



Rancang Bangun Alat Pendeteksi NOx dan CO Berbasis Notifikasi Via Telegram dan Suara

Mutiara Asmazori, Nini Firmawati *

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas Limau Manis Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25163, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: July 7th, 2021
 Revised: August 21st, 2021
 Available online: September 30th, 2021

KEYWORDS

Biogas analyzer, nitrogen oxide gas, carbon monoxide gas, MQ-135 sensor, MQ-7 sensor.

CORRESPONDENCE

Nini Firmawati
 E-mail: ninifirmawati@sci.unand.ac.id

A B S T R A C T

The design of NOx and CO detectors based on notifications via telegram and voice has been carried out. This detector consists of a gas sensor MQ-135 as a nitrogen oxide detector and an MQ-7 sensor as a carbon monoxide detector. Data processing is carried out using an ESP32 microcontroller which can send results to a telegram bot and play sound using speakers connected to the ISD 1820 sound module. The tool made can send notifications if the concentration of nitrogen oxides and carbon monoxide exceeds 50 ppm. The test is carried out by burning waste to produce smoke. Burning smoke contains various gases and particles that are harmful to the body. The characterization of the MQ-135 sensor was carried out by comparing the data obtained from the ISPU to measure nitrogen oxide gas and producing an error value of 9.09%. Meanwhile, the characterization of the MQ-7 sensor was carried out using a biogas analyzer and resulted in an error ratio of 3.26%. These results prove that the tools that have been designed can work well.

PENDAHULUAN

Pencemaran udara adalah terdapatnya unsur atau zat berbahaya dalam atmosfer yang dapat menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan hidup serta dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia. Pencemaran udara dapat dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor, emisi gas pabrik industri, kebakaran hutan, dan lainnya. Seiring dengan meningkatnya isu pencemaran udara, Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara (PPU) yang berada dibawah naungan Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia membuat peralatan pemantauan kualitas udara ambien yang ditujukan untuk mengetahui kualitas udara pada suatu daerah/kota pada waktu tertentu. Hasil dari pemantauan ini disampaikan dalam bentuk Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Tahun 2020, KLHK mengeluarkan peraturan terbaru mengenai Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemaran Udara. Perhitungan ISPU dilakukan pada 7 parameter yaitu PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, O₃.

Nitrogen Oksida

NOx merupakan sebutan untuk penggunaan NO dan NO₂. Pencemaran udara oleh NOx dipengaruhi dari proses pembakaran bersuhu tinggi di pabrik sekitar 50%, pembakaran bensin dan solar sekitar 40% serta pembakaran sampah padat dan hutan sekitar 10%. Beberapa gejala keracunan yang disebabkan oleh

gas NOx adalah iritasi paru-paru, melukai sistem pernafasan, menurunkan visibilitas atmosfer, penyebab hujan asam serta memperberat kerja jantung. Nitrogen oksida mampu mambatasi kadar oksigen dalam darah dan bila bertemu uap air dalam tubuh akan membentuk HNO₃, hal ini menyebabkan rasa perih pada mata dan saluran pernafasan. Pengaruh 3,5 ppm NO₂ terhadap tanaman akan menyebabkan nekrosis, sedangkan 800 ppm dalam waktu kurang dari 29 menit menyebab 100% kematian hewan-hewan yang diuji [2].

Karbon Monoksida

Karbon monoksida mampu mengikat sel darah merah lebih kuat dibandingkan dengan oksigen. Karbon monoksida memiliki daya ikat 250 kali lebih cepat dari oksigen. Jika karbon monoksida terhirup, maka CO tersebut akan bersenyawa dengan hemoglobin (Hb) dalam darah dan terbentuk karboksi hemoglobin (COHb) yang dapat menghambat asupan oksigen dalam darah. Menurut OSHA (*Occupational safety and health administration*) paparan gas CO yang dianjurkan adalah 35 ppm dalam waktu 8 jam. Paparan gas CO yang terjadi dalam waktu lama dapat menyebabkan Polisitemia. Salah satu gejala polisitemia adalah peningkatan warna kulit (sering kemerah-merahan) yang disebabkan oleh peningkatan hemoglobin. Bila hemoglobin mengikat karbon monoksida, maka hemoglobin tidak dapat mengikat oksigen lagi. Kondisi ini dapat menyebabkan kematian akibat keracunan gas CO.

ISPU

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia nomor P.14/MENLHK/SEKJEN/KUM.1.7.2020 tentang indeks standar pencemaran udara (ISPU) menjelaskan bahwa ISPU adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Indeks standar pencemaran udara di pantau pada Stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien dan dilakukan secara terus-menerus serta datanya dapat dipantau secara langsung.

Tabel 1 Kategori angka rentang ISPU

Kategori	Status warna	Angka Rentang (ppm)
Baik	Hijau	1-50
Sedang	Biru	51-100
Tidak Sehat	Kuning	101-200
Sangat Tidak Sehat	Merah	201-300
Berbahaya	Hitam	≥ 300

Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan jenis sensor yang umum digunakan untuk *air quality control*. Sensor ini dapat mendeteksi gas ammonia (NH₃), nitrogen oksida (NO_x), alkohol, *benzene*, asap, dan CO₂. Sensor MQ-135 memiliki cakupan deteksi yang luas, dengan respon alat yang cepat dan sensitivitas tinggi. Sensor gas ini disusun oleh tabung keramik mikro AL₂O₃, lapisan sensitif dari timah dioksida (SnO₂), sedangkan elektroda dan pemanas ke kerak yang terbuat dari plastik dan jaring *stainless steel*.



Gambar 1. Sensor MQ-135

Sensor MQ-7

Sensor gas MQ-7 merupakan sensor mendeteksi karbon monoksida (CO). Sensor gas MQ-7 ini mempunyai kelebihan sensitivitas yang tinggi terhadap karbon monoksida, stabil, dan usia pakai yang lama. Bentuk fisik dari sensor MQ-7 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor MQ-7

Modul Suara ISD1820

Modul ISD 1820 adalah modul yang dapat digunakan untuk merekam suara dan memutar kembali suara yang direkam dengan menggunakan media penyimpanan terintegrasi (*non-volatile memory*). Modul ini terintegrasi dalam *chip* tunggal ISD1820. Durasi perekaman suara menggunakan modul ini adalah 8 hingga 20 detik. Modul ISD1820 dilengkapi dengan *microfon*, tombol perekam suara (REC), tombol *playback* untuk memutar seluruh rekaman (PLAYE) serta tombol PLAYL yang hanya memutar hasil suara rekaman selama tombol tersebut ditekan. Modul ini berisi komponen-komponen yang dibutuhkan

dalam pengoperasian IC ISD 1820 serta tombol yang digunakan untuk *recording* dan *playback*, sehingga modul ini dapat digunakan hanya dengan menambahkan sumber tegangan saja. Bentuk fisik modul ISD 1820 ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Modul ISD 1820

Spesifikasi dari modul ISD1820:

- *Chip* utama : ISD1820
- Modul papan rangkaian : 38mm x 42,5 mm
- Tegangan kerja : DC 3~5V
- Pengeras suara : 8 Ohm, 0.5W
- Mikrofon terdapat pada papan modul

ESP32

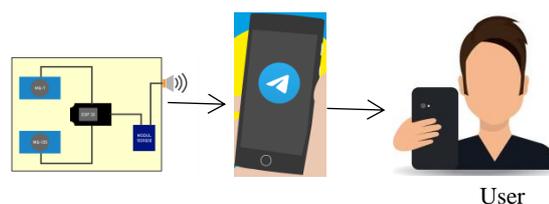
ESP32 ini dirancang untuk dapat digunakan pada aplikasi seluler, perangkat elektronik dan *Internet of Thing* (IoT). Mikrokontroler ini dapat digunakan pada daya yang rendah dan menggunakan *low-duty cycle* yang dapat meminimalkan energi yang dikeluarkan oleh *chip*. ESP32 adalah mikrokontroler yang terintegrasi sehingga dapat digunakan pada Wi-Fi dan *Bluetooth* IoT disertai oleh 20 komponen eksternal. Bentuk fisik dari ESP32 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk fisik ESP32

METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan Alat



Gambar 6. Skema Rancangan Alat

Berdasarkan Gambar 6. Kotak yang dimaksud terdiri atas sensor MQ-135, sensor MQ-7, modul ISD 1820 beserta speaker, dan ESP32. Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas nitrogen oksida, sedangkan sensor MQ-7 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas karbon monoksida, konsentrasi tersebut kirim dan di olah menggunakan mikrokontroler ESP32. Saat pengolahan jika konsentrasi gas NO_x dan CO melebihi 50 ppm, maka data konsentrasi dikirimkan ke telegrambot dan muncul notifikasi pada smartphone melalui mikrokontroler ESP32.

Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras ini terdiri dari pengujian alat serta karakterisasi sensor. Pengujian alat berupa pengujian ESP32, dan

pengujian modul suara ISD 1820. Karakterisasi sensor digunakan pada sensor MQ-135 dan sensor MQ-7.

Pengujian ESP32

Pengujian ESP32 dilakukan dengan menghubungkan ESP32 menggunakan kabel USB ke sumber daya. Pengujian pertama untuk ESP32 menggunakan Wi-Fi dilakukan dengan memasukkan nama serta *password* Wi-Fi pada program pada Arduino IDE. Sedangkan untuk pengujian kedua ESP32 dengan mengirimkan chat pada telegram bot yang telah disediakan.

Pengujian Modul ISD 1820

Pengujian yang dilaksanakan untuk mengetahui waktu maksimal perekaman suara menggunakan modul ISD1820

Karakterisasi Sensor MQ-135

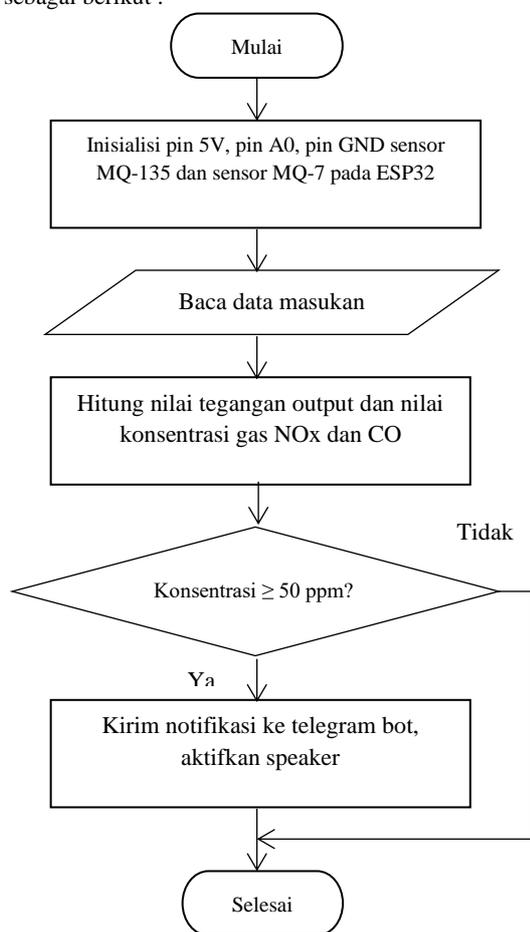
Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang mampu mendeteksi nitrogen oksida pada udara. Karakterisasi sensor MQ-135 dilakukan dengan membandingkan nilai konsentrasi gas nitrogen oksida terhadap nilai pada ISPU.

Karakterisasi Sensor MQ-7

Sensor MQ-7 adalah sensor gas yang mampu mendeteksi karbon monoksida pada udara. Karakterisasi sensor MQ-7 dilakukan dengan membandingkan nilai konsentrasi gas karbon monoksida terhadap Biogas Analyzer.

Rancangan Proses

Rancangan proses yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 8. sebagai berikut :



Gambar 8. Diagram alir program

Proses perancangan sistem deteksi gas NO_x dan CO berbasis notifikasi via telegram dan suara dilakukan dengan menggunakan program bahasa C sebagai metode pengolahan data yang didapatkan dari hasil kerja sensor MQ-135 dan MQ-7. Diagram alir perancangan *Prototype* ini dimulai dengan menginisiasi pin ESP32 yang dihubungkan dengan sensor MQ-135 dan MQ-7. Ketika sensor mendeteksi konsentrasi karbon monoksida dan nitrogen oksida dengan nilai dibawah 50 ppm, maka tidak akan ada notifikasi telegram dan pemberitahuan melalui speaker yang akan tersampaikan. Konsentrasi gas karbon monoksida maupun nitrogen oksida melebihi 50 ppm maka akan muncul notifikasi telegram yang menyatakan level pencemaran udara, nilai konsentrasi karbon monoksida dan nitrogen oksida. Pemberitahuan melalui speaker akan tersampaikan jika konsentrasi salah satu gas tersebut melebihi 50 ppm, saat konsentrasi melebihi nilai tersebut maka akan memberikan *output high* yang merupakan program perintah untuk modul suara ISD1820 untuk mengaktifkan speaker dan suara peringatan “**konsentrasi gas no dan co melebihi batas sehat**”.

HASIL DAN PEMBAHASAN

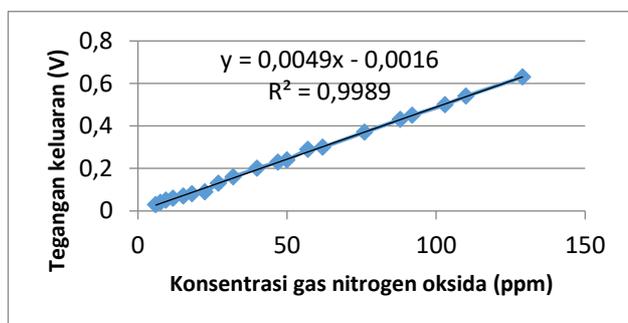
Perancangan alat deteksi gas nitrogen oksida dan karbon monoksida ini dilakukan untuk mengetahui alat yang dirancang dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Hasil yang didapatkan dari setiap karakterisasi alat serta pengujian alat dibandingkan dengan landasan teori yang berhubungan dengan perangkat yang digunakan. Perancangan alat deteksi gas nitrogen oksida dan karbon monoksida ini menggunakan sensor MQ-135, sensor MQ-7, mikrokontroler ESP32 serta modul ISD1820.

Karakterisasi Sensor MQ-135

Pengujian sensor MQ-135 bertujuan agar dapat mengetahui pengaruh sensor dengan memberikan variasi gas nitrogen oksida (NO_x). *Datasheet* pada MQ-135 menjelaskan untuk melakukan pemanasan sensor selama 24 jam agar gas yang terdapat dalam sensor dapat dibersihkan. Variasi dari kadar gas nitrogen oksida menghasilkan nilai tegangan *output*. Hubungan variasi nitrogen oksida dengan tegangan *output* dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 4.1 Hubungan variasi konsentrasi gas nitrogen oksida dan tegangan keluaran sensor MQ-135

No	Konsentrasi gas nitrogen oksida (ppm)	Tegangan keluaran sensor MQ-135 (V)
1	6	0,03
2	8	0,04
3	9	0,05
4	12	0,06
5	15	0,07
6	18	0,08
7	23	0,09
8	27	0,13
9	32	0,16
10	40	0,2
11	47	0,23
12	50	0,24
13	57	0,29

14	62	0,3
15	76	0,37
16	88	0,43
17	92	0,45
18	103	0,5
19	110	0,54
20	129	0,63



Gambar 9. Grafik hubungan konsentrasi gas nitrogen oksida dengan tegangan keluaran

Gambar 9. Menunjukkan bahwa semakin besar nilai sensor yang terdeteksi maka tegangan yang terbaca akan semakin tinggi. Hal ini ditunjukkan pada gambar dengan penaikan garis yang linier. Fungsi transfer pada grafik menunjukkan bahwa variasi konsentrasi gas nitrogen oksida sebanding dengan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor MQ-135 dengan nilai regresinya sebesar 0,9989.

Pengujian sensor MQ-135 juga dilakukan dengan perbandingan yang didapat pada ISPU dan data konsentrasi gas nitrogen oksida yang telah didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Padang. Perbandingan dilakukan dengan membandingkan konsentrasi yang ada pada ISPU dengan konsentrasi gas nitrogen oksida terbaca oleh sensor MQ-135 yang telah deprogram menggunakan ESP32.

Tabel 4. 2 Perbandingan nilai konsentrasi gas nitrogen oksida dengan konsentrasi ISPU

Tanggal	Pukul	Konsentrasi gas NOx pada sensor MQ-135 (ppm)	Konsentrasi gas NOx pada nilai ISPU (ppm)	Error (%)
11 Oktober 2020	15.01	6,11	5,31	15,07
12 Oktober 2020	15.01	6,91	5,31	30,13
13 Oktober 2020	15.17	5,58	5,31	5,08
14 Oktober 2020	15.01	5,78	5,31	8,85
15 Oktober 2020	15.01	5,63	5,31	6,03
16 Oktober 2020	15.01	5,38	5,31	1,32
17 Oktober 2020	15.02	5,53	5,31	4,14
18 Oktober 2020	15.01	5,42	5,31	2,07
Error rata-rata				9,09%

Error rata-rata yang dihasilkan dari hasil perbandingan konsentrasi yang terbaca oleh sensor MQ-135 adalah 9,09%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MQ-135 bekerja dengan baik dengan nilai konsentrasi nitrogen oksida yang terbaca mendekati nilai data dari ISPU. Tingginya nilai error yang dihasilkan terjadi terhadap *noise* pada rangkaian serta waktu yang kurang tepat.

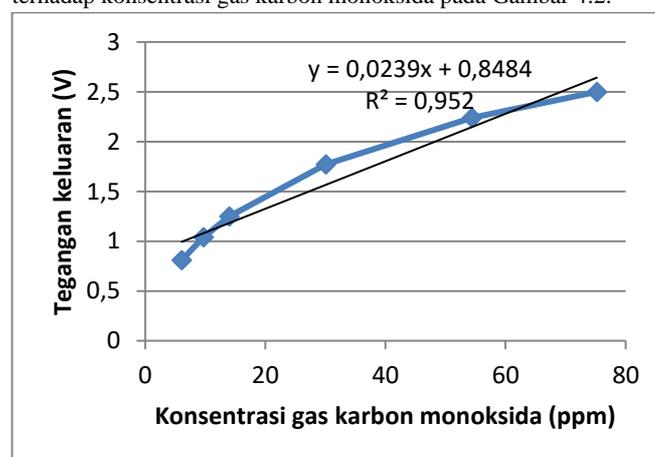
Karakterisasi Sensor MQ-7

Pengujian sensor MQ-7 dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi karbon monoksida. Sebelum digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas, sensor MQ-7 dipanaskan terlebih dahulu menggunakan tegangan 5V dalam waktu 48 jam. Pengujian ini memperoleh hasil konsentrasi karbon monoksida, tegangan keluaran serta nilai Rs. Hasil dari variasi konsentrasi karbon monoksida dengan tegangan keluaran dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hubungan konsentrasi gas karbon monoksida terhadap tegangan keluaran sensor MQ-7

No	Konsentrasi gas karbon monoksida (ppm)	Tegangan keluaran sensor MQ-7 (V)
1	6,09	0,81
2	9,72	1,04
3	14	1,25
4	30,06	1,77
5	54,39	2,24
6	75,2	2,5

Tabel 4.3 Menghasilkan plot data tegangan keluaran terhadap konsentrasi gas karbon monoksida pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Grafik hubungan konsentrasi gas karbon monoksida dengan tegangan keluaran sensor MQ-7

Gambar 4.2 Menjelaskan mengenai hubungan antara konsentrasi gas karbon monoksida dengan tegangan keluaran. Hubungan ini membentuk grafik linier. Nilai regresi yang diperoleh sebesar 0,952, nilai sensitivitas sensor sebesar 0,0239 V/ppm dengan tegangan offset sebesar 0,8484. Gambar 4.2 Menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi gas karbon monoksida akan menyebabkan tegangan keluaran mengalami kenaikan pula.

Perbandingan nilai konsentrasi gas karbon monoksida dapat digunakan biogas *analyzer*. Penggunaan biogas *analyzer* bertujuan untuk mencari persentase error dari sensor MQ-7. Perbandingan ini dilakukan dengan cara meletakkan sensor MQ-7 yang terhubung dengan mikrokontroler dengan biogas analyzer

agar dapat mendeteksi secara bersamaan nilai konsentrasi karbon monoksida yang dibuat menggunakan pembakaran sampah.

Tabel 4. 4 Perbandingan konsentrasi gas karbon monoksida menggunakan sensor MQ-7 dengan biogas *analyzer*

No	Konsentrasi gas CO pada sensor MQ-7 (ppm)	Konsentrasi gas CO pada Biogas <i>Analyzer</i> (ppm)	Error (%)
1	6,85	6	2,14
2	8,87	8	10,88
3	16,11	17	5,24
4	30,06	29	3,66
5	54,39	53	2,62
6	60,25	59	2,32
7	75,2	74	1,62
8	109,79	108	1,66
9	116,67	115	1,45
10	126,34	125	1,07
Error rata-rata			3,26

Tabel 4.5 Menunjukkan bahwa untuk pengujian perbandingan konsentrasi gas karbon monoksida menggunakan sensor MQ-7 dan biogas *analyzer* adalah sebesar 3,26%. Nilai error rata-rata tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-7 dapat bekerja dengan baik dalam mendeteksi konsentrasi gas karbon monoksida. Beberapa kendala yang terjadi dalam pendeteksian gas karbon

Pengujian ESP32

Pengujian ESP32 dilakukan untuk mengetahui bahwa telegram bot yang akan digunakan dapat bekerja dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan program telegram bot pada ESP32.



Gambar . Telegram Bot

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa ESP32 dapat terkoneksi pada WiFi yang tersedia serta telegram bot yang telah dibuat pada program arduino IDE dapat digunakan dengan baik dan bekerja dengan semestinya.

Pengujian Modul Suara ISD1820

Pengujian modul ISD1820 dilakukan untuk mengetahui bahwa modul ISD1820 dapat bekerja dengan baik. Durasi yang dapat digunakan untuk perekaman suara adalah 8 detik. Pengujian

modul ISD1820 menghasilkan rekaman selama 8 detik dan bisa memutar kembali suara yang direkam dengan baik.

Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian alat secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang telah di rangkai dapat bekerja dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sensor MQ-135, sensor MQ-7, modul ISD1820 ke ESP32 dan memprogramnya menggunakan Arduino IDE. Tujuan lain dari pengujian ini untuk mengetahui konsentrasi gas nitrogen oksida dan konsentrasi gas karbon monoksida yang dapat ditampilkan pada serial monitor dan telegram. Konsentrasi gas nitrogen oksida maupun karbon monoksida yang melebihi 50 ppm, akan mendapatkan notifikasi via telegram melalui telegram bot yang telah dibuat serta mengaktifkan modul ISD1820 sebagai bunyi peringatan.

Pengujian dilakukan dengan bervariasi konsentrasi gas karbon monoksida dan nitrogen oksida yang dapat terdeteksi oleh sensor MQ-135 dan MQ-7. Nilai yang terdeteksi kurang dari 50 ppm dapat dicek menggunakan telegram bot secara langsung, sedangkan nilai konsentrasi gas yang melebihi 50 ppm akan mengirimkan notifikasi ke *smartphone* yang telah mengikuti telegram bot. Selanjutnya, saat nilai konsentrasi gas melebihi 50 ppm, speaker yang terhubung dengan modul ISD1820 akan mengeluarkan bunyi yang telah direkam sebelumnya. Data alat keseluruhan dengan variasi konsentrasi gas dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 5 Data alat keseluruhan dengan variasi konsentrasi gas

Konsentrasi gas nitrogen oksida (ppm)	Konsentrasi gas karbon monoksida (ppm)	Notifikasi telegram (ada/tidak)	Speaker (berbunyi /tidak berbunyi)
2,63	6	Tidak ada	Tidak berbunyi
4,50	10	Tidak ada	Tidak berbunyi
6,03	14	Tidak ada	Tidak berbunyi
8,18	19	Tidak ada	Tidak berbunyi
10,58	21	Tidak ada	Tidak berbunyi
25,80	34	Tidak ada	Tidak berbunyi
27,44	40	Tidak ada	Tidak berbunyi
33,18	54	Ada	Berbunyi
34,49	60	Ada	Berbunyi
37,44	75	Ada	Berbunyi
37,93	78	Ada	Berbunyi
38,26	80	Ada	Berbunyi
42,52	108	Ada	Berbunyi
43,34	115	Ada	Berbunyi
44,32	121	Ada	Berbunyi

Tabel 4.7 Menunjukkan bahwa pengujian alat keseluruhan dapat terlaksana dengan baik. Saat salah satu nilai konsentrasi gas karbon monoksida dan nitrogen oksida melebihi 50 ppm, maka

speaker akan berbunyi dan *smartphone* akan mendapatkan notifikasi oleh telegram.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil serta analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Rancang bangun alat pendeteksi NOx dan CO berbasis notifikasi dan suara telah berhasil dibuat dan dapat bekerja dengan baik.
2. Karakterisasi sensor MQ-135 dengan perbandingan konsentrasi gas nitrogen oksida terhadap tegangan keluaran didapatkan fungsi transfer $y = 0,0049x - 0,0016$ dengan nilai regresi adalah 0,9989.
3. Karakterisasi sensor MQ-135 dilakukan dengan perbandingan data yang diperoleh dari dinas lingkungan hidup Kota Padang, didapatkan nilai persentase eror sebesar 9,09 %.
4. Karakterisasi sensor MQ-7 dengan perbandingan antara konsentrasi gas karbon monoksida dengan tegangan keluaran diperoleh fungsi transfer $y = 0,239x + 0,8484$ dengan nilai regresi sebesar 0,952.
5. Nilai eror yang didapatkan melalui perbandingan hasil konsentrasi gas karbon monoksida yang di deteksi oleh sensor MQ-7 dengan Biogas *analyzer* adalah 3,26%.
6. Pengujian ESP32 untuk dapat terhubung dengan telegram bot dapat bekerja dengan baik.

REFERENCES

- [1] Andrianto, H., 2016, *Arduino Belajar Cepat dan Pemrograman*, INFORMATIKA, Bandung
- [2] Dewata, I., dan Tarmizi, 2015, *Kimia Lingkungan*, UNP Press, Padang.
- [3] Ezoë, S., 1997, *The Study on Integrated Air Quality Management for Jakarta Metropolitan Area*, Nippon Koei CO & Suuri Keikaku CO, Japan.
- [4] Fahana, J., Umar, R., Ridho, F., 2017, Pemanfaatan Telegram Sebagai Notifikasi Serangan untuk Keperluan Forensik Jaringan, *QUERY : Jurnal Sistem Informasi*, Vol. 1, No. 2, Hal. 6-14.
- [5] Giancoli, D.C., 2014, *FISIKA : Prinsip dan Aplikasi*, Erlangga, Jakarta.
- [6] Hantaro, G.D., 2009, *WiFi (Wireless LAN)*, Informatika, Bandung.
- [7] Hickman, A.J., 1999. *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, transport research laboratory*.
- [8] Ismiyati, 2014, Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistic*, Vol. 01, Hal. 241-248.
- [9] Junus, M., 2016, Rancang Bangun Sistem Monitoring Tingkat Pencemaran Udara (Gas Buang) CO/NO2 Secara Mobile Berbasis Web di Kota Malang, *Prosiding SENTIA*, Vol. 08, No. 02, Hal. 116-122.
- [10] Kustaman, R., 2017, Bunyi dan Manusia, *ProTVF*, Vol. 1, No. 2.
- [11] Mahdalena, F., H., 2020, Rancang Bangun Sistem Monitoring Asap Rokok di Toilet Sekolah Menggunakan Sensor MQ-7 dan *Transceiver nRF24L01+* dengan *Output Suara Berbasis Modul ISD1820*, *Skripsi*, Universitas Andalas, Padang.
- [12] Marazola, N.T., Setiawan, F.B., 2020, Alat Pembaca Tegangan Otot yang Terintegrasi dengan Bluetooth 4.0 Menggunakan ESP32, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, Vol. 5, No. 1, Hal. 7-12.
- [13] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/SEKJEN/KUM.1.7.2020* Tentang Indeks Standar Pencemaran Udara, Menlhk, Jakarta.
- [14] Nurkholis, Junaidi, Surtono, A., 2014, Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Resonansi Gelombang Bunyi Menggunakan Transduser Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler ATmega8535, *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, Vol. 02, No. 02, Hal.165-169 .
- [15] Ohoiwutun, J., 2018, Analisis dan Perancangan *Smart Dump* Menggunakan Arduino Mega 2560 Rev3 dan GSM SIM900, *Jurnal Electro Luceat*, Vol. 4, No. 1, Hal. 1-11.
- [16] Ozkan, S.U., Agarwal, S.K., Marcelin, G., 1995, *Reduction of Nitrogen Oxide Emissions*, American Chemical Society, California.
- [17] Sears, F.W., dan Zemansky, M., 1999, *Fisika untuk Universitas I (Mekanika, Panas, dan Bunyi)*, Trimitra Mandiri, Jakarta.
- [18] Wicaksono, H.A., 2017, Rancang Bangun Sistem Monitoring Konsentrasi Gas Nitrogen Oksida (NOx) Sebagai Emisi Gas Buang Menggunakan Sensor Gas MQ-135 Berbasis Mikrokontroler STM32F4 discovery, *Tugas Akhir*, Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- [19] Wicaksono, M.F., Rahmatya, M.D., 2020, Implementasi Arduino dan ESP32 CAM untuk *smart home*. *Jurnal Teknologi dan Informasi*, Vol. 10, No.1, Hal. 40-51.
- [20] Yusro, M., Diamah, A., 2019, *Sensor dan Transduser (Teori dan Aplikasi)*, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta.