

RANCANG BANGUN ALAT UJI EMISI PORTABLE KENDARAAN MOTOR BERBASIS ARDUINO UNO DAN ESP-01 DENGAN INTERPRETASI *THINGSPEAK*

Bima Septiawan¹, Fitri Oktafiani¹, Nurjanah^{1*}, Ain Sahara¹, Iin Darmiyati¹, Ranjiv Maulana¹, Hamsir¹

¹D3 Teknik Instrumentasi
dan Elektronika Migas,
Sekolah Tinggi Teknologi
Migas

*E-mail: nurjannah@sttmigas.ac.id

ABSTRACT

Air pollution is a very important issue to address because it directly impacts human health. In Balikpapan, air pollution has increased partly due to the rise in motor vehicle fuel usage, which has surged as a result of traffic growth. Based on this, a study was conducted to develop a portable and efficient vehicle emission testing device using advanced sensor technology with an Arduino Uno microcontroller and ESP-01 as a Wi-Fi module to send sensor data to ThingSpeak. The research results indicate that the device is stable and efficient in measurement. The average values for CO, HC, NO_x, CO₂, and O₂ were 0.61%, 723.71 ppm, 1.84 ppm, 0.92%, and 0.18%, respectively, with measurement uncertainties of 0.01%, 12.70 ppm, 0.07 ppm, 0.09%, and 0.08%. Vehicle emission measurements over three different age ranges—below 2010, 2010-2016, and above 2016—revealed that older vehicles tend to have higher exhaust gas emissions. This is due to less efficient combustion and suboptimal maintenance.

Keywords: Arduino uno, MQ-135, MQ-9, ESP-01, ThingSpeak, Vehicle emissions

ABSTRAK

Polusi udara merupakan masalah penting karena berdampak pada kesehatan manusia. Polusi udara di Balikpapan meningkat salah satunya karena penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor yang melonjak akibat pertumbuhan lalu lintas. Berdasarkan hal ini dilakukan penelitian mengenai rancang bangun alat uji emisi kendaraan yang portable dan efisien, menggunakan teknologi sensor canggih dengan mikrokontroler Arduino Uno dan ESP-01 sebagai modul Wi-Fi untuk mengirim data sensor ke *ThingSpeak*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat stabil dan efisien dalam pengukuran. Dengan rata-rata nilai CO, HC, NO_x, CO₂, dan O₂ yaitu 0.61%, 723.71 ppm, 1.84 ppm, 0.92% dan 0.18% serta ketidakpastian pengukuran yaitu 0.01%, 12.70 ppm, 0.07 ppm, 0.09% dan 0.08%. Pengukuran emisi kendaraan motor pada rentang tiga tahun yang berbeda, yaitu dibawah 2010, 2010 – 2016, dan diatas 2016. Didapatkan hasil kendaraan yang lebih tua cenderung memiliki emisi gas buang yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan pembakaran yang kurang efisien serta perawatan yang tidak optimal.

Kata kunci: Arduino uno, MQ-135, MQ-9, ESP-01, *ThingSpeak*, Emisi kendaraan

PENDAHULUAN

Udara merupakan salah satu jenis golongan gas dan merupakan sumber pernapasan utama bagi makhluk hidup. Namun dalam era modern ini kualitas udara menjadi salah satu perhatian utama dalam menjaga kesehatan dan lingkungan. Tingginya emisi gas buang kendaraan yang dihasilkan oleh pembakaran mesin kendaraan bermotor seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO₂), dan oksigen (O₂) dapat menyebabkan penurunan kualitas udara di suatu wilayah.

Pada tahun 2023, WHO (World Health Organization) melaporkan bahwa 99% populasi dunia menghirup udara yang melebihi standar kualitas udara yang ditetapkan oleh organisasi tersebut. Berdasarkan Laporan Kualitas Udara Dunia IQAir 2023, Indonesia menempati peringkat ke-14 dengan kualitas udara terburuk di dunia (WHO, 2022). Pencemaran udara berdampak pada kesehatan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dampak kesehatan akibat pencemaran udara meliputi gangguan pada saluran pernapasan, penyakit kardiovaskular, gangguan perkembangan janin, penyakit kronis, dan penurunan fungsi paru-paru (Maharani & Aryanta, 2023).

Polusi udara di Balikpapan meningkat salah satunya karena penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor yang melonjak akibat pertumbuhan lalu lintas pada tahun 2022. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan, pada tahun 2022, kendaraan bermotor di Balikpapan didominasi oleh sepeda motor dengan jumlah mencapai 2.712.446 unit, yang terdiri dari sepeda motor solo, sepeda motor dengan kereta samping, sepeda motor roda tiga, skuter, motor trail, dan lainnya. Selain itu, terdapat 396.604 unit mobil barang, 382.219 unit mobil penumpang, 33.502 unit bus, dan 2.886 unit mobil khusus (Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan, 2023). Kemacetan lalu lintas di Balikpapan juga diperparah oleh banyaknya kendaraan bermotor dari daerah atau kota lain, terutama karena Balikpapan menjadi pintu gerbang menuju IKN.

Beberapa faktor mempengaruhi emisi gas buang kendaraan yaitu konsumsi bahan bakar campuran menunjukkan hasil bervariasi, dengan senyawa CO dan HC paling tinggi dihasilkan dari campuran bahan bakar Pertalite dibandingkan Pertamax (Mubin dkk, 2021). Nilai RON (*research octane number*) pada bahan bakar juga mempengaruhi efisiensi pembakaran di ruang bakar, yang berdampak pada hasil gas buang (Prasetyo, 2022). Perbedaan nilai oktan menghasilkan performa dan emisi gas buang yang bervariasi (Sebayang dkk, 2020). Suhu mesin yang meningkat mengurangi kerapatan udara dan kandungan oksigen, sehingga bahan bakar

tidak terbakar sempurna, menghasilkan senyawa nitrogen oksida (NO_x) karena suhu pembakaran tinggi dan kelebihan oksigen, serta senyawa HC dan CO dari pembakaran tidak sempurna akibat campuran bahan bakar yang terlalu gemuk atau kurus (Yusuf & Sutrisno, 2018). Faktor lain yaitu tahun perakitan kendaraan yang mempengaruhi emisi gas buang. Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2006, kendaraan bermotor yang dirakit pada atau setelah tahun 2007 memiliki ambang batas emisi CO sebesar 1,5% dan HC sebesar 200 *ppm*, sedangkan kendaraan yang dirakit sebelum tahun 2007 memiliki ambang batas emisi CO sebesar 4,5% dan HC sebesar 1200 *ppm* (Machmud, 2021). Kendaraan yang lebih tua, terutama yang kurang terawat, cenderung memiliki kinerja mesin yang menurun, menyebabkan pembakaran bahan bakar yang kurang efisien dan peningkatan emisi gas buang (Risman, dkk, 2020).

Selain itu, variasi kendaraan yang dilakukan oleh anak-anak milenial, seperti variasi penggunaan busi, knalpot, dan filter udara, dapat mempengaruhi komposisi gas buang. Penggunaan knalpot racing, misalnya, dapat menurunkan emisi HC dengan nilai rata-rata 710 *ppm* dibandingkan knalpot standar dengan 797 *ppm*, namun emisi CO lebih tinggi pada knalpot racing dengan nilai rata-rata 18% dibandingkan knalpot standar dengan 10,11% (Syaekhu dkk, 2022). Variasi busi seperti nikel, iridium, dan platinum menghasilkan emisi gas buang yang berbeda karena dirancang untuk meningkatkan daya dan torsi mesin, sehingga pembakaran lebih intensif (Prasetyo dkk, 2020). Penggunaan filter udara racing memungkinkan lebih banyak udara masuk ke mesin dibandingkan filter standar, meningkatkan pembakaran dan berdampak pada emisi gas buang, dengan filter standar memiliki nilai rata-rata HC 122 *ppm* dan CO 0,803%, sedangkan filter racing memiliki nilai rata-rata HC 142 *ppm* dan CO 0,754% (Fatkhuniam dkk, 2018). Oleh karena itu, monitoring emisi kendaraan menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang bangun alat uji emisi kendaraan yang portable dan efisien, menggunakan teknologi sensor canggih dengan mikrokontroler Arduino Uno dan ESP-01 sebagai modul Wi-Fi untuk mengirim data sensor ke ThingSpeak. Sensor MQ-135 dan MQ-9 dipilih karena kemampuannya dalam mendeteksi berbagai jenis gas polutan seperti nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC) dan oksigen (O₂).

Dengan mengintegrasikan kedua sensor ini, alat ini mampu memberikan data real-time mengenai kadar polutan yang dihasilkan oleh kendaraan. Data tersebut kemudian dapat

digunakan untuk menganalisis dan memonitor emisi kendaraan secara efektif, memungkinkan pengguna untuk melakukan tindakan korektif jika diperlukan. Pendekatan ini tidak hanya menawarkan solusi yang lebih ekonomis dibandingkan dengan alat uji emisi konvensional, tetapi juga memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam penggunaannya di berbagai lokasi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya pengurangan polusi udara, mendukung inisiatif keberlanjutan lingkungan, dan mendorong perkembangan teknologi hijau dalam bidang otomotif.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan untuk merakit alat uji emisi kendaraan *portable* ditunjukkan pada Tabel 1:

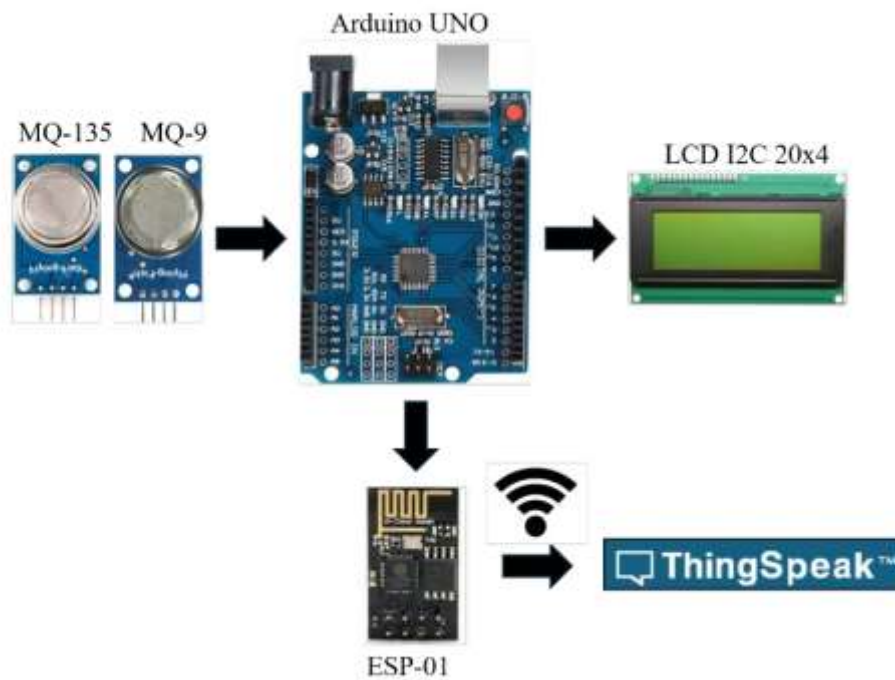
Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat	Spesifikasi
Arduino Uno	ATmega 328P
ESP	01
Sensor Gas	MG 135: O ₂ , CO ₂ , dan NO _x MQ-9: HC dan CO
Keypad	1 x 4
LCD I2C	20 x 4
Kabel jumper	<i>Male to female</i> dan <i>male to male</i>
Battery	Alkaline 9V
Box project	12.5 x 5 x 8.5 cm
Box battery	6.5 x 3.5 x 2cm
Obeng	<i>Plus (+)</i>
Laptop	HP
Kabel USB	<i>Type B</i>
Selang karet	30 cm
Software	Arduino IDE
Platform	<i>ThingSpeak</i>

Gambar 1 menunjukkan alat dan alur rangkaian alat untuk uji emisi kendaraan bermotor secara *portable*.

Sensor MQ-135 digunakan sebagai input yang digunakan untuk mengukur kadar gas buang kendaraan berupa O₂, CO₂, dan NO_x. Sensor MQ-9 digunakan sebagai input yang

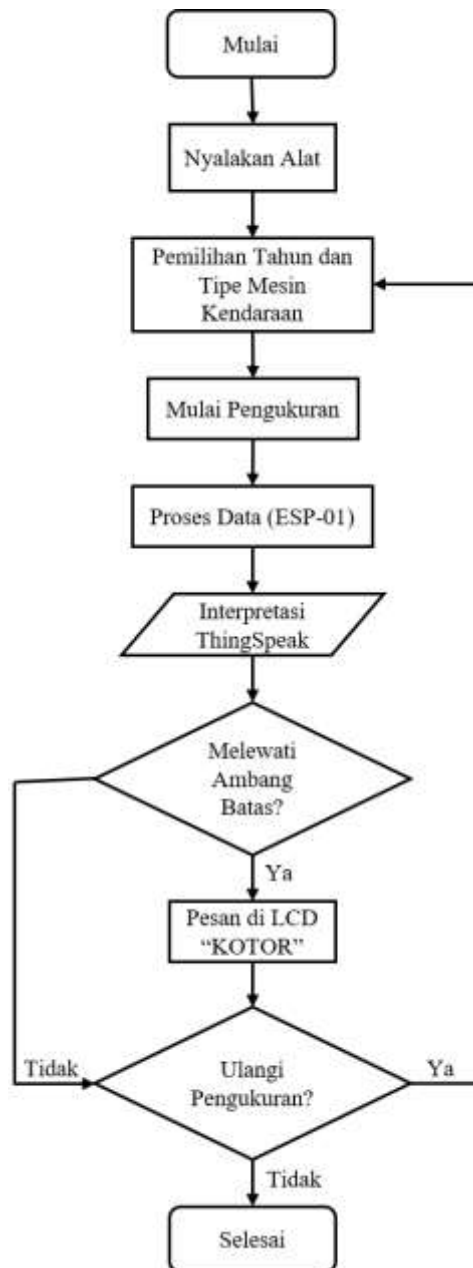
digunakan untuk mengukur kadar gas buang kendaraan berupa CO dan HC. Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler untuk menjalankan program dan memproses data inputan yang dibaca oleh sensor. ESP-01 berfungsi sebagai modul Wi-Fi berbasis ESP8266 yang digunakan untuk mengirim data sensor ke Thingspeak. Kemudian LCD digunakan sebagai output menampilkan hasil pengukuran dari sensor MQ-135 dan MQ-9. Untuk terakhir, *Thingspeak* sebagai platform penerima data sensor yang telah dikirim melalui ESP-01 dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan numeric secara real-time.



Gambar 1. Rangkaian perangkat keras dan *software* pada alat uji emisi kendaraan bermotor *portable*.

Saat melakukan perancangan alat, Arduino harus diprogram agar dapat membaca nilai kadar gas oleh sensor MQ-135 dan MQ-9 lalu ditampilkan pada LCD. Gambar 2 menunjukkan *flowchart* cara kerja alat. Mula-mula alat dinyalakan, kemudian dilakukan pemilihan tahun dan tipe kendaraan yang akan diuji emisi gas buangnya dengan menggunakan *keypad*. Setelah itu sensor akan menghitung kadar gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan. ESP-01 akan menerima data dari sensor dan dikirimkan ke *platform Thingspeak*. Data yang diterima akan ditampilkan pada *Thingspeak* dalam bentuk grafik dan *numeric* secara *real-time*. Jika kadar gas buang melebihi ambang batas yang ditetapkan maka akan muncul pada LCD yaitu HC: KOTOR atau CO: KOTOR, sebaliknya jika kadar gas buang dibawah ambang batas maka akan muncul pada LCD

HC: BERSIH dan CO: BERSIH. Setelah itu akan muncul pilihan apakah perlu mengulang pengukuran emisi gas buang kendaraan, jika iya maka menu akan kembali ke proses pemilihan tahun dan tipe kendaraan, jika tidak maka pengukuran selesai.



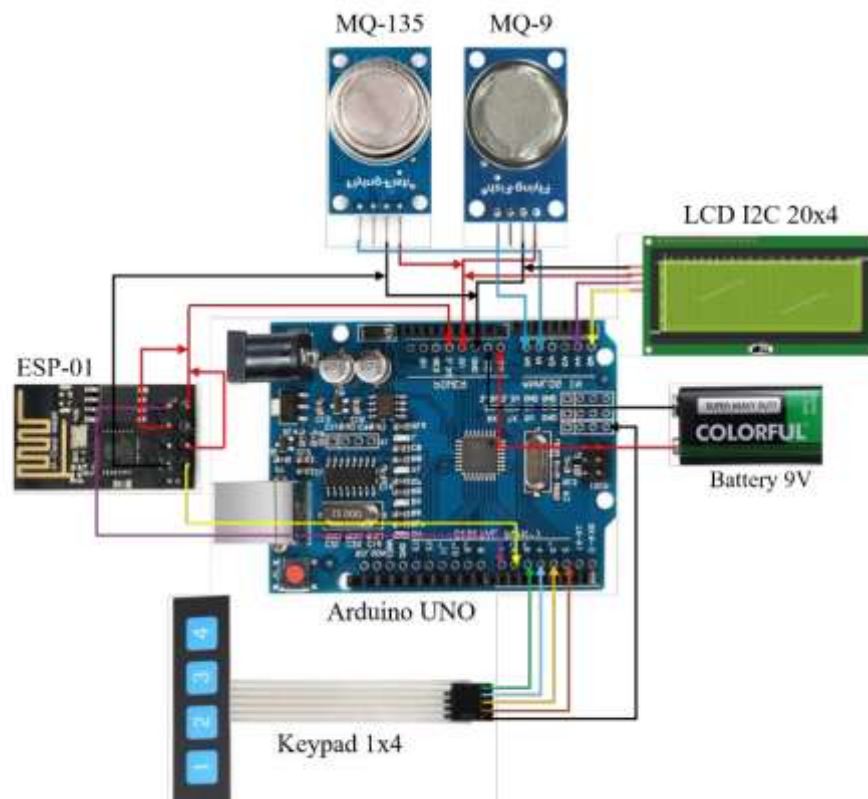
Gambar 2. Flowchart alur kerja alat uji emisi kendaraan bermotor.

Pada saat akan memulai pengukuran, ditemukan pembacaan sensor awal tidak dalam keadaan nol. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan pengukuran tidak nol saat memulai pengukuran, yaitu disebabkan oleh kondisi lingkungan yang berbeda-beda, sensor mengalami *drift*

atau perubahan output yang terjadi seiring waktu meskipun konsentrasi gas tidak berubah, dan pengaturan yang tidak tepat dari sensor tersebut. Sehingga saat akan melakukan pengukuran mendapatkan nilai awal pembacaan polutan, yaitu CO sebesar 0.05%, HC sebesar 58.60 ppm, NO_x sebesar 0.60 ppm, CO₂ sebesar 0.33%, dan O₂ sebesar 0.03%

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Alat uji emisi *portable* dirangkai sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dibuat. Dengan dimensi box panjang 12.5cm, tinggi 5cm, dan lebar 8.5cm. Memiliki 2 sensor gas MQ-9 dan MQ-135 untuk mengukur kandungan HC, CO, NO_x, CO₂, dan O₂ pada kendaraan bermotor. Dilengkapi layar LCD (Liquid Crystal Display) 20x4 yang berfungsi sebagai monitor gas dan keypad 1x4. Alat ini menggunakan battery kotak 9V sebagai sumber energi yang terhubung dengan pin Vin pada Arduino Uno. Data yang dihasilkan dari sensor MQ-9 dan MQ-135 juga dapat dipantau melalui platform *ThingSpeak* melalui *smartphone* maupun laptop dalam bentuk grafik. Skema alat uji emisi *portable* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema rangkaian alat uji emisi *portable*.

Komponen mikrokontroler terletak pada bagian dalam *box* alat sehingga membuat mikrokontroler lebih aman dan lebih mudah dalam mengkoneksikan *wiring* pada rangkaian alat

ini. Terdapat *keypad* 1x4 yang terletak pada sisi kiri *box* alat yang berguna sebagai inputan data, 1 sebagai tombol *ok*, 2 sebagai tombol *reset*, 3 sebagai tombol *up*, dan 4 sebagai tombol *down*. Pada rangkaian ini posisi sensor berada di atas *box* alat yang dilindungi oleh sebuah wadah yang terhubung oleh selang fungsinya agar saat melakukan pengukuran, sensor tidak terkontaminasi oleh paparan gas lain dari luar, sehingga membuat bacaan sensor tidak stabil. Menggunakan baterai 9V sebagai sumber energi yang terletak di belakang *box* alat yang berguna untuk memberikan kemudahan dalam penggunaannya di berbagai lokasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Alat Uji Emisi Kendaraan Bermotor *Portable* yang ditunjukkan pada LCD.

Pengujian alat yang telah dibuat dilakukan dengan memasukkan selang ke knalpot dan mengukur gas buang kendaraan yang dikeluarkan oleh motor XX 2021, dilakukan sepuluh percobaan untuk mengukur kadar CO, HC, NO_x, CO₂, dan O₂. Sebelum pengujian, terukur nilai error untuk setiap parameter yaitu, CO sebesar 0.05%, HC sebesar 58.60 ppm, NO_x sebesar 0.60 ppm, CO₂ sebesar 0.33%, dan O₂ sebesar 0.03%. Nantinya nilai yang terukur akan dikurangkan dengan nilai yang terbaca sebelum melakukan pengukuran. Hasil uji emisi untuk motor XX 2021 menggunakan metode pengujian mesin *idle* untuk menguji kestabilan pembacaan alat, menunjukkan beberapa hasil pengukuran. Nilai yang dihasilkan oleh sensor MQ-9 untuk gas CO dan HC adalah, nilai CO (Karbon Monoksida) mendapatkan hasil berkisar antara 0.57% hingga 0.67%, dengan rata-rata 0.61%, menunjukkan bahwa kadar CO relatif rendah dan konsisten.

Untuk HC (Hidrokarbon), nilainya berkisar antara 668.04 ppm hingga 791.10 ppm, dengan rata-rata 722.77 ppm, yang menunjukkan adanya variasi signifikan dalam jumlah hidrokarbon yang tidak terbakar sempurna.

Nilai yang dihasilkan oleh sensor MQ-135 untuk gas NO_x, CO₂ dan O₂ adalah, nilai NO_x (Nitrogen Oksida) mendapatkan hasil bervariasi dari 1.24 ppm hingga 2.12 ppm, dengan rata-rata 1.84 ppm, menunjukkan adanya fluktuasi yang cukup besar dalam jumlah NO_x yang dihasilkan. Nilai CO₂ (Karbon Dioksida) berkisar antara 0.09% hingga 1.17%, dengan rata-rata 0.95%, menunjukkan variasi dalam efisiensi pembakaran mesin. Terakhir, nilai O₂ (Oksigen) dalam gas buang berkisar antara 0.09% hingga 0.98%, dengan rata-rata 0.18%, menunjukkan bahwa pembakaran umumnya efisien dengan sedikit oksigen yang tersisa. Tabel 2 menunjukkan hasil stabilitas alat dengan 10 kali pengukuran berulang menggunakan Motor XX tahun 2021 dengan kondisi penggantian oli 3 bulan sekali.

Tabel 2. Hasil pengukuran stabilitas alat menggunakan Motor XX tahun 2021.

Percobaan ke-	CO (%)	HC (ppm)	NO _x (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	Keterangan
1	0.59	691.48	1.80	0.99	0.09	Hasil emisi CO dan HC tidak melebihi ambang batas yang telah ditetapkan
2	0.60	697.34	1.24	0.99	0.98	
3	0.67	791.10	1.88	1.03	0.09	
4	0.61	720.78	1.80	0.99	0.09	
5	0.60	703.20	1.74	0.96	0.09	
6	0.65	755.94	2.00	1.10	0.10	
7	0.57	668.04	1.78	0.98	0.09	
8	0.60	687.34	2.06	1.13	0.10	
9	0.65	767.66	2.12	1.17	0.11	
10	0.64	744.82	2.00	1.10	0.10	
Rata-rata	0.61	722.77	1.84	0.95	0.18	

Adapun untuk menghitung nilai ketidakpastian pada alat uji emisi kendaraan *portable* dengan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut:

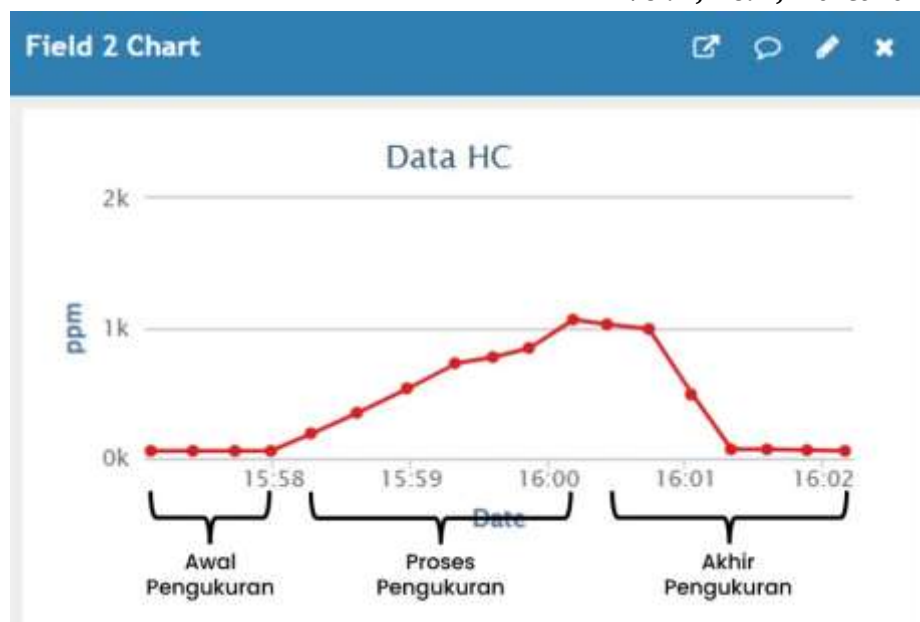
$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum x_i)^2}{n - 1}}$$

dimana n merupakan banyaknya pengukuran yang dilakukan, $\sum X_i^2$ merupakan jumlah dari semua nilai x_i yang telah dikuadratkan, dan $(\sum x_i)^2$ merupakan jumlah semua nilai x_i didalam data yang kemudian dikuadratkan. Dari hasil pengukuran berulang didapatkan ketidakpastian polutan CO, HC, NO_x, CO₂, dan O₂ masing-masing yaitu $(0.61 \pm 0.01)\%$; $(722.77 \pm 12.70) \text{ ppm}$; $(1.84 \pm 0.07) \text{ ppm}$; $(0.95 \pm 0.09)\%$; dan $(0.18 \pm 0.08)\%$. Selanjutnya peneliti mengambil sample berdasarkan merk dan tiga rentang tahun motor yang berbeda, yaitu lima motor dengan tahun rakitan dibawah 2010, lima motor dengan tahun rakitan 2010 – 2016, dan lima motor dengan tahun rakitan diatas 2016. Dari hasil uji emisi kendaraan tersebut menunjukkan bahwa motor yang lebih tua cenderung menghasilkan emisi yang lebih tinggi dibandingkan motor yang lebih baru. Pada motor dengan rakitan tahun di bawah 2010, terlihat kadar CO dan HC yang sangat tinggi yaitu 2.98% dan 3292.56 ppm. Motor dengan rakitan tahun di atas 2016 menunjukkan hasil yang jauh lebih baik dengan emisi yang sangat rendah yaitu 0.27% dan 316.44 ppm, ini menandakan pembakaran pada mesin lebih efisien.

Kondisi dan pemeliharaan kendaraan, termasuk jarak penggantian oli, sangat mempengaruhi tingkat emisi yang dihasilkan. Kendaraan yang lebih tua dan kurang terawat cenderung menghasilkan emisi yang lebih tinggi, sementara pemeliharaan yang rutin, seperti penggantian oli secara teratur, dapat membantu mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi pembakaran.

Pada penelitian ini IoT yang digunakan hanya sebagai monitoring dari hasil pengukuran sensor MQ-135 dan MQ-9. ESP-01 dihubungkan ke *platform ThingSpeak* agar dapat mengirim data dengan cara memasukkan kode khusus yang terdapat pada *ThingSpeak* untuk dimasukkan ke program ESP-01. Untuk mengirimkan data hasil pengukuran, ESP-01 harus terhubung ke internet melalui Wi-Fi yang telah ditentukan

Gambar 5 merupakan grafik dari pengukuran polutan HC pada kendaraan motor XX 2010. Pada awal pengukuran, nilai HC berada pada nilai 58.60 ppm. Pada proses pengukuran, nilai HC mulai meningkat secara bertahap, ini menunjukkan adanya peningkatan emisi hidrokarbon dari kendaraan sampai dengan titik puncak HC yaitu 1085.55 ppm. Setelah mencapai puncak, nilai HC mulai menurun dengan cepat dan kembali ke nilai rendah yaitu 58.60 ppm, ini menunjukkan akhir pengukuran emisi gas HC.



Gambar 5. Tampilan grafik pengukuran HC pada *ThingSpeak*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan pemeriksaan perawatan rutin untuk kendaraan lama dapat mengurangi polusi udara perkotaan secara signifikan. Selain itu, pengembangan perangkat uji emisi portabel dapat memfasilitasi pemantauan dan pengendalian polusi jangka panjang.

KESIMPULAN

Pada alat uji emisi kendaraan portable berbasis Arduino Uno dan ESP-01 digunakan sensor MQ-9 untuk mengukur gas HC dan CO, MQ-135 untuk mengukur gas NO_x, CO₂, dan O₂. Hasil pengujian alat pada sepeda Motor XX tahun 2021 menunjukkan nilai yang stabil dan efisien dalam pengukuran. Dengan rata-rata nilai gas CO, HC, NO_x, CO₂, dan O₂, yaitu 0.61%, 723.71ppm, 1.84ppm, 0.92%, dan 0.18% serta ketidakpastian pengukuran yaitu 0.01%, 12.70ppm, 0.07ppm, 0.09% dan 0.08%. Pada pengujian emisi motor dengan rentang tahun keluaran yang berbeda yaitu < 2010, 2010-2016, dan > 2016 menunjukkan bahwa hasil kendaraan yang lebih tua cenderung memiliki emisi gas buang yang lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan keluaran baru, hal ini dikarenakan motor keluaran lama memiliki pembakaran yang kurang efisien serta perawatan yang tidak optimal.

PENGAKUAN DAN UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada segala pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik hingga terbitnya jurnal.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan. (2023). Kota Balikpapan Dalam Angka 2023. Diakses pada <https://balikpapankota.bps.go.id/id/publication/2023/02/28/7f767aa781a57431824886b2/kota-balikpapan-dalam-angka-2023.html>.
- Fatkhuniam, A., Wijaya, M. B. R., & Septiyanto, A. (2018). Perbandingan Penggunaan Filter Udara Standar dan Racing Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Mesin Sepeda Motor Empat Langkah. *J. Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 3(2), 130-137.
- Machmud, S. (2021). Analisis Pengaruh Tahun Perakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *J Mesin Nusantara*, 4(1), 21-29.
- Maharani, S., & Aryanta, W. R. (2023). Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan dan Cara meminimalkannya Risikonya. *J. Ecocentrism*, 3(2), 47-58.
- Mubin, N., Anam, K., & Towijaya. (2021). Pengaruh Campuran Bahan Bakar Pertamax dan Peralite terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Sepeda Motor Honda Supra X 125cc Tahun 2015. *Biomedical and Mechanical Engineering J*. 1(1), 30-34.
- Prasetyo, A., & Rifdarmon. (2020). Analisis Variasi Penggunaan Busi pada Sepeda Motor Yamaha Vixion Tahun 2015 terhadap Daya, Torsi dan Emisi Gas Buang. *Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 1(1), 31-38.
- Prasetyo, D. H. T., Muhammad, A., Baihaqi, M. A., Abdillah, H., & Supraptiningsih, L. K. (2022). Pengaruh Nilai RON pada Bahan Bakar Jenis Bensin Terhadap Emisi Gas Buang. *Cermin J Penelitian*, 6(2), 561-571.
- Risman, Warsiti, & Ristiawan, A. (2020). Kajian Kualitas Ambien Udara di Kota Semarang. *Wahana Teknik Sipil*, 25(2), 148-157.
- Sebayang, A. H., Ibrahim, H., Dharma, S., Silitonga, A. S., & Ginting, B. (2020). Pengaruh Campuran Bahan Bakar Peralite-Bioetanol Biji Sorghum pada Mesin Bensin. *J Teknosains*, 9(2), 91-180.
- Syaekhu, A., Apriyanto, N., & Setiawan, T. (2022). Pengaruh Penggunaan Knalpot Standar dan Knalpot Racing R9 Terhadap Emisi Gas Buang dan Tingkat Kebisingan Pada Motor Vixion 2013. *Journal of Vocational Education and Automotive Tech.*, 4(1), 153-164.
- WHO Media Team. (2022). Billions of people still breathe unhealthy air: new WHO data. Diakses pada <https://www.who.int/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>.
- Yusuf, N., & Sutrisno, D. (2018). Analisis Pengaruh Suhu Mesin Terhadap Emisi Gas Buang Pada Kondisi Torsi dan Daya Maksimum. *Rang Teknik J.*, 1(2), 235-239.