

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengembangan, pemrograman, dan uji kinerja pada penelitian yang telah dilakukan mengenai Pengembangan Alat Ukur Emisi Gas Buang Dalam Kondisi Berkendara, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengembangan alat ukur emisi gas buang dalam kondisi berkendara telah berhasil dirancang dan direalisasikan. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama yang menghubungkan sensor MICS-6814, TGS-2611, Neo-M8N GPS, Thermocouple Type-K dalam satu otak sistem berbasis mikrokontroler ESP32. Sistem ini juga sudah dikembangkan menggunakan aplikasi MIT App Inventor yang terintegrasi dengan Firebase dan Google Spreadsheet untuk melakukan pemantauan dan sebagai media penyimpanan data secara real-time. Pemrograman ESP 32 menggunakan Arduino IDE telah berhasil dilakukan, setiap sensor difungsikan untuk membaca data secara berkala, data tersebut otomatis ditampilkan pada aplikasi MIT App Inventor dan Firebase dan sinkronisasi otomatis ke Spreadsheet setiap 1 detik selama durasi ± 15 menit.
2. Pada Uji kinerja sensor gas yang dilakukan secara statis dengan Gas Analyzer KOREA IYASAKA AET-4000 Q, menunjukkan hasil nilai error yang baik, namun demikian, terdapat peningkatan kinerja terutama untuk NOx. Berdasarkan uji kinerja alat, nilai error pada masing-masing sensor adalah sebagai berikut:
 - a. Sensor MICS-6814 3,89% untuk CO, sementara itu NOx belum dapat diukur untuk tingkat errornya, karena kendala dalam memperoleh alat pembanding yang tersedia.
 - b. Sensor TGS-2611 1,19% untuk HC.
 - c. Sensor Neo-M8N GPS yaitu 1,186%.
 - d. Sensor Thermocouple Type-K yaitu 0,695%.

Rata-rata waktu respon sensor adalah 0,3866 detik, hasil ini menandakan berhasil untuk mendeteksi perubahan emisi secara real-time saat kendaraan berjalan. Alat ukur emisi gas buang dalam kondisi berkendara yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang baik pada saat pengujian di jalan

raya. Dengan demikian, alat ini mampu merekam data emisi gas buang pada empat segmen jalan dan menggambarkan pola emisi yang dipengaruhi oleh kondisi berkendara yang menunjukkan bahwa alat dikatakan layak untuk pengukuran emisi gas buang.

V.2. Saran

Pada penelitian ini masih diperlukannya pengembangan dan penyempurnaan yang lebih mendalam. Berikut adalah saran untuk penyempurnaan pada penelitian selanjutnya:

1. Dalam proses kalibrasi, untuk melakukan kalibrasi sensor secara rutin dengan menggunakan Gas Analyzer Berstandar yang bersertifikasi dan penambahan kalibrasi pada gas NO_x, agar hasil pembacaan sensor tetap stabil dan akurat dalam berbagai kondisi pengujian.
2. Hasil pengukurannya dapat disetarakan dengan metode pengujian standar WLTP yang berupa parameter pengukuran, metode pengambilan data, dan satuan hasil pengukuran, dengan demikian, alat dapat memiliki acuan pembandingan yang lebih sesuai dengan standar pengujian emisi kendaraan.
3. Penambahan pelindung atau housing tambahan pada bagian luar alat agar sensor tetap aman dari pengaruh lingkungan.
4. Penambahan sensor *Exhaust Flow Meter* untuk mengetahui laju aliran gas buang pada pipa knalpot yang lebih akurat dalam perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamiak, B., Szczotka, A., Woodburn, J., dan Merkisz, J. 2023. *Comparison of exhaust emission results obtained from Portable Emissions Measurement System (PEMS) and a laboratory system. Combustion Engines*, 195(4), 128–135. <https://doi.org/10.19206/CE-172818>
- Ardiansyah, A. 2018. *Perancangan Inertial Navigation System Menggunakan Inertial Measurement Unit 10 DoF pada Diver Propulsion Vehicle*.
- Arman, dan Muhammad, A. K. 2018. *Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang Yang Terintegrasi Komputer Untuk Kendaraan Ringan. Bidang Ilmu Teknik Mesin*, 2018, 232–238. www.bps.go.id
- Astuti, I. 2022. *Penggunaan Software Simulasi Logic Circuit Designer (LCD) Sebagai Media Belajar Materi Gerbang Logika Untuk Meningkatkan Keterampilan*. 01(April), 1–4.
- Council, I. 2014. *World Harmonized Light Duty Vehicles Test Procedure (WLTP)*. November 2013.
- Davison, J., Bernard, Y., Borken-kleefeld, J., Farren, N. J., Hausberger, S., Sjödin, Å., Tate, J. E., Vaughan, A. R., dan Carslaw, D. C. 2020. *Science of the Total Environment Distance-based emission factors from vehicle emission remote sensing measurements. Science of the Total Environment*, 739, 139688. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139688>
- Fatmi, S. N., dan Mubarak, A. 2025. *Efektivitas Program Uji Emisi Kendaraan Mengadapi Polusi Udara di Kota Padang dalam*. 1, 1–12.
- Firdaus, F., dan Ismail, I. 2020. *Komparasi Akurasi Global Positioning System (GPS) Receiver U-blox Neo-6M dan U-blox Neo-M8N pada Navigasi Quadcopter. Elektron : Jurnal Ilmiah*, 12(1), 12–15. <https://doi.org/10.30630/eji.12.1.137>
- Giechaskiel, B., Melas, A., Franzetti, J., Valverde, V., Clairotte, M., dan Suarez-bertoa, R. 2024. *Measurement of Light-Duty Vehicle Exhaust Emissions with Light Absorption Spectrometers*.
- Hasibuan, A., dan Hakim, L. 2020. *Analisis Regresi Alat Ukur Emisi Gas Karbon Monoksida Berbasis Arduino Uno. EduFisika*, 5(01), 8–15.

<https://doi.org/10.22437/edufisika.v5i01.9123>

- Hidayat, M. M., Santoso, A. D., dan Rahmawati, M. 2024. *Rancang Bangun Sistem Monitoring Cuaca Berbasis Google Spreadsheet Untuk Nelayan Di Wilayah Pesisir Pantai. Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika (JTMEI)*, 3(2), 11–27.
<https://ejurnal.politeknikpratama.ac.id/index.php/jtmei/article/view/3748>
- Indah, N., Pangestu, D. A., Utomo, S. B., dan Youlia, R. P. 2023. *Development of a Portable Motor Vehicle Emission Test System Based on Arduino With Android Interface. International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials*, 5(2), 43.
<https://doi.org/10.22441/ijimeam.v5i2.18832>
- Indonesia, K. L. H. dan K. R. 2017. *Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru kategori M, Kategori N, dan Kategori O (Nomor 554)*.
- Indriyanto, C., dan Metere, S. 2021. *Hot Plate Magnetic Stirrer dengan Tampilan Temperatur dan Kecepatan Motor*. 2(1), 25–44.
- Ismiyati, I., Marlita, D., dan Saidah, D. 2014. *Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 1(3), 241. <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v1i3.23>
- Juanda, Z. 2019. *Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Dengan Penampil Smartphone Android Berbasis Arduino Uno*. -. http://repository.umsu.ac.id/bitstream/handle/123456789/7969/SKRIPSI_ZIA_JUANDA.pdf;jsessionid=EAAB91EA09FED8ECD18EC23476EDC079?sequence=1
- Loto, R. T. 2021. *Corrosion resistance study of 439L ferritic stainless steel subjected to high temperature variation Corrosion resistance study of 439L ferritic stainless steel subjected to high temperature variation. Cogent Engineering*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1893623>
- Luján, J. M., Bermúdez, V., Dolz, V., dan Monsalve-serrano, J. 2018. *An assessment of the real-world driving gaseous emissions from a Euro 6 light-duty diesel vehicle using a portable emissions measurement system. Atmospheric Environment*, 174(July 2017), 112–121.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.056>

- Lutfie, M., Kadir Muhammad, A., KHA Dahlan No, J., Teknik Mesin, J., Teknik, F., dan Negeri Ujung Pandang Jalan Perintis Kemerdekaan KM-, P. 2023. *Pengembangan sistem pengukuran emisi mobile pada kendaraan bermotor berbasis mikrokontroler. Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 2(2), 63–72.
- Makki, S. 2023. *Mengenal Standar Emisi Euro 4, 5, dan 6*. CNN Indonesia. <https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20230831114211-579-992851/mengenal-standar-emisi-euro-4-5-dan-6>
- Mei, H., Wang, L., Wang, M., Zhu, R., Wang, Y., Li, Y., Zhang, R., Wang, B., dan Bao, X. 2021. *Characterization of exhaust co, hc and nox emissions from light-duty vehicles under real driving conditions. Atmosphere*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/atmos12091125>
- Mevia, C. A. 2022. *Alat Monitoring Kualitas Udara di Ruangan Intensif Perawatan menggunakan Arduino*.
- Mintarsih, M. 2023. *Pengujian Black Box Dengan Teknik Transition Pada Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web Dengan Metode Waterfall Pada SMC Foundation. Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 5(1), 33–35. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v5i1.727>
- Mohammad Daffa Ananda, M. D. A., Yuliarman Saragih, Y. S., Ridwan Satrio Hadikusuma, R. S. H., dan Ahmad Fadhlul Kamal, A. F. K. 2023. *Design of Smart Agricultural Systems Using MIT App and Firebase. Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 22(2), 183–196. <https://doi.org/10.31358/techne.v22i2.366>
- Nations, U. 2015. *Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and / or be Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions * Addendum 82 : Regulation No . 83. March 1958*.
- Nizam, M. N., Haris Yuana, dan Zunita Wulansari. 2022. *Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767–772. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>

- Nurlinda, dan Rusmala, R. 2021. *Rancang Bangun Ikat Pinggang Cerdas Sebagai Alat Bantu Tunanetra Berbasis Mikrokontroler Arduino*. *D'computare: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11(2), 18–26. <https://doi.org/10.30605/dcomputare.v11i2.15>
- Prasetyo, H. A. 2025. *perancangan alat ukur emisi gas buang kendaraan bermotor dengan metode real driving emission test*.
- Pratama, A. F., Sulistiyanto, S., dan Setyobudi, R. 2023. *Sistem Monitoring Smart Klinik Berbasis Internet Of Things (IOT)*. *JEECOM Journal of Electrical Engineering and Computer*, 5(1), 24–30. <https://doi.org/10.33650/jeecom.v5i1.4666>
- Purwadi, A., Suhandi, S., dan Enggarsasi, U. 2020. *Urban air pollution control caused by exhaust gas emissions in developing country cities in public policy law perspective*. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 31–36. <https://doi.org/10.32479/ijeep.8337>
- Putra, O. A., Firdaus, dan Hersyah, M. H. 2016. *Identifikasi Aroma Teh Dengan E-Nose Menggunakan*. *Prosiding Semnastek, 1*, 1–6.
- Raihan, Muhammad, Novriyenni, R. S. 2025. *Rancang Bangun Sistem Monitoring Emisi Gas Buang Pada Ruang Parkir Bawah Tanah Gedung Perkantoran Menggunakan Internet of Things (IoT)*. 3(1), 7–14.
- Ramadhan, A. O., Tolle, H., dan Fanani, L. 2018. *Pembangunan Modul Penunjang Pembelajaran di Kelas Untuk Aplikasi Brawijaya Messenger Dengan Platform Firebase*. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(4), 1630–1637. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Ravi, S. S., Osipov, S., dan Turner, J. W. G. 2023. *Impact of Modern Vehicular Technologies and Emission Regulations on Improving Global Air Quality*. *Atmosphere*, 14(7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/atmos14071164>
- Rinaldo, S. 2023. *Sistem Monitoring Pencemaran Lingkungan Hidup Berbasis Internet Of Things (IOT)*. *JUPITER (Jurnal Penelitian Ilmu dan Teknik ...)*, 153–164. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/jupiter/article/view/5227%0Ahttps://jurnal.polsri.ac.id/index.php/jupiter/article/download/5227/2595>

- Saeful Bahri , Haris Isyanto, Z. F. 2016. *Rancang Bangun ALat Ukur Emisi Pada Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler. Elektum, 12(1), 1–13.* <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/elektum/article/view/879>
- Saputro, H. I., Agus, E., dan Yuminarti, U. 2022. *Analisis emisi gas buang kendaraan bermotor (angkutan umum penumpang) di Kabupaten Manokwari. 5(1), 35–47.*
- Sejarah Bandar Udara Tjilik Riwut. 2019. BAB IIPdf. In *Αγαη* (Vol. 8, Nomor 5, hal. 55).
- Shehata, A. B., Askar, A. R. Al, Yami, N. H. Al, Owaysi, A. S. Al, dan Alharbi, S. K. 2024. *Calibration of CO and CO2 Monitors Used in Periodic Inspection of Vehicles at Fixed Stations for Environmental Control. Green and Sustainable Chemistry, 14(02), 29–41.* <https://doi.org/10.4236/gsc.2024.142003>
- Shoemaker, S. 2017. *Sensible driving saves more gas than drivers think.* OAK RIDGE National Laboratory. https://www.ornl.gov/news/sensible-driving-saves-more-gas-drivers-think?utm_source
- Simatupang, J. W., Santoso, H. F., Afristanto, S. D., Bramasto, R., dan Maheli, H. B. 2021. *Lampu Led Sebagai Pilihan Yang Lebih Efisien Untuk Lampu Utama Sepeda Motor. Jurnal Kajian Teknik Elektro, 6(1), 20–26.*
- Sugiyono. 2020. *Metode Penelitian Kuantitatif-Kualitatif Dan R&D* (Sutopo (ed.)). ALFABETA.
- Vojtisek-Lom, M., Zardini, A. A., Pechout, M., Dittrich, L., Forni, F., Montigny, F., Carriero, M., Giechaskiel, B., dan Martini, G. 2020. *A miniature Portable Emissions Measurement System (PEMS) for real-driving monitoring of motorcycles. Atmospheric Measurement Techniques, 13(11), 5827–5843.* <https://doi.org/10.5194/amt-13-5827-2020>
- Vojtišek, M., dan Kotek, M. 2014. *ESTIMATION OF ENGINE INTAKE AIR MASS FLOW USING A GENERIC SPEED-DENSITY METHOD. 7–15.*
- Zardini, dan Bonnel. 2020. *Real Driving Emissions Regulation* (Nomor KJ-NA-30123-EN-N (online),KJ-NA-30123-EN-E). <https://doi.org/10.2760/176284>
- Zhao, H., Shi, L., Xu, X., Qiu, J., Li, L., Wang, J., Yu, W., dan Ge, Y. 2024. *Impact of Shortening Real Driving Emission (RDE) Test Trips on CO, NOX, and*

PN10 Emissions from Different Vehicles. Sustainability (Switzerland), 16(21).

<https://doi.org/10.3390/su16219453>