

Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler ATmega328 dengan Pemantauan Secara *Real-Time* Melalui Bluetooth pada Perangkat Android

Ni Ketut Hariyawati Dharmi ^{1*)}, Muhammad Ali Hambali ²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro
Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

^{*}Korespondensi: niketuthd@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Pengujian emisi kendaraan bermotor menjadi sangat penting untuk meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Namun, alat uji emisi yang tersedia saat ini memiliki harga yang relatif mahal dan ukuran yang besar, sehingga kurang praktis untuk penggunaan luas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat ukur emisi gas buang kendaraan bermotor berbasis mikrokontroler ATmega 328 yang lebih efisien, terjangkau, dan portabel. Metode yang digunakan melibatkan perancangan dan realisasi sistem menggunakan mikrokontroler ATmega 328 yang dilengkapi dengan sensor gas MQ-7 dan MQ-2 untuk mendeteksi kadar karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC). Data yang diperoleh dari sensor dikirim ke perangkat Android secara nirkabel melalui modul Bluetooth HC-05 dan ditampilkan secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat yang dirancang mampu mendeteksi emisi CO dan HC dengan akurasi yang tinggi. Akurasi pengukuran HC mencapai 99,45% dan akurasi pengukuran CO mencapai 99,04% dibandingkan dengan alat uji emisi standar. Koefisien variasi (CV) pengukuran CO adalah 1,89%, sementara untuk HC adalah 0,58%, yang menunjukkan tingkat konsistensi yang baik. Alat ini juga berhasil mengirimkan data ke perangkat Android secara *real-time* dengan *delay* kurang dari 1 detik, memastikan performa yang stabil dan responsif.

Kata kunci: Arduino Uno, Bluetooth, Emisi Gas Buang, Mikrokontroler ATmega 328, Sensor Gas MQ-7, Sensor Gas MQ-2

Abstract

Testing vehicle emissions is crucial to minimize negative impacts on the environment and human health. However, the available emission testing devices are relatively expensive and large, making them less practical for widespread use. This study aims to design and develop a more efficient, affordable, and portable ATmega 328 microcontroller-based motor vehicle exhaust gas emission measurement device. The method used involves the design and realization of a system using an ATmega 328 microcontroller equipped with MQ-7 and MQ-2 gas sensors to detect carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) levels. Data obtained from the sensors are wirelessly transmitted to an Android device via a Bluetooth HC-05 module and displayed in real-time. The test results indicate that the designed device is capable of detecting CO and HC emissions with high accuracy. HC measurement accuracy reached 99.45% and CO measurement accuracy reached 99.04% compared to standard emission testing devices. The coefficient of variation (CV) for CO measurements is 1.89%, while for HC it is 0.58%, showing good consistency. The device also successfully transmitted data to an Android device in real-time with a delay of less than 1 second, ensuring stable and responsive performance.

Keywords: Arduino Uno, Bluetooth, Exhaust Gas Emissions, Microcontroller ATmega 328, MQ-7 Gas Sensor, MQ-2 Gas Sensor

I. PENDAHULUAN

Info Makalah:

Dikirim : 06-17-2026;
Revisi 1 : 06-29-2026;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-30-2026.

Penulis Korespondensi:

Telp : +6285974992595
e-mail :
niketuthd@lecture.unjani.ac.id

Emisi adalah zat, energi, atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu aktivitas yang dilepaskan ke udara dan dapat berfungsi sebagai polutan utama. Untuk memantau emisi dari kendaraan bermotor, alat uji emisi digunakan. Namun, alat uji emisi yang tersedia di pasaran sering kali memiliki dimensi yang besar dan sulit digunakan di ruang terbatas. Oleh karena itu, diperlukan alat ukur kadar karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) dalam gas buang kendaraan bermotor yang lebih ringkas dan mampu memberikan hasil pengukuran secara *real-time*.

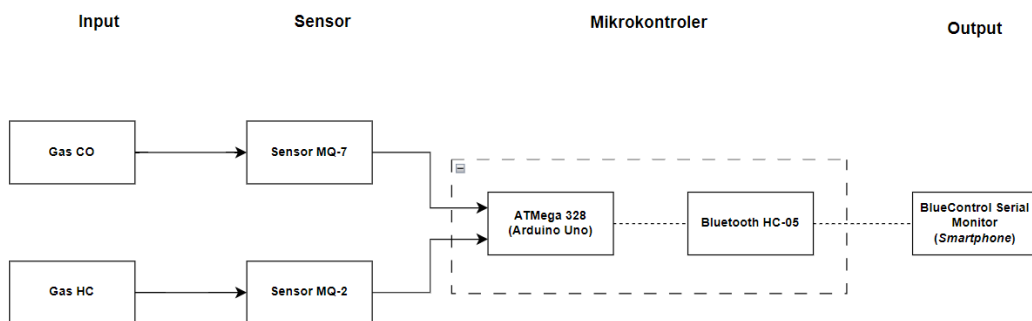
Di Indonesia, polusi udara yang disebabkan oleh kendaraan bermotor, pembangkit listrik, industri, dan aktivitas rumah tangga menyumbang hingga 70% dari total polusi udara global. Dari jumlah tersebut, emisi karbon monoksida (CO) menyumbang 99%, hidrokarbon (HC) 89%, dan oksida nitrogen (NOx) 73%, serta sejumlah polutan lainnya seperti timbal, sulfur oksida, dan partikel debu. Pengujian emisi kendaraan bermotor umumnya menggunakan alat yang disebut *gas analyzer*, yang meskipun akurat, memiliki harga yang relatif mahal dan biaya pengujian yang cukup tinggi. Selain itu, terbatasnya jumlah bengkel yang memiliki *gas analyzer* mempersulit masyarakat dalam melakukan tes uji emisi kendaraan secara rutin.

Penelitian yang dilakukan oleh A. Sukarto et al. pada tahun 2018 membahas pengembangan sistem pemantauan emisi gas buang kendaraan berbasis mikrokontroler [1]. Penelitian tersebut memberikan wawasan penting mengenai tahapan perancangan dan implementasi sistem pemantauan emisi, mulai dari pemilihan komponen sensor hingga evaluasi kinerja sistem. Selain itu, S. Ahmad et al. (2016) membahas pengembangan alat ukur emisi kendaraan portabel yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) [2], yang memungkinkan pemantauan dan analisis data secara jarak jauh. Lebih lanjut, X. Li et al. (2019) mengembangkan alat pemantau emisi menggunakan sensor gas berteknologi tinggi yang dapat mendeteksi beberapa jenis gas secara bersamaan dengan tingkat presisi yang lebih tinggi [3].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat ukur emisi gas buang pada kendaraan bermotor berbasis mikrokontroler ATmega 328 yang lebih terjangkau, portabel, dan mampu memberikan hasil pengukuran secara *real-time* pada perangkat Android melalui Bluetooth. Alat ini menggunakan sensor gas MQ-7 untuk mendeteksi CO dan sensor gas MQ-2 untuk mendeteksi HC, dengan sistem komunikasi nirkabel menggunakan modul Bluetooth HC-05.

II. METODE

A. Diagram Blok Sistem



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

Sistem alat ukur emisi gas buang ini terdiri dari beberapa blok utama yang saling terintegrasi. Blok *input* berupa gas buang kendaraan bermotor yang mengandung senyawa CO dan HC. Blok sensor terdiri dari sensor gas MQ-7 dan sensor gas MQ-2. Sensor gas MQ-7 adalah sensor gas yang digunakan dalam peralatan untuk mendeteksi gas karbon monoksida (CO) dalam kehidupan sehari-hari, industri, atau mobil. Fitur dalam sensor gas MQ7 ini yaitu mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap karbon monoksida (CO), stabil, dan tahan lama tidak mudah rusak. Sensor ini menggunakan satu daya rangkaian:

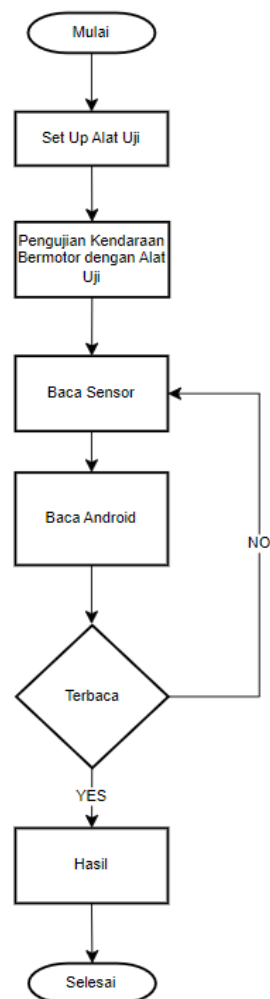
Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler ATmega328 dengan Pemantauan Secara Real-Time Melalui Bluetooth pada Perangkat Android

(Ni Ketut Hariyawati Dharmi, Muhammad Ali Hambali : 55 - 63)

5VDC untuk *heater coil* menambahkan resistansi beban (RL), jarak pengukuran: 10 – 10.000 rpm untuk mampu mengukur gas karbon monoksida [4]. Sensor gas MQ-2 adalah sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas hidrokarbon (HC) yang mudah terbakar seperti iso butana (C_4H_{10} / isobutane), propana (C_3H_8 / *propane*), metana (CH_4 / *methane*), etanol (*ethanol alcohol*, CH_3CH_2OH), hidrogen (H_2 / *hydrogen*), asap (*smoke*), dan LPG (*liquified petroleum gas*) [5]. Kedua sensor mengeluarkan sinyal analog yang kemudian diterima oleh blok pemrosesan sinyal, yaitu mikrokontroler ATmega 328, yang merupakan mikrokontroler 8-bit yang sangat populer, berkat penggunaannya dalam *platform* Arduino. Mikrokontroler ini dirancang oleh Atmel, yang kini dimiliki oleh Microchip Technology, dan merupakan bagian dari keluarga AVR yang terkenal dengan arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) [6]. Arduino memiliki 14 pin *input/output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM (*Pulse Width Modulation*), 6 analog *input*, *crystal oscillator* 16MHz, koneksi USB (*Unisversal Serial Bus*), *jack power*, kepala ICSP (*In Circuit Serial Programming*), dan tombol *reset*. Arduino mampu *men-support* mikrokontroler dapat dikoneksikan dengan USB [7].

Mikrokontroler mengolah data dari sensor dan mengirimkannya melalui modul Bluetooth HC-05 ke perangkat *smartphone* Android sebagai blok *output*, yang menampilkan nilai konsentrasi CO (dalam %) dan HC (dalam ppm) secara *real-time* melalui aplikasi Arduino Bluetooth *Control*. Modul Bluetooth merupakan komunikasi nirkabel melalui Bluetooth yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dengan *default* koneksi hanya sebagai *slave*. Bluetooth HC-05 ini sangat mudah digunakan dengan mikrokontroler untuk membuat aplikasi *wireless*. *Interface* yang digunakan adalah *serial* RXD, TXD, VCC dan GND *Built in* LED sebagai indikator koneksi [8].

B. Diagram Alir Penelitian

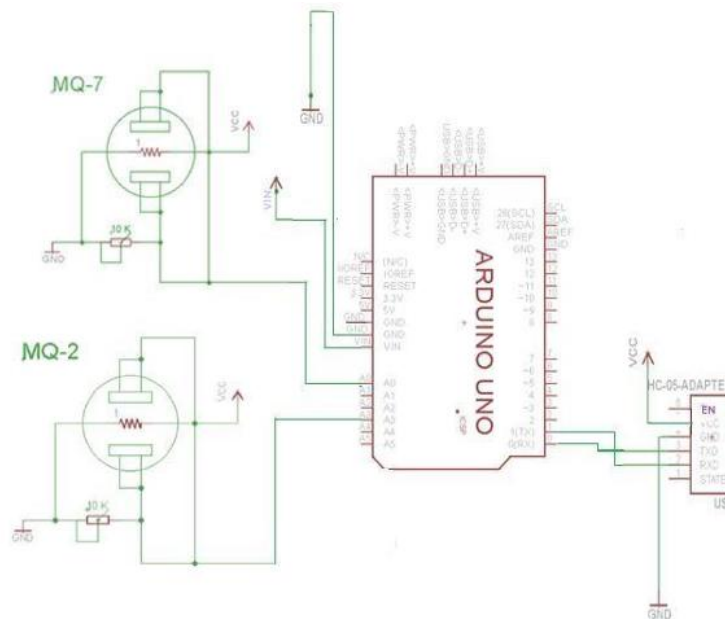


Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

C. Perancangan Sistem

1. Perancangan Perangkat Keras

Rangkaian ini merupakan pernyataan hubungan yang berurutan dari satu atau lebih komponen yang memiliki kesatuan kerja tersendiri, dan setiap rangkaian komponen mempengaruhi komponen yang lainnya. Rangkaian keseluruhan sistem merupakan salah satu cara yang paling sederhana untuk menjelaskan cara kerja dari suatu sistem. Dengan rangkaian ini kita dapat menganalisis cara kerja rangkaian dan merancang *hardware* yang akan dibuat secara umum. Adapun rangkaian sistem yang dirancang seperti yang diperlihatkan pada gambar 3, terdapat sensor MQ7 dan MQ2 yang berfungsi untuk mendeteksi dan memperkirakan kandungan senyawa karbon monoksida(CO) dan senyawa hidrokarbon (HC) dengan cara mendeteksi kadar gas pada pipa pembuangan kendaraan bermotor. Mikrokontroler Arduino adalah komponen utama yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data yang akan diproses sebelum dikirimkan ke penampil (*smartphone* Android) melalui Bluetooth. *smartphone* Android berfungsi sebagai penampil data yang diperoleh dari sensor agar dapat langsung dilihat hasilnya secara visual.



Gambar 3 Skematik Perangkat Keras Sistem

2. Perancangan Perangkat Lunak

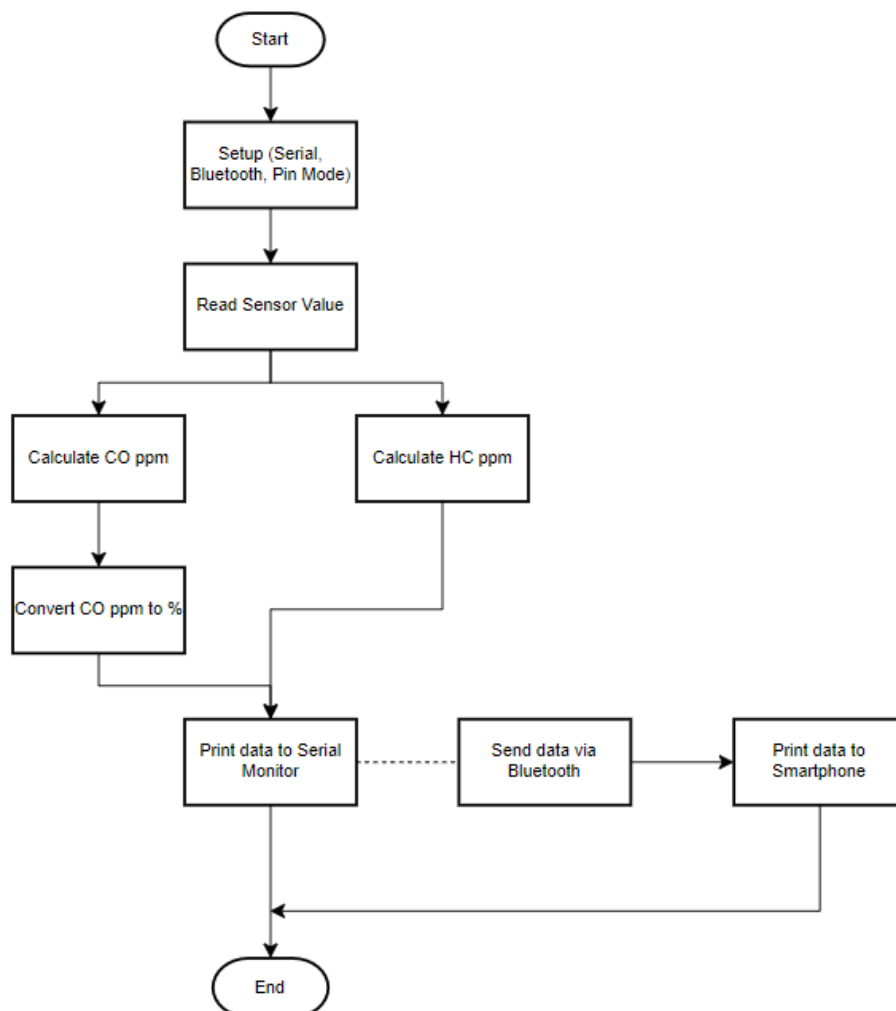
Dalam penelitian ini, perancangan perangkat lunak mencakup pengembangan program yang dapat menghubungkan aplikasi yang dirancang dan diinstal pada *smartphone* dengan perangkat keras yang terkait. Perangkat lunak ini bertindak sebagai jembatan komunikasi antara sistem pengukuran sensor gas dan pengguna, memungkinkan pengumpulan, pemrosesan, dan penyajian data secara *real-time*.

Program yang dikembangkan meliputi beberapa aspek penting, termasuk program untuk kalibrasi sensor MQ-7 dan MQ-2. Kalibrasi ini merupakan langkah krusial untuk memastikan bahwa sensor memberikan pembacaan yang akurat sesuai dengan konsentrasi gas yang diukur. Kalibrasi dilakukan dengan mengatur nilai-nilai tertentu pada sensor, yang kemudian digunakan sebagai referensi dalam pengukuran.

Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler ATmega328 dengan Pemantauan Secara Real-Time Melalui Bluetooth pada Perangkat Android

(Ni Ketut Hariyawati Dharmi, Muhammad Ali Hambali : 55 - 63)

Selain itu, penelitian ini juga mencakup pengembangan program keseluruhan sistem, yang mencakup fungsi-fungsi seperti pengambilan data dari sensor, pengolahan data untuk mendeteksi adanya gas berbahaya, serta komunikasi data dengan *smartphone* melalui Bluetooth. Program ini dirancang untuk memastikan sistem dapat berjalan secara efisien dan akurat, dengan antarmuka pengguna yang mudah dioperasikan. Semua aspek perangkat lunak ini dikembangkan untuk memastikan integrasi yang baik antara perangkat keras dan aplikasi pada *smartphone*, sehingga sistem dapat berfungsi secara optimal dalam mendeteksi dan menginformasikan keberadaan gas berbahaya kepada pengguna.



Gambar 4 *Flowchart* Program

D. Pengujian Sistem dan Pengambilan Data

Pada bagian ini dilakukan pengujian sistem yang berfungsi untuk menganalisis kesalahan data yang ada. Dilakukan pula pemeriksaan kekompatan antar komponen sistem yang diimplementasikan dan untuk mencari kesalahan serta kelemahan yang mungkin masih terjadi. Pengujian yang dilakukan pada sistem aplikasi ini meliputi pengujian terhadap seluruh menu program, proses-proses aplikasi, dan pembuatan laporan, apakah telah sesuai dengan apa yang diharapkan oleh pengguna.

Pada sistem ini, pengambilan data dilakukan terhadap gas buang kendaraan bermotor untuk menghitung emisi gas buangnya. Gas yang diukur dalam sistem ini adalah gas Hidrokarbon (HC) dan gas Karbon Monoksida (CO). Pengujian sistem (pengambilan data emisi gas buang) akan dilakukan dengan kendaraan dalam kondisi *idle*. Dalam pengujian sistem data akan ditampilkan secara *real-time* pada *serial monitor* dalam aplikasi Arduino Bluetooth Control pada *smartphone*. Data pengukuran akan ditampilkan setiap 30 detik pada *serial monitor* dan akan diambil sebanyak 10 data dengan durasi pengambilan data 5 menit. Data yang diambil merupakan hasil pengukuran oleh alat uji yang telah dirancang dan juga alat uji standar. Data pengukuran oleh alat uji rancangan kemudian dibandingkan dengan data dari alat uji standar untuk dianalisis akurasi dan konsistensi dari alat uji rancangan.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Perancangan Perangkat Keras

Hasil perancangan perangkat keras berupa prototipe alat ukur emisi gas buang yang terdiri dari mikrokontroler ATmega 328 (Arduino Uno), sensor MQ-7, sensor MQ-2, dan modul Bluetooth HC-05 yang terintegrasi pada sebuah PCB kustom di dalam casing yang kompak. Sensor MQ-7 dihubungkan ke pin A0 Arduino Uno dengan tegangan operasi 5V, sedangkan sensor MQ-2 dihubungkan ke pin A1 dengan tegangan input 5V DC. Modul Bluetooth HC-05 beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dan dihubungkan ke pin serial perangkat lunak (pin 10 dan 11 Arduino). Seluruh rangkaian diintegrasikan dalam PCB sehingga koneksi lebih stabil dan perangkat lebih portabel dibandingkan alat *gas analyzer* komersial yang berukuran besar.

B. Hasil Perancangan Perangkat Lunak

1. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan untuk menentukan nilai R_0 , yaitu resistansi sensor pada kondisi udara bersih. Proses kalibrasi diawali dengan pemanasan sensor selama 60 detik, kemudian nilai ADC dibaca dan dikonversi ke tegangan menggunakan persamaan: $V_{out} = \text{ADC_value} \times (5,0 / 1023,0)$. Nilai R_s dihitung sebagai $R_s = (5,0 - V_{out}) / V_{out}$, dan nilai R_0 ditetapkan sama dengan R_s pada kondisi udara bersih. Hasil kalibrasi diperoleh nilai $R_{o_MQ7} = 22,6$ dan $R_{o_MQ2} = 35,2$.

2. Program Keseluruhan Sistem

Program utama sistem menggunakan pustaka `SoftwareSerial` untuk komunikasi Bluetooth dan `math.h` untuk perhitungan logaritmik. Fungsi `calculatePPM_MQ7()` menghitung konsentrasi CO berdasarkan rasio R_s/R_0 menggunakan persamaan kalibrasi kurva sensor MQ-7: $\text{PPM} = 10^{((\log_{10}(\text{ratio}) - 0,08) / -0,34)}$. Fungsi `calculatePPM_MQ2()` menghitung konsentrasi HC berdasarkan persamaan kurva sensor MQ-2: $\text{PPM} = 10^{((\log_{10}(\text{ratio}) - 0,45) / -0,38)}$. Nilai CO dalam PPM kemudian dikonversi ke persen dengan membagi 10.000. Data CO (%) dan HC (ppm) dikirimkan melalui Bluetooth setiap 30 detik dan ditampilkan secara *real-time* pada aplikasi Arduino Bluetooth Control di *smartphone* Android.

C. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan pada sepeda motor Honda Vario keluaran tahun 2018 untuk mengetahui fungsionalitas dari sistem yang telah dibuat. *Output* dari sistem ini akan menampilkan nilai konsentrasi karbon monoksida (CO) dalam bentuk persen (%) dan nilai konsentrasi hidrokarbon (HC) dalam bentuk *parts per million* (ppm). Data diambil sebanyak 10 kali dengan interval 30 detik. Hasil perbandingan pengukuran alat rancangan dengan alat standar ditampilkan pada Tabel 1.

Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler ATmega328 dengan Pemantauan Secara Real-Time Melalui Bluetooth pada Perangkat Android
 (Ni Ketut Hariyawati Dharmi, Muhammad Ali Hambali : 55 - 63)

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

Data ke-	Alat Rancangan		Alat Standar	
	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)
1	0,715	985,17	0,72	986
2	0,723	982,46	0,72	985
3	0,718	979,98	0,73	986
4	0,742	987,73	0,72	987
5	0,727	981,89	0,74	984
6	0,694	967,18	0,73	985
7	0,715	976,53	0,75	985
8	0,738	979,37	0,72	986
9	0,732	982,57	0,73	986
10	0,718	976,14	0,73	983

D. Analisis Hasil Pengujian

1. Akurasi Pengukuran

Dari data hasil pengujian pada Tabel 1, dihitung nilai rata-rata pengukuran masing-masing parameter. Rata-rata CO alat rancangan diperoleh $\bar{x} = 0,722\%$, sedangkan rata-rata CO alat standar $\bar{x} = 0,729\%$. Rata-rata HC alat rancangan $\bar{x} = 979,902$ ppm, sedangkan rata-rata HC alat standar $\bar{x} = 985,3$ ppm. Berdasarkan nilai rata-rata tersebut, akurasi pengukuran CO dihitung sebagai berikut:

$$\text{Akurasi CO} = [1 - |0,722 - 0,729| / 0,729] \times 100\% = 99,04\% \quad (1)$$

$$\text{Akurasi HC} = [1 - |979,902 - 985,3| / 985,3] \times 100\% = 99,45\% \quad (2)$$

2. Koefisien Variasi (Presisi)

Standar deviasi pengukuran CO diperoleh $\sigma = 0,0137$ dan standar deviasi pengukuran HC diperoleh $\sigma = 5,7184$. Koefisien Variasi untuk masing-masing parameter dihitung sebagai berikut:

$$\text{CV CO} = (0,0137 / 0,722) \times 100\% = 1,89\% \quad (3)$$

$$\text{CV HC} = (5,7184 / 979,902) \times 100\% = 0,58\% \quad (4)$$

E. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ukur emisi gas buang berbasis mikrokontroler ATmega 328 yang dirancang memiliki performa yang sangat baik. Pada pengukuran CO, alat rancangan mencatat rata-rata sebesar 0,722%, yang sedikit lebih rendah dibandingkan alat standar yang mencatat nilai 0,729%. Akurasi pengukuran CO mencapai 99,04% dengan CV sebesar 1,89%, yang termasuk kategori presisi tinggi (CV < 10%).

Pengukuran HC menunjukkan hasil yang lebih baik lagi. Alat rancangan mencatat rata-rata 979,902 ppm dibandingkan alat standar sebesar 985,3 ppm, dengan akurasi mencapai 99,45% dan CV hanya 0,58%. Nilai CV yang sangat rendah ini menandakan konsistensi pengukuran yang sangat baik. Berdasarkan ambang batas emisi gas buang yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2006 untuk sepeda motor 4 tak keluaran ≥ 2010 , batas CO adalah 4,5% dan HC adalah

2.400 ppm. Nilai pengukuran pada kendaraan uji (0,72% CO dan 985 ppm HC) masih berada di bawah ambang batas tersebut.

Sistem transmisi data melalui modul Bluetooth HC-05 berhasil mengirimkan data emisi secara *real-time* setiap 30 detik dengan *delay* kurang dari 1 detik. Performa transmisi ini memenuhi kebutuhan pemantauan emisi di lapangan. Dibandingkan dengan penelitian A. Sukarto et al. [1] yang menggunakan koneksi kabel, sistem nirkabel pada penelitian ini memberikan fleksibilitas yang lebih besar. Integrasi dengan teknologi IoT yang diusulkan S. Ahmad et al. [2] dapat menjadi arah pengembangan berikutnya untuk memperluas jangkauan pemantauan.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Analisis Kinerja Alat

Parameter	Rata-rata Alat Rancangan	Rata-rata Alat Standar	Akurasi (%)	CV (%)
CO (%)	0,722	0,729	99,04	1,89
HC (ppm)	979,902	985,3	99,45	0,58

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan merealisasikan alat ukur emisi gas buang kendaraan bermotor berbasis mikrokontroler ATmega 328 yang portabel, terjangkau, dan mampu beroperasi secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan:

Alat yang dirancang memiliki akurasi pengukuran karbon monoksida (CO) sebesar 99,04% dan hidrokarbon (HC) sebesar 99,45% dibandingkan dengan alat uji emisi standar, menunjukkan kinerja yang sangat baik.

Koefisien variasi (CV) pengukuran CO adalah 1,89% dan HC adalah 0,58%, yang keduanya termasuk dalam kategori presisi tinggi (CV < 10%), menandakan konsistensi pengukuran yang sangat baik.

Sistem transmisi data Bluetooth HC-05 mampu mengirimkan data pengukuran secara *real-time* setiap 30 detik dengan *delay* kurang dari 1 detik, menjadikan alat ini sangat responsif dan cocok untuk digunakan di lapangan.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan dilakukan pengujian pada berbagai jenis kendaraan dengan bahan bakar dan karakteristik mesin yang berbeda, integrasi dengan teknologi IoT untuk pemantauan terpusat, serta penambahan fitur penyimpanan data historis dan analisis tren.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sukarto et al., "Pengembangan Sistem Pemantauan Emisi Gas Buang Kendaraan Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 10, no. 2, pp. 45-52, 2018.
- [2] S. Ahmad et al., "Development of a Portable Vehicle Emission Measurement System Using IoT Technology," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 13, no. 7, pp. 1891-1900, 2016.
- [3] X. Li et al., "Advanced Gas Sensor Technology for Real-time Monitoring of Vehicle Emissions," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 283, pp. 240-249, 2019.
- [4] H. M. Lwin and T. T. Win, "Internet of Things (IoT) Based Carbon Monoxide (CO) Monitoring System Using Arduino and MQ-7 Sensor," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 9, pp. 118-124, 2019.
- [5] F. Amin and S. Hidri, "Design and Implementation of a Gas Leakage Monitoring System Based on Arduino and MQ-2 Gas Sensor," *Procedia Computer Science*, vol. 141, pp. 229-236, 2018.

Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler ATmega328 dengan Pemantauan Secara Real-Time Melalui Bluetooth pada Perangkat Android

(Ni Ketut Hariyawati Dharmi, Muhammad Ali Hambali : 55 - 63)

- [6] J. Smith and D. Miller, *Embedded Systems Design with Microcontrollers: Principles and Practices*. New York: Engineering World, 2019.
- [7] M. Jones, *Microcontroller Basics and Applications*. Arizona: TechPress Publishing, 2020.
- [8] M. Sabahi and A. Motahari, "Design and Implementation of a Smart Waste Management System Using Arduino and Bluetooth Module HC-05," in *Proc. 2019 5th International Conference on Web Research (ICWR)*, pp. 1-6.