

## Rancang Bangun Perangkat Akuisisi Data Gas Emisi Karbon Monoksida Pada Kendaraan Sepeda Motor

Irwan Saputra<sup>1</sup>, Hollanda Arief Kusuma<sup>2\*</sup>, Tonny Suhendra<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Maritim Raja Ali Haji

<sup>1,2,3</sup>Jl. Politeknik Senggarang, Tanjungpinang 29100

\*Corresponding Author: hollandakusuma@umrah.ac.id

**Abstract**— Exhaust emissions can cause air pollution. Carbon monoxide is one of the air pollution comes from motor vehicle gas emissions. From current technological developments, low-cost gas sensors have been widely used. In research, data acquisition devices have been successfully developed using the MQ-7 sensor, ESP32, micro SD card, TFT display, and keypad. The results of the sensor calibration get 10 motorcycle data with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.9273 with a percentage of 92.73%. The average accuracy of the MQ-7 sensor is 91.23% with an error percentage of 1.82% and an RMSE of 0.379. From the results of the sensor calibration, it can be seen that the MQ-7 sensor has a fairly good level of accuracy. From field test, 30 motorcycles has been test. From the results of the field test of 30 motorcycles, factors that affect the value of carbon monoxide gas in motorcycles include dirty air filters, fuel used, and motorbike maintenance. As for the year of the vehicle does not affect the value of carbon monoxide gas.

**Keywords**—Carbon Monoxide, ESP32, Gas Emission, Calibration, MQ-7 sensor.

**Intisari**—Emisi gas buang dapat menyebabkan polusi udara. Karbon monoksida merupakan salah satu pencemaran udara yang berasal dari emisi gas kendaraan bermotor. Dari perkembangan teknologi saat ini, sensor gas murah telah banyak digunakan. Dalam penelitian, perangkat akuisisi data telah berhasil dikembangkan dengan menggunakan sensor MQ-7, ESP32, kartu micro SD, layar TFT, dan keypad. Hasil kalibrasi sensor mendapatkan 10 data sepeda motor dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9273 dengan persentase 92,73%. Akurasi rata-rata sensor MQ-7 adalah 91,23% dengan persentase error 1,82% dan RMSE 0,379. Dari hasil kalibrasi sensor terlihat bahwa sensor MQ-7 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Dari uji lapangan, 30 sepeda motor telah diuji. Dari hasil uji lapangan terhadap 30 sepeda motor faktor yang mempengaruhi nilai gas karbon monoksida pada sepeda motor antara lain filter udara kotor, bahan bakar yang digunakan, dan perawatan sepeda motor. Sedangkan untuk tahun kendaraan tidak mempengaruhi nilai gas karbon monoksida..

**Kata kunci**— Karbon Monoksida, ESP32, Emisi Gas buang, Kalibrasi, senso MQ-7.

### I. PENDAHULUAN

Emisi gas buang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan udara. Salah satu pencemaran lingkungan udara berasal dari gas emisi kendaraan bermotor [1], [2]. Bentuk pencemaran udara adalah emisi gas buang yang terdiri dari beberapa komponen gas seperti  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  serta  $\text{SO}_2$  [3], [4]. Gas

emisi buang memiliki efek negatif bagi kesehatan seperti kesulitan bernafas, sakit kepala, sensasi hidung terbakar hingga kematian [5]. Pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi gas buang dapat berasal dari kendaraan bermotor seperti bus, sepeda motor, mobil dan kendaraan khusus. Karbon monoksida

menyumbang 59% dari total gas emisi kendaraan bermotor [6].

Pada tahun 2020 jumlah sepeda motor di Indonesia telah mencapai 115 juta [7]. Kendaraan ini seharusnya dilakukan pengecekan emisi gas buang. Namun, berdasarkan Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan, pasal 53 ayat 1 kendaraan yang wajib mengecek kadar gas emisi kendaraan bermotor adalah kendaraan roda empat ke atas. Padahal, kendaraan motor roda dua juga memiliki kandungan gas emisi buang. Pemda Jakarta telah berinovasi untuk melakukan pengecekan emisi gas buang dengan mengeluarkan peraturan daerah untuk sepeda motor [8]. Namun hal ini belum dilakukan secara luas di daerah lain.

Perancangan pengolahan data membutuhkan perangkat akuisisi data. Akuisisi data adalah proses untuk menyiapkan dan mengolah data dalam komputer yang sedang berjalan untuk kepentingan tertentu [9]. Perangkat akuisisi data dapat dikembangkan dengan menggunakan Arduino Uno, Arduino Mega, hingga ESP [6], [10], [11]. Keterbatasan resolusi konversi analog ke digital (ADC) menyebabkan perlunya peningkatan resolusi data agar kualitas data yang dihasilkan menjadi lebih baik [12]. ADS1115 dapat digunakan untuk meningkatkan resolusi ADC karena komponen ini memiliki resolusi 16 bit [13], [14]. ADS1115 mampu memberikan hasil pembacaan yang memperkuat sinyal data yang akan dikontrol dan dapat diakses oleh I2C [15].

Pengukuran kualitas udara sudah banyak dilakukan penelitian menggunakan sensor untuk mengukur gas emisi kendaraan bermotor [1], [2], [10], [16]. Pengukuran gas karbon monoksida dapat diukur menggunakan sensor MQ 2, MQ-7, MQ-9, MQ 135 dan TGS 2201 [6], [17]–[19]. Sensor gas MQ-7 sangat baik dan memiliki sensitivitas yang tinggi untuk mengukur gas karbon monoksida [20]. Sensor ini harus terintegrasi dalam sebuah pengujian di dalam sebuah perangkat akuisisi data.

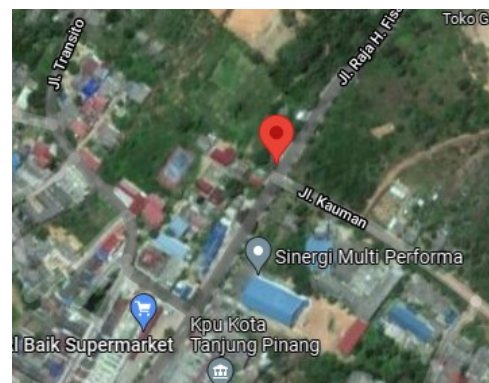
Permasalahan yang timbul adalah alat untuk mengukur emisi gas sangat terbatas. Alat ukur terstandarisasi hanya tersedia pada Dinas

Perhubungan ataupun bengkel-bengkel motor pabrikan besar [21]. Oleh karena itu, inovasi perangkat pengukuran emisi gas buang sepeda motor penting untuk dilakukan. Penelitian ini telah melakukan peningkatan resolusi dalam sebuah perangkat akuisisi data yang mampu mengukur, menampilkan dan menyimpan data gas emisi karbon monoksida pada kendaraan sepeda motor.

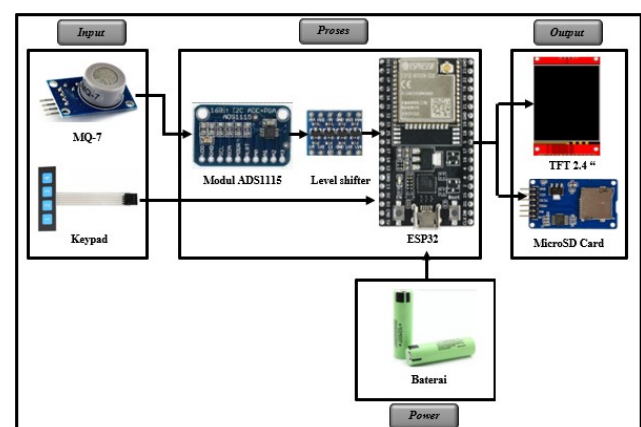
## II. METODE PENELITIAN

### A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian dilakukan mulai tanggal 28 Agustus 2022 pukul 10.30 WIB hingga 29 Agustus pukul 14.00 WIB. Penelitian ini berlokasi di Dinas Perhubungan Kota Tanjungpinang. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Diagram sistem perangkat

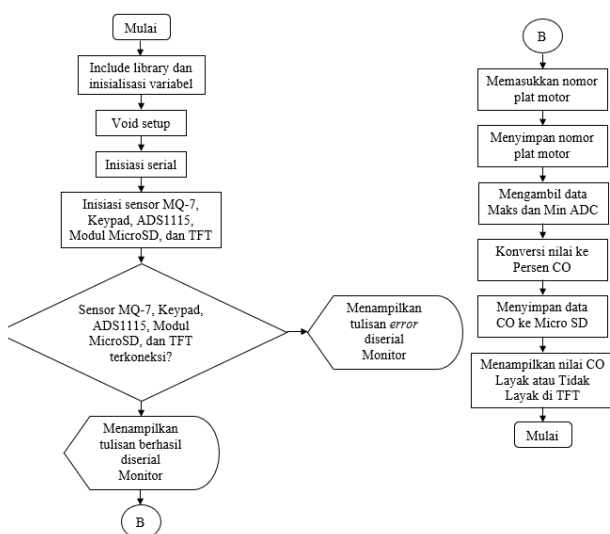
### B. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terdiri dari beberapa komponen utama yaitu ESP32,

Keypad, Modul Micro SD Card, sensor MQ-7, Modul ADS1115, TFT dan logic level shifter. Diagram perangkat ini dapat dilihat pada Gambar 2.

### C. Perancangan Firmware

Perancangan firmware dimulai dari pengujian menggunakan program example dari software arduino IDE. Ada beberapa komponen yang dilakukan pengujian firmware yaitu MQ-7, Keypad, Modul Micro Sd Card, dan TFT. Perancangan firmware dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir program

### D. Analisis Data

Analisis data yang dilakukan yaitu dengan mencari nilai akurasi sensor dan kelayakan motor sesuai dengan nilai CO. Kalibrasi dilakukan pada sensor MQ-7 untuk mendapatkan akurasi sensor dengan membandingkan nilai ADC dan kalibrator HC-CO Tester.

Nilai ADC yang didapatkan akan tergantung dari tegangan input analog sensor MQ-7 yang mengindikasikan nilai gas karbon monoksida. Nilai ADC akan dikonversi menjadi nilai satuan persen CO yang diperoleh dari HC-CO Tester. Sensor MQ-7 diuji dan dibandingkan dengan untuk mencari persamaan regresi linear

yang akan dimasukkan ke dalam program mikrokontroler.

Setelah diketahui persamaan regresi linear, tahap selanjutnya mencari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ), root mean square error (RMSE), error, dan akurasi dari sensor MQ-7. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk mendapatkan informasi seberapa besar kedekatan nilai sensor dengan nilai kalibrator.

Perbandingan nilai karbon monoksida pada perangkat sensor MQ-7 dan Kalibrator HC-CO Tester akan dicari error atau selisihnya. Pencarian nilai error hingga akurasi dapat dilihat pada (1), (2), dan (3).

$$error = |x_b - x_a| \quad (1)$$

$$\% error = \frac{error}{x_b} \times 100\% \quad (2)$$

$$A = 100\% - \%error \quad (3)$$

Keterangan :

$x_a$  = nilai CO sensor MQ-7

$x_b$  = nilai kalibrator CO-HC Tester

$error$  = kesalahan absolut

$\% error$  = persentase error

$A$  = persentase akurasi

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk menghitung nilai kesalahan rata-rata nilai persen CO sensor dengan nilai CO sebenarnya. Semakin kecil nilai RMSE yang didapatkan maka semakin akurat hasil pengukuran. Rumus RMSE dapat dilihat pada persamaan 4.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_b - x_a)^2}{n}} \quad (4)$$

Keterangan :

RMSE = nilai root mean square error

$x_a$  = nilai CO sensor MQ-7

$x_b$  = nilai CO Kalibrator HC-CO Tester

$n$  = jumlah data

Analisis kandungan CO sepeda motor menggunakan ambang batas CO yang diperbolehkan mengikuti Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup. No.5 tahun 2006 dengan ambang batas gas CO yaitu 4.5%. Data uji lapang dari beberapa motor dibandingkan dengan acuan. Kategori nilai CO yang diperbolehkan dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil akhir dari uji lapang ini adalah kategori layak atau tidak layak sesuai dengan acuan yang telah ditetapkan.

**Tabel 1.** Nilai ambang batas CO kendaraan sepeda motor

Kategori	Tahun pembuatan	Parameter		Metode uji
		CO (%)	HC (PPM)	
Sepeda motor 2 langkah	<2010	4.5	12000	Idle
Sepeda motor 4 langkah	<2010	5.5	2400	Idle
Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah)	≥2010	4.5	2000	Idle

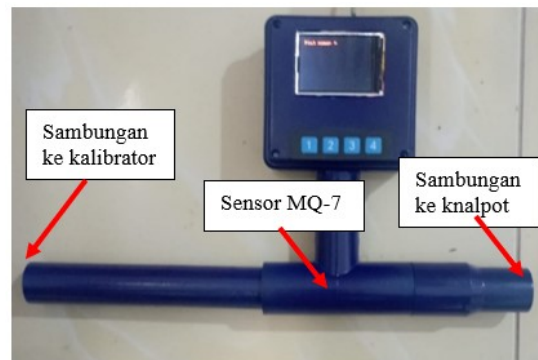
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Perangkat pengukur gas karbon monoksida

Perangkat karbon monoksida dilengkapi dengan sensor MQ-7 yang terdapat dalam pipa dan terhubung mikrokontroler di dalam kotak. Desain kotak yang digunakan berbentuk persegi dengan ukuran panjang sebesar 15 cm, lebar sebesar 15 cm, dan tinggi 5 cm. Bagian depan kotak dilengkapi dengan layar TFT 2.4 inci dan Keypad. Pada Gambar 4 menunjukkan perangkat yang dikembangkan.

Pengujian perangkat ini menggunakan VA meter selama 3 menit, dimana dibutuhkan 1 menit dalam penginputan nomor plat kendaraan sepeda motor dan 2 menit pengambilan data gas karbon monoksida. Pengujian konsumsi daya perangkat ini menunjukkan perangkat ini membutuhkan tegangan sebesar 4,99 Volt dan arus sebesar 0,275 Ampere. Setelah dilakukan uji konsumsi daya, perangkat akuisisi ini

membutuhkan daya sebesar 1,37 Watt (Gambar 5).



**Gambar 4.** Desain perangkat karbon monoksida



**Gambar 5.** Uji Konsumsi Daya



**Gambar 6.** Uji Keseluruhan Sistem

Uji keseluruhan sistem dilakukan dengan mengambil sampel data gas karbon monoksida menggunakan perangkat akuisisi data. Pada pengujian ini ujung pipa perangkat akuisisi data ini ditempatkan pada lubang knalpot (Gambar 6). Lalu, perangkat dinyalakan. Setelah itu, nomor plat kendaraan sepeda motor dimasukkan menggunakan keypad. Kemudian, sepeda motor dinyalakan dalam keadaan *idle*. Sensor MQ-7 yang berada di perangkat akuisisi data akan mengambil data gas karbon monoksida selama 2

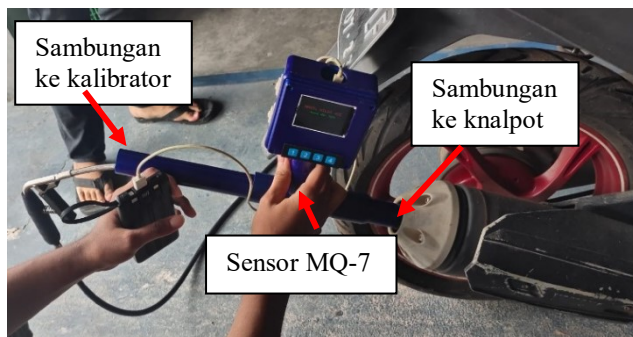
menit. Data hasil pengukuran akan ditampilkan di layar TFT dan disimpan pada *MicroSD Card*. Hasil uji keseluruhan perangkat akuisisi data gas karbon monoksida dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil uji keseluruhan perangkat

No	Komponen	Keterangan
1.	Keypad	Berhasil
2.	MicroSD Card	Berhasil
3.	TFT 2.4	Berhasil
4.	Sensor MQ-7	Berhasil
5.	Modul ADC 16 Bit	Berhasil

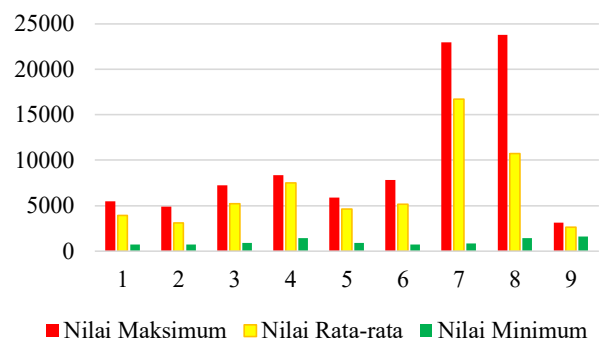
### B. Kalibrasi Sensor

Pengkalibrasian sensor dilakukan Dinas Perhubungan Kota Tanjungpinang. Proses kalibrasi sensor untuk membandingkan sensor MQ-7 dengan sensor HC-CO Tester (Gambar 7). Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan perangkat kalibrasi karbon monoksida pada knalpot motor. Pengukuran gas karbon monoksida dilakukan setiap 100 milisecond selama 2 menit. Pengukuran tersebut dilakukan dalam keadaan motor tanpa di gas (*idle*).

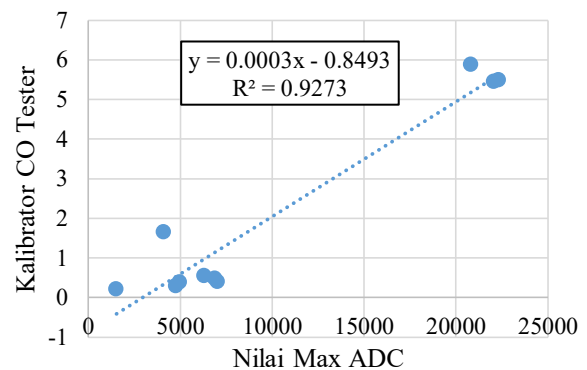


**Gambar 7.** Kalibrasi Sensor

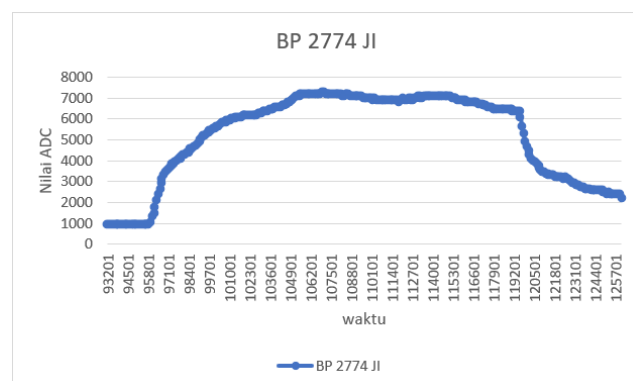
Data yang didapatkan dari sensor MQ-7 berupa nilai digital number (Gambar 8). Nilai dari digital number tersebut akan dicari nilai maksimum, minimum, dan rata-rata. Kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan hasil nilai dari kalibrator HC-CO Tester untuk mendapatkan pola kalibrasi. Gambar 9 merupakan grafik pengukuran kalibrasi.



**Gambar 9.** Grafik pengukuran Kalibrasi



**Gambar 10.** Grafik pola kalibrasi



**Gambar 8.** Pola grafik nilai digital number

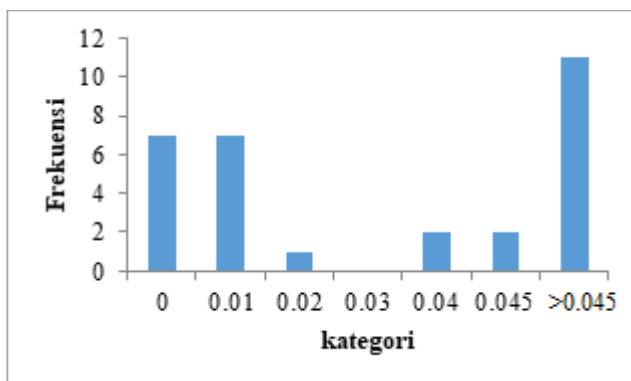
Pengukuran kalibrasi sensor dilakukan sebanyak 10 sampel sepeda motor dengan merk dan tahun produksi yang berbeda. Pengukuran dari kalibrasi sensor MQ-7 didapatkan nilai Max digital number yang sangat baik digunakan pada saat kalibrasi. Sehingga pada uji kalibrasi yang telah dilakukan hanya nilai Max digital number yang diambil. Hasil dari kalibrasi sensor didapatkan 10 data sepeda motor dengan nilai

koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.9273 (Gambar 10).

Rata-rata akurasi sensor MQ-7 sebesar 91.23% dengan persentase error sebesar 1.82% dan RMSE sebesar 0.379. Dari hasil kalibrasi sensor yang dilakukan dapat diketahui bahwa sensor MQ-7 ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik.

### C. Pengujian Lapang

Hasil dari pengujian lapangan dilakukan pada 30 sepeda motor. Hasil pengukuran perangkat akuisisi data karbon monoksida dapat dilihat pada Gambar 11. Dari grafik histogram dapat dilihat bahwa 19 sepeda motor memiliki nilai di bawah 4,5%. Hasil pengukuran tersebut didominasi dengan nilai hingga 1% sebanyak 14 kendaraan sepeda motor. Sedangkan 11 kendaraan sepeda motor memiliki nilai gas CO di atas 4,5%.

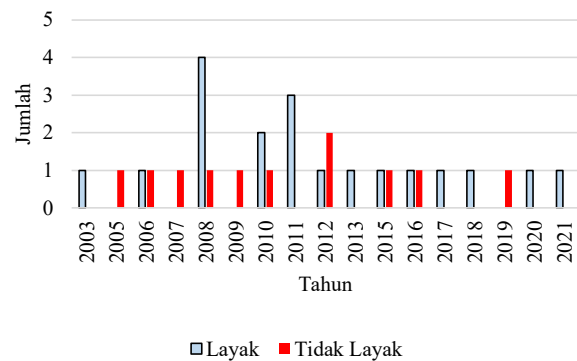


Gambar 11. Sebaran Nilai Gas CO

Pengukuran gas CO pada sepeda motor untuk kategori layak didominasi pada tahun 2008 yang berjumlah 4 motor. Kemudian dilanjutkan dengan tahun 2011 sebanyak 3 motor dan tahun 2010 sebanyak 2 motor. Sedangkan pada tahun 2003, 2006, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018, 2020, dan 2021 didapatkan sepeda motor yang layak sebanyak 1 motor.

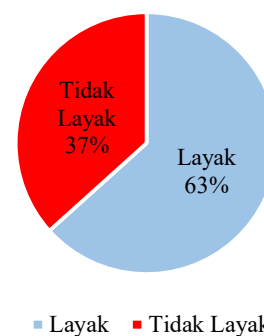
Pada pengukuran kategori tidak layak didominasi pada tahun 2012 sebanyak 2 motor. Sedangkan pada tahun 2005, 2006, 2007, 2008,

2015, 2016, dan 2019 didapatkan kendaraan sepeda motor yang tidak layak sebanyak 1 motor. Grafik sebaran sepeda motor dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Sebaran Sepeda Motor

Dari hasil pengukuran emisi gas karbon monoksida terdapat 63% kendaraan sepeda motor yang layak dan 37% kendaraan sepeda motor yang Tidak Layak. Hasil pengukuran kelayakan sepeda motor dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil kelayakan sepeda motor

Hasil pengukuran gas CO pada perangkat akuisisi didapatkan data kendaraan sepeda motor yang tidak layak pada uji emisi sebanyak 11 motor. Penyebab terjadinya tidak layak karena gas karbon monoksida yang dihasilkan di atas 4.5%. Sedangkan 19 kendaraan sepeda motor dikategorikan Layak, karena gas karbon monoksida yang dihasilkan di bawah 4.5%.

#### D. Pembahasan

Perangkat akuisisi sudah banyak digunakan sebagai proses untuk menyiapkan dan mengolah data [22]. Sebuah perangkat akuisisi data terdiri dari komponen seperti mikrokontroler dan sensor untuk mengambil, menampilkan maupun mengolah data yang terdapat pada komponen. Perangkat akuisisi data gas CO dapat dikembangkan menggunakan sensor MQ-7, MQ-9, TGS 2201 [6], [18], [23]. Sensor MQ-7 dan TGS2201 dapat diukur secara baik dan memiliki sensitivitas yang tinggi [20]. ADS1115 mampu untuk meningkatkan resolusi pengukuran pada nilai digital number, karena komponen ini memiliki resolusi 16 bit [14].

Kalibrasi mampu meningkatkan akurasi dalam pembacaan sensor [24]. Penelitian perangkat akuisisi data gas karbon monoksida ini mendapatkan nilai kalibrasi sensor MQ-7 dengan kalibrator HC-CO Tester sebesar 0.9273 dengan persentase sebesar 92,73%. Rata-rata akurasi sensor MQ-7 sebesar 91.23% dengan persentase error sebesar 8,77% dan RMSE sebesar 0.379. Berdasarkan analisa data didapatkan bahwa tahun kendaraan sepeda motor tidak mempengaruhi nilai dari gas karbon monoksida. hal ini serupa dengan yang diteliti oleh [25]. Faktor yang mempengaruhi tingginya gas karbon monoksida bisa dipengaruhi dari filter udara yang kotor, bahan bakar yang digunakan, dan perawatan motor.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil merancang dan menguji perangkat yang mampu mengukur, menampilkan dan menyimpan data akuisisi gas emisi karbon monoksida pada kendaraan sepeda motor menggunakan sensor MQ-7. Perangkat mampu mengukur gas karbon monoksida dengan tingkat akurasi 91.23%. Faktor yang mempengaruhi nilai gas karbon monoksida pada kendaraan sepeda motor antara

lain berupa filter udara yang kotor, bahan bakar yang digunakan, dan perawatan motor. Sedangkan untuk tahun kendaraan tidak mempengaruhi nilai gas karbon monoksida.

#### REFERENSI

- [1] Ismiyati, D. Marlita, and D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Manaj. Transp. Logistik*, vol. 01, no. 03, pp. 241–248, 2014.
- [2] D. Maryanto, S. A. Mulasari, and D. Suryani, "Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (Co) Dengan Penambahan Arang Aktif Pada Kendaraan Bermotor Di Yogyakarta," *J. Kesehat. Masy. (Journal Public Heal.*, vol. 3, no. 3, pp. 37–44, 2014, doi: 10.12928/kesmas.v3i3.1110.
- [3] A. Gani, Jalaluddin, and Darmadi, "Analisis Karakteristik Emisi Gas Buang Pada Sarana Transportasi Roda Dua Kota Banda Aceh," *J. Tek. Mesin Unsyiah*, vol. 1, no. 4, pp. 152–156, 2013.
- [4] M. Sanusi, H. Uloli, F. Teknik, U. N. Gorontalo, and K. Gorontalo, "Pengaruh Variasi Jenis Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Vixion 155 Cc Vva Tipe Injeksi Tahun 2018," *Semin. Nas. Teknol. Sains dan Hum.*, vol. 2019, no. November, pp. 202–209, 2019.
- [5] F. Estikhamah and A. Rumintang, "Studi Literatur Tentang Pengaruh Demand Bus Antar Kota Terhadap Kualitas Udara di Area Terminal," *J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 39–44, 2020, doi: 10.31284/j.jts.2020.v1i1.904.
- [6] S. K. Sarungallo, I. G. P. Raka Agung, and L. Jasa, "Rancang Bangun Alat Ukur Uji Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis Mikrokontroler," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 1, p. 141, 2016, doi: 10.24843/mite.1601.19.
- [7] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2018-2020," 2022.
- [8] Tempo.co, "Kendaraan Pribadi Juga Wajib

- Uji Laik Jalan,” 2004.
- [9] P. Anditasari, Sudjadi, and Darjat, “Perancangan Sistem Akuisisi Data Multisensor (Oksigen, Hidrogen, Suhu, Aliran, Tekanan, Arus, Dan Tegangan) Berbasis Human Machine Interface,” *Transient*, vol. 9, no. 1, pp. 107–114, 2020.
- [10] F. A. Elhaq, S. Supriyadi, and A. Burhanuddin, “Rancang Bangun Alat Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Berbasis Arduino at Mega 2560,” *Sci. Eng. Natl. Semin.*, vol. 5, no. 1, pp. 481–489, 2020.
- [11] S. Kurniawan, E. D. Marindani, and H. Priyatman, “Prototipe Pendeteksi Titik Api Kebakaran Lahan Berbasis Arduino Uno R3 Dengan Peringatan Dini Melalui Website,” *Tek. Elektro Univ. Tanjung Pura*, 2018.
- [12] E. Nurraharjo, “Analisis Model Akuisisi Data Terhadap Piranti Analog To Digital (Adc),” *J. Din. Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–78, 2011.
- [13] H. Ridhwan Nazer and A. Basry, “Rancang Bangun Alat Sensor Pendeteksi Asap Rokok Di Dalam Area Stadion Gelora Bung Karno Berbasis Raspberry Pi,” vol. 22, no. 1, pp. 40–55, 2021.
- [14] H. A. Kusuma, R. Purbakawaca, I. R. Pamungkas, L. N. Fikry, and S. S. Maulizar, “Design and Implementation of IoT-Based Water Pipe Pressure Monitoring Instrument,” *J. Elektron. dan Telekomun.*, vol. 21, no. 1, pp. 41–47, 2021, doi: 10.14203/jet.v21.41-44.
- [15] M. Gregoryan, J. Andjarwirawan, and R. Lim, “Sistem Kontrol dan Monitoring Ph Air serta Kepekatan Nutrisi pada Budidaya Hidroponik Jenis Sayur dengan Teknik Deep Flow Technique,” *J. Infra*, vol. 7, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [16] A. T. Tugaswati, “Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Dampaknya Terhadap Kesehatan,” 2008.
- [17] A. A. Rosa, B. A. Simon, and K. S. Lieanto, “Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135,” *Ultim. Comput. J. Sist. Komput.*, vol. 12, no. 1, pp. 23–28, 2020, doi: 10.31937/sk.v12i1.1611.
- [18] R. T. Setyawan, Y. Dewanto, and D. L. Zariatin, “Prototipe Alat Deteksi Kandungan Co Dan Hc Dalam Kabinkendaraan Menggunakan Mikrokontroler Arduino,” *J. Ilm. TEKNOBIZ*, vol. 8, no. 2, pp. 55–60, 2015.
- [19] A. Subagyo, “Cuaca panas berpengaruh terhadap terjadinya kebakaran di perumahan padat penduduk,” *Orbith*, vol. 11, no. 3, pp. 153–160, 2015.
- [20] S. H. Maharani and N. Kholis, “Pengaruh Penggunaan Sensor Gas Terhadap Persentase Nilai Error Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) pada Prototipe Vehicle Gas Detector (VGD),” *Tek. Elektro*, vol. 09, no. 03, pp. 569–578, 2020.
- [21] Medcom.id, “Begini Proses Uji Emisi Sepeda Motor, 2017-2021,” 2021.
- [22] D. Potter, “Data Acquisition Fundamentals,” in *Instrument Engineers’ Handbook*, CRC Press, 2011, pp. 330–341. doi: 10.1201/b11093-23.
- [23] F. A. Elhaq, S. Supriyadi, and A. Burhanuddin, “Rancang Bangun Alat Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Berbasis Arduino AT Mega 2560,” in *Science and Engineering National Seminar*, 2020, pp. 481–489. [Online]. Available: <http://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/1528>
- [24] F. J. Mesas-Carrascosa, D. Verdú Santano, J. E. Meroño, M. Sánchez de la Orden, and A. García-Ferrer, “Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture,” *Biosyst. Eng.*, vol. 137, pp. 73–83, 2015, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.005.
- [25] D. D. Ramadhani, C. M. Rohman, and F. P. A. Fadzilah, “Analisis Hubungan Antara Tingkat Kecepatan Terhadap Luaran Emisi Gas CO Pada Beberapa Sepeda Motor Matic,” in *Prosiding SAINTEK*, 2022, pp. 21–30. [Online]. Available: <https://jurnal.pelitabangsa.ac.id/index.php/SAINTEK/issue/view/134>