

Pengembangan sistem pengukuran emisi *mobile* pada kendaraan bermotor berbasis mikrokontroler

Mukhtar Lutfie^{1*}, Arman², Abdul Kadir Muhammad³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Luwuk
Jl. K.H.A. Dahlan No. 79, Luwuk, Banggai

^{2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Jalan Perintis Kemerdekaan KM-10, Tamalanrea, Makassar
Email: *mukhtarluwuk09@@gmail.com

ABSTRAK

Pemantauan emisi kendaraan merupakan salah satu isu penting pemanasan global di kota-kota besar negara berkembang dewasa ini. Pengukuran besaran emisi kendaraan secara dinamis belum banyak dikembangkan. Penelitian ini menginovasikan sistem pengukuran emisi kendaraan *mobile*. Sensor digital didesain mampu mengukur 5 jenis polutan (CO₂, NO_x, Asap, CO dan HC) dengan akuisisi menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega tipe 2560 dan sistem perekaman Micro SD secara *real time*. Pengembangan sistem pengukur emisi ini memiliki nilai tambah: *portable*, adaptasi *post processing*, mudah kalibrasi, dan fleksibel diaplikasikan pada penelitian lebih lanjut.

Kata kunci: akuisisi, arduino mega 2560, *micro SD*, *real time*.

ABSTRACT

Monitoring vehicle emissions is one of the important issues of global warming in the big cities of today's developing countries. Measurements of vehicle emissions have not been developed dynamically. This study innovates mobile vehicle emissions measurement systems. Digital sensors are designed to measure 5 types of pollutants (CO₂, NO_x, Smoke, CO, and HC) with acquisition using Arduino Mega 2560 Microcontroller and MicroSD recording system in real-time. The development of this emission measurement system has added value: portable, post-processing adaptation, easy calibration, and flexibility applied to further research.

Keywords: *acquisition, arduino mega 2560, micro SD, real time.*

1. PENDAHULUAN

Seiring bertambahnya jumlah kendaraan bermotor, mengakibatkan pencemaran udara semakin meningkat. Hal ini menyebabkan kondisi udara tidak sepenuhnya bersih, karena gas buang hasil dari pembakaran kendaraan mengandung racun yang berbahaya bagi lingkungan, terutama karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Pada negara-negara yang memiliki standar emisi gas buang kendaraan yang ketat, ada 5 unsur dalam gas buang kendaraan yang akan diukur yaitu senyawa HC, CO, CO₂, O₂ dan NO_x. Sedangkan pada negara-negara yang standar emisinya tidak terlalu ketat, hanya mengukur 4 unsur gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO₂ dan O₂. Pemantauan emisi kendaraan merupakan salah satu isu penting pemanasan global di kota-kota besar negara berkembang dewasa ini. Namun demikian, terdapat keterbatasan untuk melakukan pengukuran besaran emisi kendaraan secara dinamis, khususnya terhadap jenis kendaraan truk. Kebanyakan alat pengukuran emisi sangat tidak efisien saat digunakan, karena alat pengukuran emisi tersebut tidak bisa digunakan dalam kondisi kendaraan sedang beroperasi.

Aly, et al. [1] meneliti sehat tidaknya kualitas udara ambien di 5 jalan arteri kota Makassar. CO dikategorikan berbahaya sedangkan NO₂ dan SO₂ dikategorikan baik. Lutfie, et al. [2] telah melakukan survei pencacahan volume lalu lintas selama 13 jam dari pukul 07:00-22:00 pada 34 ruas jalan utama di Kota Makassar. Hasil survei tersebut diekstraksi untuk mendapatkan komposisi emisi kendaraan truk dalam sehari. Analisis lebih lanjut terhadap komposisi emisi truk sepanjang hari dilakukan dengan menggunakan pendekatan analisis statistik untuk melihat fenomena komposisi emisi truk sepanjang hari apakah berbeda antar ruas-ruas jalan perkotaan yang disurvei. Hasil analisis data memberikan gambaran komposisi emisi truk terbesar adalah CO₂. Lutfie, et al. [3], menunjukkan penelitian emisi pada jalan rusak lebih tinggi dari pada jalan baik meskipun nilai emisinya tidak jauh berbeda. Ansar [4] meneliti gas emisi berbahaya terhadap kesehatan manusia dan berpotensi sebagai penyebab polusi (pengotoran) udara. Oleh karena itu, diperlukan pengawasan emisi gas yang dapat dilakukan dengan mengakses *real-time* dan online (terhubung dengan internet) melalui website. Implementasinya, Informasi emisi gas mudah diakses menggunakan sistem informasi online (terhubung dengan internet).

Suhendro [5] merencanakan sebuah sistem yang mampu mendeteksi kadar gas yang berbahaya yang kemudian digunakan untuk menentukan emisi dari kendaraan bermotor. Untuk mendeteksi gas tersebut digunakan sensor pas TGS 2442 dan TGS 2106 buatan Figaro yang sensitif terhadap kadar karbon monoksida dan oksida nitrogen. Data tegangan analog yang dikeluarkan oleh sensor TGS 2442 dan TGS 2106 akan diubah menjadi digital oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) yang kemudian diolah oleh mikrokontroler ATmega dan ditampilkan nilainya oleh LCD (*Liquid Crystal Display*). Nilai yang ditampilkan LCD adalah dalam bentuk ppm (*part per million*) yang ketika nilainya kurang dari ambang batas akan ditampilkan normal dan lebih dari ambang batas ditampilkan tidak normal. Aldhareva and Risfendra [6] membuat alat uji emisi *portable* kendaraan bermotor yang dibahas terdiri atas *hardware* dan *software*. Bagian *hardware* berupa konstruksi mekanik dan rangkaian elektronika yang terdiri dari rangkaian catu daya, sensor MQ-7, RTC DS1307, keypad 4x3, micro-SD card, lcd 16x2, buzzer dan Arduino UNO. Bagian *software* berupa pemrograman Arduino IDE dan *flowchart* sistem. Arman and Muhammad [7] merancang bangun alat uji emisi dengan 4 buah sensor dan software untuk mendeteksi empat jenis senyawa emisi gas buang masing-masing CO, HC, CO₂, dan Nox. Munthe [8] menyatakan emisi gas buang yang berlebihan menimbulkan polusi udara yang dapat mengganggu pernapasan makhluk hidup dan juga mengakibatkan terjadinya pemanasan global.

IVEM mengambil data emisi kendaraan pada keadaan statis. Uji emisi dengan mengambil data saat keadaan bergerak sangat sulit dilakukan di negara-negara berkembang. Dalam mendukung usaha pelestarian lingkungan hidup, negara-negara di dunia mulai menyadari bahwa gas buang kendaraan merupakan salah satu polutan atau sumber pencemaran udara terbesar, oleh karena itu gas buang kendaraan harus dibuat "sebersih" mungkin agar tidak mencemari udara. Untuk mengetahui tingkat emisi pada kendaraan bisa diukur dengan alat uji emisi. Namun kebanyakan alat yang ada sangat tidak efisien saat digunakan dan bentuknya besar, serta alat uji emisi tidak bisa digunakan dalam kondisi kendaraan sedang beroperasi. Oleh sebab itu diciptakanlah sistem monitoring emisi gas buang pada kendaraan, agar dapat mengetahui tingkat polutan terhadap nilai emisi gas buang kendaraan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Komponen dasar pengukuran emisi

Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan sirkuit induk pengembangan mikrokontroler berbasis Arduino menggunakan chip ATmega2560. Sirkuit ini mempunyai 54 buah digital I/O pin (15 pin di antaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (*serial port hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscillator* 16 MHz, sebuah port USB, *power jack* DC, *ICSP header*, dan tombol reset. Sirkuit ini sangat lengkap, karena mempunyai semua yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Penggunaannya mudah dan sederhana yaitu menghubungkan *power supply* dari USB ke PC atau dari adaptor AC/DC ke *jack* DC.

Pemrograman

Pemrograman board Arduino Mega 2560 dilakukan dengan menggunakan *Arduino Software* (IDE). Chip ATmega2560 yang terdapat pada Arduino Mega 2560 telah diisi program awal yang sering disebut *bootloader*. *Bootloader* tersebut yang bertugas untuk memudahkan anda membuat pemrograman sederhana berbasis *Arduino Software*, dengan menghubungkan Arduino dengan kabel USB ke PC/notebook, jalankan *Arduino Software* (IDE). Lebih mudah lagi, di dalam *Arduino Software* sudah diberikan banyak contoh program yang memanjakan anda dalam belajar mikrokontroler.

LCD 16x4

LCD 16x4 adalah sebuah komponen elektronika yang biasa menampilkan karakter maupun angka yang biasa dibaca oleh pengguna. Angka 16 sendiri merupakan jumlah karakter yang biasa di tampilkan dari kiri ke kanan, sedangkan angka 4 yaitu jumlah karakter yang biasa ditampilkan dari atas ke bawah.

Modul *Micro SD* (*Micro Storage Device Module*) dan *Micro SD* (*Micro Secure Digital*)

Modul *Micro SD* ini kompatibel dengan memory *Micro SD* yang merupakan memory paling kecil di pasaran. Modul ini akan sangat memperluas kemampuan yang dapat dilakukan Arduino. Modul ini memiliki antarmuka SPI dan *power supply* 5V yang kompatibel dengan Arduino UNO/Mega. Pin out sepenuhnya kompatibel dengan DFRobot's *IO Expansion Shield V5. Secure Digital* (SD) atau *MicroSD* Adalah sarana penyimpanan data pada alat elektronik seperti handphone dan format data pada *Micro SD* umumnya menggunakan FAT. *Micro SD* seringkali digunakan sebagai sarana penyimpan data pada telepon seluler (ponsel).

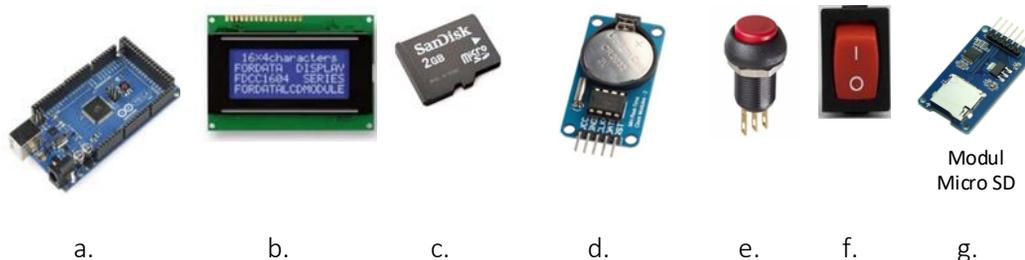
RTC Modul (*Real Time Clock*)

RTC Modul adalah sebuah modul yang dibentuk dari IC DS1307 yaitu komponen yang berisi sebuah jam. Kemudian modul tersebut dapat dihubungkan ke mikrokontroler untuk membaca data yang dihasilkan modul tersebut. Adapun data yang biasa dibaca yaitu jam, menit, detik, tanggal, bulan dan tahun

Push Button dan Saklar

Push Button adalah sebuah komponen yang berfungsi memutus dan menyambungkan rangkaian. Jika *push button* ditekan, maka rangkaian menerima perintah. Saklar adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk memutus dan menghubungkan rangkaian. Biasanya digunakan untuk memadamkan dan menyalakan rangkaian atau alat.

Komponen dasar pengukuran emisi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen dasar pengukuran emisi: a.arduino mega 2560, b. lcd 16x4, c. *Micro SD*, d. modul RTC, e. *push button*, f. saklar, g. saklar

Personal Computer (PC)

Personal komputer atau (PC) adalah seperangkat alat yang dapat memproses dan mengolah data. PC digunakan Laptop Samsung NP300E4X untuk mengolah, memproses dan mengunduh data ke dalam mikrokontroler Arduino. Data yang tersimpan di *Micro SD* dari alat pengukuran emisi *mobile*, dimasukkan ke PC melalui Card Reader sehingga data akan terbaca pada layar monitor menggunakan *software Microsoft Excell*.

Sensor Emisi Gas

Penggunaan sensor pada proses monitoring pembakaran motor sangatlah jarang ditemukan, oleh karena itu dalam perancangan sistem monitoring ini kita akan menggunakan sensor CO₂, NO_x, Asap, CO, HC untuk mendeteksi kandungan emisi gas buang pada kendaraan. Sensor tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor emisi gas a. sensor CO₂, b. sensor NO_x, c. sensor CO, d. sensor HC, e. sensor asap

Sensor CO₂

MQ 3 adalah sensor untuk mendeteksi gas CO₂. MQ 3 adalah salah satu transducer yang digunakan dalam rangkaian ini, sensor tersebut merupakan sensor kimia atau gas sensor. Secara umum sensor gas ini mempunyai konstruksi yang sama. Sensor ini mempunyai nilai resistansi R_s yang akan berubah bila terkena gas dan juga mempunyai sebuah pemanas (*heater*) yang berguna untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. *Output* tegangan pada hambatan R_L (*V_{Out}*) digunakan sebagai masukan pada Arduiono Mega. Nilai resistansi R_L dipilih agar konsumsi daya dari sensor (MQ) di bawah batas 15 mW, nilai MQ akan meningkat pada waktu nilai resistansi sensor R_S sama dengan nilai resistansi.

Sensor NOx

Sensor MQ 4 merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi gas NOx (Natrium Oksida) yang ukuran kesensitifannya mencapai 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5–40°C. Sensor MQ 4 ini tergolong kecil sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor. Disamping ukurannya yang sangat simpel, MQ 4 juga memiliki kesensitifan terhadap NOx yang sangat tajam, dan juga membutuhkan *power*/daya yang sedikit untuk mengoperasikannya. Namun harga sensor tersebut tergolong sedikit mahal. Tapi sensor atas berisi adsorben untuk mengurangi pengaruh gangguan gas. MQ 4 menampilkan sensor yang baik stabilitas jangka panjang dan menunjukkan baik daya tahan terhadap pengaruh kelembaban tinggi.

Sensor CO

Sensor MQ 7 merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi gas CO (Karbon Monoksida) yang ukuran kesensitifannya mencapai 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5–40°C. Ukuran sensor ini tergolong kecil, sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor.

Sensor HC

Sensor MQ 8 merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi gas HC (Hidro Karbon) yang ukuran kesensitifannya mencapai 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5–40°C. Ukuran sensor ini tergolong kecil, sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor.

Sensor Asap

Sensor MQ 135 merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi asap yang ukuran kesensitifannya 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5–40°C. Ukuran sensor ini tergolong kecil, sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Perakitan alat pengukuran emisi *mobile*

Alat pengukuran emisi *mobile* kendaraan bermotor digunakan untuk mengukur emisi dari gas buang pembakaran bahan bakar fosil (bahan bakar bensin dan solar) yang mampu melakukan pengukuran senyawa CO₂, NOx, CO, Asap dan HC. Perencanaan sistem dilakukan dengan merencanakan diagram blok yang menjelaskan alur dari sistem yang dibuat. Pada perancangan dan pembuatan sistem dilakukan perancangan dan pembuatan perangkat keras meliputi pembuatan alat pendukung sistem seperti *power supply*, rangkaian arduino, rangkaian *interface* penampilan data pada LCD, jam dan juga *Micro SD* untuk penyimpanan data. Baterai yang digunakan adalah sebuah baterai Litium Polymer yang berkekuatan besar dengan tipe *Battery Lipo Turnigy 2.2*. Cas iMAX B6 merupakan cas digunakan untuk men-*charger/discharge* secara cepat pada berbagai jenis baterai termasuk Battery Lipo. Alat pengukuran emisi *mobile* yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 3.



a.



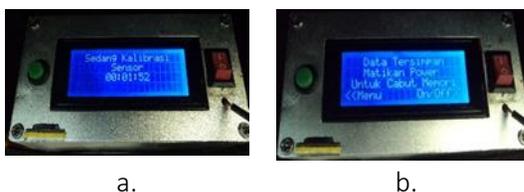
b.



c.

Gambar 3. a. alat pengukuran emisi *mobile*, b. Cas iMAX B6, c. Battery LIPO

Persiapan alat pengukuran emisi dapat dilihat pada Gambar 4.



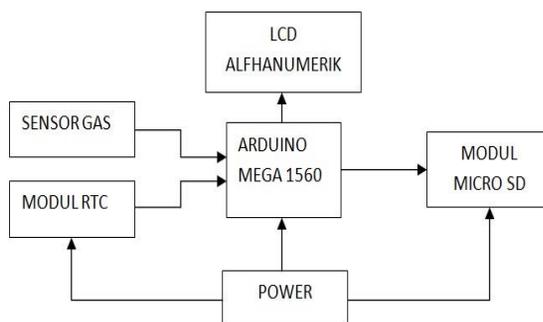
Gambar 4. a. Menghidupkan alat dengan menekan *on/off* dan kalibrasi selama 2 menit, b. Menyimpan data emisi setiap detik di *Micro SD*

3.2 Blok diagram sistem kerja alat

Sistem akan bekerja mendeteksi adanya gas buang berupa CO₂, NO_x, Asap, CO, HC pada mesin berbahan bakar solar. Untuk membuat perancangan dan pembuatan sistem detektor gas buang diperlukan beberapa bagian utama yaitu:

- Rangkaian arduino sebagai pemroses data
- LCD sebagai media penampilan
- Sensor gas dengan tipe MQ3, MQ4, MQ7, MQ8 dan MQ135
- Power supply
- *Micro SD*
- Modul *Micro SD*
- RTC Module
- Rangkaian yang mendukung sistem secara keseluruhan

Blok diagram sistem kerja alat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok diagram sistem kerja alat

3.3 Mekanisme kerja sistem dan perekaman

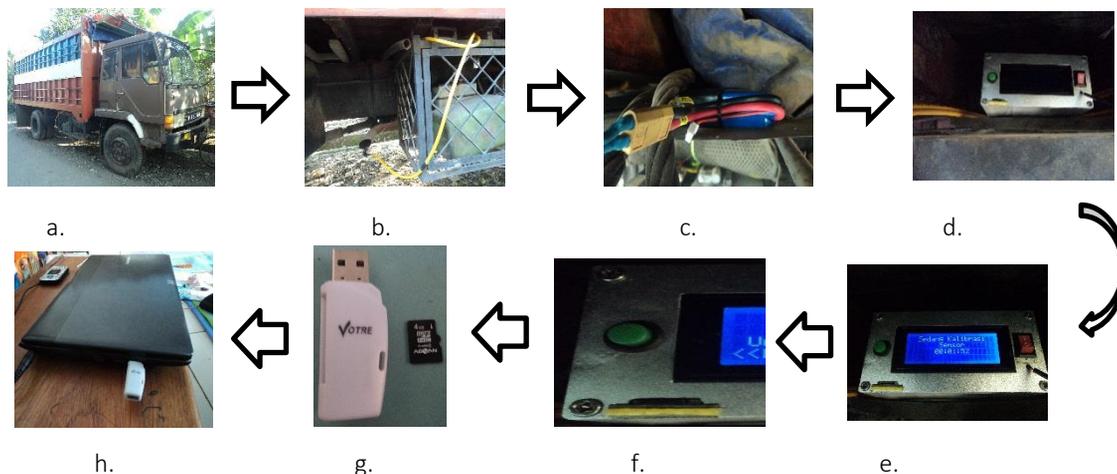
Mekanisme kerja sistem yaitu apabila gas buang berupa CO₂, NO_x, Asap, CO dan HC pada motor solar atau bensin masuk ke dalam alat pengukuran emisi, maka sensor MQ akan mendeteksi emisi gas tersebut. Emisi yang terdeteksi mempengaruhi perubahan hambatan pada sensor sehingga mempengaruhi tegangan *output* dari sensor tersebut, di mana tegangan keluar dari sensor berupa tegangan analog. *Output* dari sensor akan dimasukkan ke dalam *input* rangkaian mikrokontroler arduino untuk diubah menjadi data digital, setelah itu diteruskan ke dalam rangkaian kontrol untuk ditampilkan pada LCD dan disimpan ke dalam *Micro SD*.

Sensor yang digunakan pada rangkaian sistem pengukuran emisi *mobile* ini adalah MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8 dan MQ-135 berfungsi untuk mengontrol kadar emisi gas buang pada motor pembakaran bahan bakar fosil. Penelitian mengenai aensor gas yang digunakan dalam mendeteksi dan memantau kualitas gas berbahaya di udara adalah MQ135 (memberi indeks kualitas udara) dan MQ7 (mengukur konsentrasi gas batubara karbon monoksida) [9]. Sensor akan memantau kualitas udara, pembacaan akan direkam oleh NodeMCU dan data akan diberikan kepada kami di aplikasi seluler dan di *Thingspeak*.

MQ-3 adalah sensor gas yang berfungsi untuk mendeteksi gas seperti Alkohol
 MQ-4 adalah sensor gas yang berfungsi untuk mendeteksi gas seperti Metana (NOx)
 MQ-7 adalah sensor gas yang berfungsi untuk mendeteksi gas seperti Karbon Monoksida
 MQ-8 adalah sensor gas yang berfungsi untuk mendeteksi gas seperti Hidrogen
 MQ-135 adalah sensor gas yang berfungsi untuk mendeteksi gas seperti Asap

3.4 Trial dan kalibrasi

Pengujian dan analisa sangat penting bagi kehandalan sebuah alat, dari pengujian dan analisa dapat menjadikan alat menjadi lebih baik dan mengurangi kekurangan-kekurangan yang ada. Serta dapat membuktikan ketepatan sebuah alat. Pengujian dan analisa alat pendeteksi dilakukan dengan pengambilan data menggunakan sensor gas CO₂, NO_x, Asap, CO, dan HC. Uji coba pengukuran emisi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. (a) sampel kendaraan; (b) pemasangan alat uji emisi; (c) pemasangan batery lipo; (d) alat uji emisi siap digunakan; (e) menghidupkan alat dengan menekan on/off dan kalibrasi selama 2 menit; (f) menyimpandata di *Micro SD*; (g) *Micro SD* dimasukkan ke dalam card reader; (h)menyalin data ke Laptop Samsung NP300E4X

Sistem pengukuran emisi yang dikembangkan dapat mengukur besaran emisi kendaraan truk secara *real time*, di mana alat pengukuran tersebut mengukur besaran emisi gas buang kendaraan yang diserap dari knalpot. Keandalan sistem alat ukur telah diujicobakan pada dua jenis kendaraan truk tipe engkel ganda buatan 2011 berbahan bakar solar pada kondisi berjalan dan kondisi diam. Pengukuran emisi kendaraan dalam kondisi dinamis dan statis untuk setiap variasi kendaraan uji dilakukan dalam rentang waktu ± 5 menit. Selanjutnya, data-data hasil pengukuran dianalisis dengan

melakukan uji-uji statistik untuk memperlihatkan konsistensi kemampuan mengukur emisi dari alat ukur tersebut.

Dalam menjaga kuantitas maupun kualitas data perlu dilakukan beberapa tes antara lain *Test of Randomness* (Uji Reliabilitas) dan *Test of Internal Consistency* (Uji Validitas). Alat ukur penelitian yang dapat diterima sesuai standar adalah alat ukur yang telah melalui uji validitas dan reliabilitas data. Uji validitas menggunakan rumus *Pearson Product Moment*, lalu diuji dengan menggunakan uji t. Uji reliabilitas digunakan rumus *Spearman Brown*. Hasil uji validitas dan reliabilitas dapat dilihat pada Tabel 1-5.

Tabel 1. Uji Validitas dan Reliabilitas CO₂

No. Item	Koefisien Korelasi	Harga tHitung	Harga t Tabel	Keputusan	Harga r ₁₁	Harga r Tabel	Keputusan
1	0,888	30,652	1,645	Valid	0,941	0,125	Valid
2	0,131	2,086	1,645	Valid	0,231	0,125	Valid

Tabel 2. Uji Validitas dan Reliabilitas NOx

No. Item	Koefisien Korelasi	Harga tHitung	Harga t Tabel	Keputusan	Harga r ₁₁	Harga r Tabel	Keputusan
1	0,970	62,864	1,645	Valid	0,985	0,125	Valid
2	0,817	22,411	1,645	Valid	0,899	0,125	Valid

Tabel 3. Uji Validitas dan Reliabilitas Asap

No. Item	Koefisien Korelasi	Harga tHitung	Harga t Tabel	Keputusan	Harga r ₁₁	Harga r Tabel	Keputusan
1	0,979	75,657	1,645	Valid	0,989	0,125	Valid
2	0,417	7,267	1,645	Valid	0,588	0,125	Valid

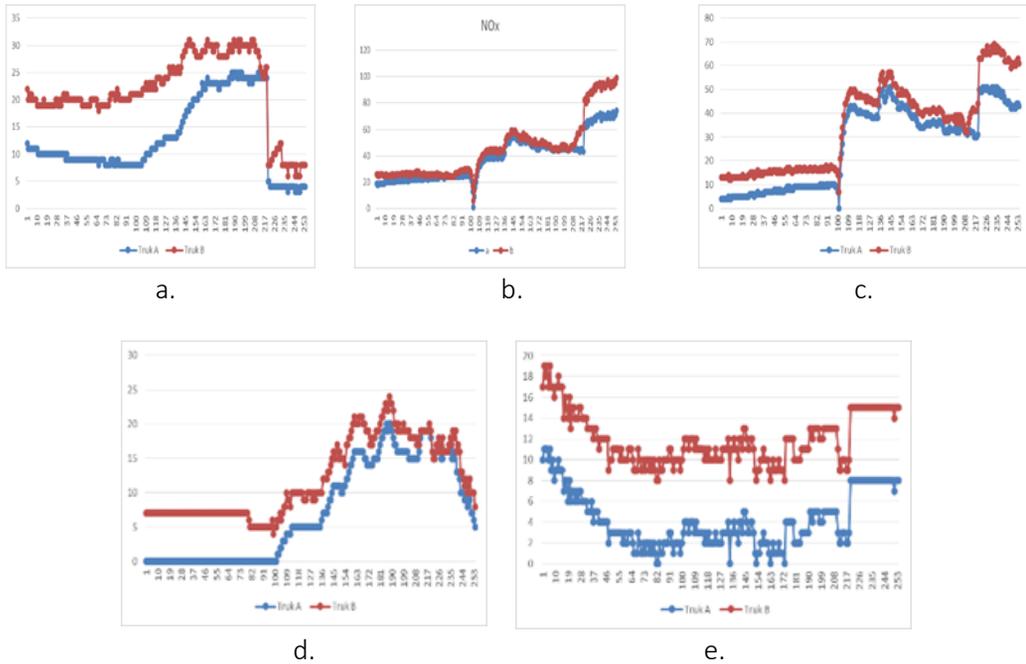
Tabel 4. Uji Validitas dan Reliabilitas CO

No. Item	Koefisien Korelasi	Harga tHitung	Harga t Tabel	Keputusan	Harga r ₁₁	Harga r Tabel	Keputusan
1	0,992	123,185	1,645	Valid	0,996	0,125	Valid
2	0,320	5,355	1,645	Valid	0,485	0,125	Valid

Tabel 5. Uji Validitas dan Reliabilitas HC

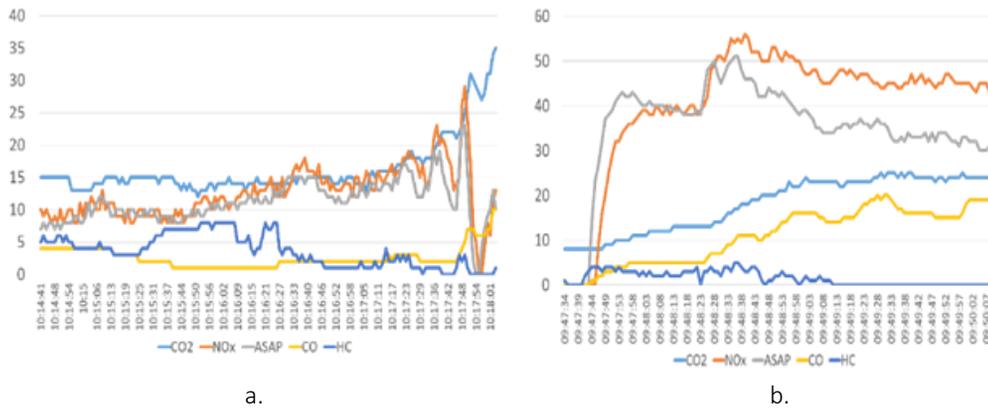
No. Item	Koefisien Korelasi	Harga tHitung	Harga t Tabel	Keputusan	Harga r ₁₁	Harga r Tabel	Keputusan
1	0,932	40,728	1,645	Valid	0,965	0,125	Valid
2	0,114	1,822	1,645	Valid	0,205	0,125	Valid

Hasil-hasil analisis terhadap keandalan alat ukur yang dikembangkan memperlihatkan bahwa alat ukur mempunyai konsistensi dalam mengukur kelima jenis emisi. Uji coba pengukuran lima senyawa emisi gas buang yang diperoleh dari dua sampel truk dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. a. CO₂, b. NO_x, c. asap, d. CO, e. HC

Hasil pengukuran emisi kendaraan truk dalam keadaan berjalan dan diam dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. a. hasil pengukuran emisi kendaraan truk dalam keadaan bergerak dan b. hasil pengukuran emisi kendaraan truk dalam keadaan diam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan, pembuatan dan hasil dari pengukuran dalam penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Kapasitas alat pengukuran emisi gas buang pada truk dalam penelitian ini hanya dapat mendeteksi gas CO₂, NO_x, Asap, CO dan HC
2. Data aquisisi menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega Tipe 2560.

3. Pengembangan sistem pengukur emisi ini memiliki nilai tambah: *portable*, adaptasi *post processing*, mudah kalibrasi, dan fleksibel diaplikasikan pada penelitian lebih lanjut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian artikel ini, secara khusus kepada LLDIKTI IX, LLDIKTI XVI, dan Universitas Muhammadiyah Luwuk sebagai pendukung bagi dosen dalam aktivitas penelitian. Kami juga memberikan pujian kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang atas kontribusi yang diberikan dalam pengembangan sistem pengukuran emisi *mobile* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Aly, A. Liputo, and D. Rahman, "Studi Kualitas Udara Ambien Pada Ruas Jalan Utama Kota Makassar," in *Prosiding Hasil Penelitian Teknologi Terapan*, 3-4 September 2015: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- [2] M. Lutfie, L. Samang, A. Sakti, and I. Ramli, "Composition Analysis Of Emission Truck On Urban Road Network In Makassar," in *Proceedings of the 2nd Makassar International Conference on Civil Engineering (MICCE)*, Gowa, 2015, vol. 2, pp. 355-362.
- [3] M. Lutfie, L. Samang, S. A. Adismita, and M. I. Ramli, "Experimental Study of Moving Truck Emissions on Inter-City National Road: A Case Study of Malino Main Road," *Journal of Engineering*, vol. 2018, 2018. [Online]. Available: <https://downloads.hindawi.com/journals/je/2018/7240568.pdf>.
- [4] S. Ansar, "Web-Based Gas Emission Level Monitoring of Diesel Power Plant using Multi-Sensors International," *Journal of Engineering Innovative Technology*, vol. 3, pp. 21-25, 2013.
- [5] S. Suhendro, "Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Emisi Gas Karbon Monoksida dan Gas Oksida Nitrogen," Sarjana Skripsi, Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, 2007.
- [6] P. Aldhareva and R. Risfendra, "Alat Uji Emisi Portabel Kendaraan Bermotor," *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional (JTEV)*, vol. 6, no. 1, pp. 262-270, 2020.
- [7] A. Arman and A. K. Muhammad, "Rancang bangun alat ukur emisi gas buang yang terintegrasi komputer untuk kendaraan ringan," in *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 232-238.
- [8] I. Munthe, "Uji Emisi Gas Buang pada Mesin Mobil Toyota Avanza yang Menggunakan Sistem EFI," *Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 26-32, 2022.
- [9] N. Patel, Y. Bhavsar, S. Mundra, V. Dharia, and R. Taware, "Detection and Monitoring of Harmful Gases in Air Using a Microcontroller and Android App," in *Proceedings of International Conference on Wireless Communication*, Singapore, H. Vasudevan, Z. Gajic, and A. A. Deshmukh, Eds., 2022// 2022: Springer Nature Singapore, pp. 315-324.