informasi kadar karbonmonoksida (CO) akan muncul dengan mendeteksi kadar udara lingkungan sekitar.



Gambar 8. Tampilan Informasi Kadar CO
(Sumber : Penulis 2024)

E. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan secara modular dan keseluruhan pada sistem yang telah selesai dibuat. Pengujian dilakukan untuk memenuhi apakah sistem yang dibuat berfungsi dengan baik atau belum. Hasil pengujian fungsi sistem ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Alat

No.	Perangkat	Keterangan	Hasil
1.	Mikro-kontroler ESP8266 WEMOS D1 Wifi	Daya sebesar 5-9 Volt DC disalurkan dari adaptor kepada Wemos D1 Wifi ini yang berfungsi sebagai pusat proses komponen alat berfungsi sesuai dengan program yang telah dibuat.	Sesuai

No.	Perangkat	Keterangan	Hasil
2.	Modul Sensor MQ2	Modul sensor berfungsi sebagaimana mestinya, dan dapat mendeteksi kadar Udara Gas CO (Karbon Monoksida) yang ada di sekitar sistem alat ini.	Sesuai
3.	LED warna Merah	Berfungsi sesuai dengan program yang dibuat, jika nilai CO \geq 600 ppm, maka LED warna MERAH akan ON	Sesuai
4.	LED warna Hijau	Berfungsi sesuai dengan program yang dibuat, jika nilai CO $<$ 600 ppm, maka LED warna HIJAU akan ON	Sesuai
5.	Buzzer	Berfungsi sesuai dengan program yang dibuat, jika nilai CO \geq 600 ppm, maka akan keluar suara beep.	Sesuai
6.	LCD (16x2)	Berfungsi sesuai program, yaitu dapat menampilkan informasi dalam bentuk text	Sesuai
7.	Cloud Server Layanan Internet - Telegram BOT	Berfungsi sesuai program, maka koneksi ke jaringan wifi internet serta tersambung ke Telegram BOT.	Sesuai
8.	Aplikasi Android Telegram	Berfungsi sesuai program, data terkirim ke Aplikasi Telegram BOT sesuai dengan ID BOT dan Akun Telegram nya.	Sesuai

SIMPULAN

Hasil penelitian mengenai perancangan sistem monitoring kondisi udara khususnya polusi udara karena gas Karbonmonoksida (CO),

dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan alat monitoring polusi udara untuk menampilkan Informasi kualitas udara telah berhasil dengan hasil deteksi pengukuran pada layar LCD 16x2.
2. Sensor MQ2 sudah dapat mewakili untuk mendeteksi kualitas gas CO yang ada di udara secara akurat.
3. Aplikasi *Mobile Telegram* dapat dipakai untuk melakukan fungsi monitoring secara *real time* dengan kecepatan pengiriman data cukup signifikan.
4. Sistem monitoring polusi udara dapat berfungsi sesuai dengan tujuan dan berpotensi digunakan di tempat lain guna meningkatkan kesadaran diri dalam pentingnya kualitas udara bagi kesehatan manusia dan umumnya bagi kepentingan Kesehatan masyarakat luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus, M., & Iqbal, S. S. (2019). Urban Air Pollution Monitoring System for Mapping Areas Based on Pollutant Level. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 662(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/4/042010>
- [2] Gokhale, D. (2018). Air Pollution. *Air Pollution Sampling and Analysis*, 2-3.
- [3] Hutton, G. (2013). *Global Damage Costs of Air Pollution from 1900 to 2050*. https://copenhagenconsensus.com/sites/default/files/air_pollution.pdf
- [4] Mannucci, P. M., & Franchini, M. (2017). Health effects of ambient air pollution in developing countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(9), 1–8. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091048>
- [5] Muzakirin, M., & Mirza, A. H. (2022). Implementasi Monitoring Dan Notifikasi Kualitas Udara Menggunakan Arduino Berbasis IoT. *Journal of Computer and Information Systems Ampere*, 3(2), 99–110. <https://doi.org/10.51519/journalcisa.v3i2.176>
- [6] Nugraha, F. R. A., Sasmita, R. A., & Saputra, E. B. S. (2021). Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis API Web dan Internet of Things. *Jurnal Teknik Elektro Dan Telekomunikasi*, May. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15594.03522>
- [7] Putri, N. A. Z. (2024). *Sistem Pendeteksi Kualitas Udara Dalam Ruang Berbasis Internet of Things (IoT)*. 5(1), 9–17.
- [8] Rachman, Oscar (2017), *Cara Praktis Belajar Arduino*, Gaharu Cipta Karya: Bandung ISBN 978-979-29-3393-2.
- [9] Ramadhan, R., & Chandra, J. C. (2022). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot Dengan Nodemcu. *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI) Jakarta-Indonesia*, 1(1), 1184.
- [10] Sadi, S., Mulyati, S., & Setiawan, P. B. (2022). Internet of Things Pada Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Web Server. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, 1(4), 1085–1094. <https://doi.org/10.55927/fjmr.v1i4.679>
- [11] Sengkey, S. L., Jansen, F., & Wallah, S. (2011). Tingkat Pencemaran Udara Co Akibat Lalu Lintas Dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro. *Jurnal Ilmiah MEDIA ENGINEERING*, 1(2), 2087–9334.
- [12] Sugiyono (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D/Sugiyono*. Bandung: Alfabeta.
- [13] Sunarto (2012). *Polusi Udara dan Lingkungan. Pengaruh Karbonmonoksida (CO) Udara terhadap Status Kesehatan Polisi yang Bertugas di Jalan Raya Yogyakarta*, 1-2.
- [14] State of Global Air, S. (2020). Institute for Health Metrics and Evaluation's Global Burden of Disease Project and the Health Effects Institute. *Soga-2020-Report-10-26_0.Pdf* (pp. 1–28).

- [15] Taryanto A, Oscar. (2022). *Rekayasa perangkat internet of things (IoT) : berbasis single board - open source Arduino*, Manggu Makmur Tanjung Lestari: Bandung ISBN : 978-623-6003-65-7.
- [16] Wang, Y., Li, J., Wang, L., Lin, Y., Zhou, M., Yin, P., & Yao, S. (2021). The impact of carbon monoxide on years of life lost and modified effect by individual- and city-level characteristics: Evidence from a nationwide time-series study in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 210, 111884. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111884>
- [17] Wellid, I., Martin Simbolon, L., Anda Falahuddin, M., Nurfitriani, N., Sumeru, K., Firdaus bin Sukri, M., & Yuningsih, N. (2024). Evaluasi Polusi Udara PM2.5 dan PM10 di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut. *Indonesia*, 23(2), 129–137. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.129-137>
- [18] WHO Regional Office for Europe. *Noncommunicable Diseases and Air Pollution*. World Health Organization. 2019. 12 hal.