

Perancangan Alat Monitoring Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Solar

¹Felix, ²Sabar Setiawidayat

¹ PT. Antang Gunung Meratus, Rantau, Kalimantan Selatan

² Teknik Elektro, Universitas Widyagama, Malang

¹felix.arvin@gmail.com, ²sabarset@widagama.ac.id

Article Info

Article history:

Received: 28 October 2025

Revised: 11 November 2025

Accepted: 20 November 2025

Keyword:

sensor
emissions
monitoring
diesel

ABSTRACT

Every motorized vehicle will produce emissions. The emissions in question include Carbon Dioxide (CO₂) and Carbon Monoxide (CO). As is known, dump trucks generally have diesel engines with diesel fuel. Exhaust emissions are the result of fuel combustion in diesel engines, which are released through the exhaust into the open air, resulting in pollution. The impact of this pollution will affect the health of humans who inhale it, including animals and plants. The lack of control of exhaust emissions from operating vehicles is due to the limited emission monitoring tools that are only owned by certain agencies (Dishub and Polda). This study aims to design an emission monitoring tool for diesel-fueled vehicles. The mq2 sensor for CO gas concentration and the mq7 sensor for CO₂ concentration are used as emission detectors. The sensors are installed in front of the vehicle exhaust with the engine running and in a stationary position. Data collection is carried out at several engine rpm conditions. Based on the results of measurements on 4 dump trucks, the CO₂ content of all vehicles is within safe limits for all engine speeds, but there is 1 vehicle that has CO levels above the Threshold Limit Value (NAB) at speeds above 1200 rpm. Emission measurements for private vehicles show that CO₂ levels for all rotations are within safe limits, while CO levels exceed the TLV at rotations above 2400 rpm. Comparative CO₂ values between the design tool and the CO₂ reference indicate no significant difference at α 0.05 for the four vehicles.

Copyright © 2025 Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Felix

PT. Antang Gunung Meratus, Rantau, Kalimantan Selatan

Email: felix.arvin@gmail.com

Abstrak— Setiap kendaraan bermotor akan menghasilkan emisi. Emisi yang dimaksud diantaranya adalah Karbondioksida (CO₂) dan Karbonmonoksida (CO). Seperti diketahui bahwa dump truck umumnya bermesin diesel dengan bahan bakar solar. Emisi gas buang merupakan hasil pembakaran bahan bakar dalam mesin diesel, yang dikeluarkan melalui knalpot ke udara bebas sehingga menghasilkan polusi. Dampak dari polusi ini maka akan mempengaruhi kesehatan bagi manusia yang menghirupnya, termasuk hewan dan tumbuhan. Kurang terkontrolnya emisi gas buang kendaraan yang beroperasi, disebabkan keterbatasan alat monitoring emisi yang hanya dimiliki oleh instansi tertentu (Dishub dan Polda). Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat monitoring emisi kendaraan berbahan bakar solar. Sensor mq2 untuk konsentrasi gas CO dan sensor mq7 untuk konsentrasi CO₂ digunakan sebagai detektor emisi. Sensor di pasang di depan knalpot kendaraan dalam keadaan mesin hidup dan posisi diam. Pengambilan data dilakukan pada beberapa kondisi rpm putaran mesin. Berdasarkan hasil pengukuran terhadap 4 kendaraan dump truck, kandungan kadar CO₂ semua kendaraan dalam batas aman untuk semua putaran mesin, namun terdapat 1 kendaraan yang memiliki kadar CO diatas Nilai ambang Batas (NAB) pada putaran diatas 1200 rpm. Pengukuran emisi untuk kendaraan pribadi menunjukkan bahwa kadar CO₂ untuk semua putaran dalam batas aman sedangkan kadar CO

diatas NAB jika putaran diatas 2400 rpm . Hasil uji komparasi nilai CO₂ antara alat desain dan CO₂ ref menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada α 0.05 untuk 4 kendaraan

Kata kunci : . sensor, emisi, monitoring, solar

I. Pendahuluan

Setiap kendaraan bermotor akan menghasilkan gas buang atau emisi kendaraan bermotor. Emisi gas buang hasil pembakaran akan dikeluarkan melalui saluran gas buang yang disebut knalpot[1]. Selama mesin kendaraan tersebut hidup, baik keadaan berhenti maupun berjalan, maka akan mengeluarkan emisi. Emisi yang dihasilkan akan masuk ke udara bebas, dalam hal ini ke udara di lingkungan kendaraan tersebut berada[2] . Emisi terdiri dari gas-gas yang umumnya karbonmonooksida (CO) dan karbondioksida (CO₂). Dalam batas-batas tertentu, gas-gas tersebut dapat dinetralisir oleh gas-gas lain yang ada di alam, yang dihasilkan oleh tumbuhan atau tanaman pohon. Pertambahan jumlah kendaraan bermotor yang tidak diimbangi oleh kemampuan alam dalam menetralsir maka emisi tersebut akan menjadi polusi yang berdampak kepada pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan udara dapat mengganggu pernafasan manusia dan hewan, yang jika kandungannya melebihi batas yang dianjurkan dapat mengakibatkan kematian bagi yang menghirupnya [3].

Jenis emisi yang dihasilkan kendaraan solar dan dampaknya pada kesehatan manusia diantaranya adalah karbon Monoksida (CO), yang dapat menyebabkan keracunan darah dan berdampak pada kesehatan jantung. Hidrokarbon (HC) yang dapat menyebabkan polusi udara dan berdampak pada kesehatan pernapasan. Nitrogen Oksida (NOx) yang dapat menyebabkan polusi udara dan berdampak pada kesehatan pernapasan. Partikulat (PM) yang dapat menyebabkan polusi udara dan berdampak pada kesehatan pernapasan. Sulfur Dioksida (SO₂) yang dapat menyebabkan polusi udara dan berdampak pada kesehatan pernapasan [4]. Sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup[5] dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor serta Badan Pengelola Lingkungan Hidup (BPLH) Propinsi DKI Jakarta maka batas emisi yang direkomendasikan untuk kendaraan solar adalah sebagai berikut [6]:

1. CO: 2,5% (25.000 ppm)
2. HC: 1000 ppm
3. NOx: 250 ppm
4. PM: 50 mg/m³
5. SO₂: 20 ppm

Namun batas emisi yang direkomendasikan di tiap negara dapat berbeda-beda tergantung pada peraturan di wilayah negara tersebut. Di Indonesia, batas emisi yang direkomendasikan untuk kendaraan solar adalah [7]. Nilai Ambang Batas (NAB) aman untuk kadar karbon monoksida (CO) yang dianjurkan adalah < 70 ppm, sedangkan 70-150 ppm berbahaya bagi kesehatan. Batas aman kadar karbondioksida (CO₂) yang dianjurkan adalah < 5000 ppm, 5000-40.000 ppm berbahaya dan diatas 40.000 ppm batas mematikan [8]. Mengingat peralatan uji maupun monitoring yang ada umumnya hanya dimiliki oleh instansi tertentu seperti Polisi Daerah (POLDA), dinas Perhubungan (DISHUB) maupun industri karoseri kendaraan maka tidak semua kendaraan dapat terlayani dalam pemeriksaan. Kemampuan mendeteksi emisi dan harga peralatan masih mejadi kendala bagi pemilik kendaraan berbahan bakar solar. Kendaraan berbahan bakar solar umumnya digunakan bagi kendaraan yang mampu untuk dapat membawa beban berat, durasi operasi yang lama dengan biaya bahan bakar yang lebih murah dibandingkan bahan bakar biasa (premium).

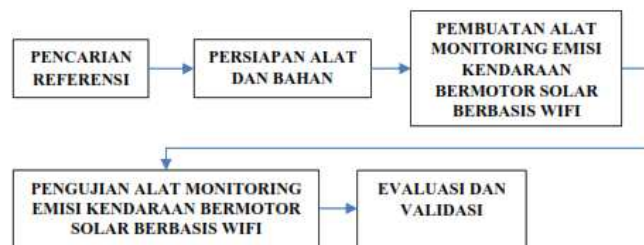
Berdasarkan Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 66 Tahun 2020, seluruh kendaraan yang beroperasi di Ibu Kota wajib melakukan uji emisi. Berikut ini syarat uji emisi kendaraan tersebut. Mobil bensin yang diproduksi di bawah tahun 2007 harus memiliki kadar CO₂ di bawah 30%. Untuk mobil bensin yang diproduksi di atas tahun 2007 harus memiliki kadar CO₂ di bawah 1,5%. Menurut Permenaker No.13 tahun 2012 nilai ambang batas (NAB) karbon monoksida adalah 25 ppm, jika lebih dari nilai ambang batas maka dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Berdasarkan buletin who (2005), ambang batas CO₂ di Indonesia untuk udara bersih adalah 310- 330 ppm selain itu udara tercemar adalah 350 – 700 ppm. Dan ambang batas kadar CO₂ di udara adalah 700 ppm. Sehingga akan dikategorikan sangat berbahaya apabila kadarnya sudah melebihi ambang batas.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang perangkat monitoring emisi gas buang untuk kendaraan berbahan bakar solar. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menghasilkan produk yang dapat bermanfaat bagi pemilik kendaraan berbahan bakar solar.

II. Metode Penelitian

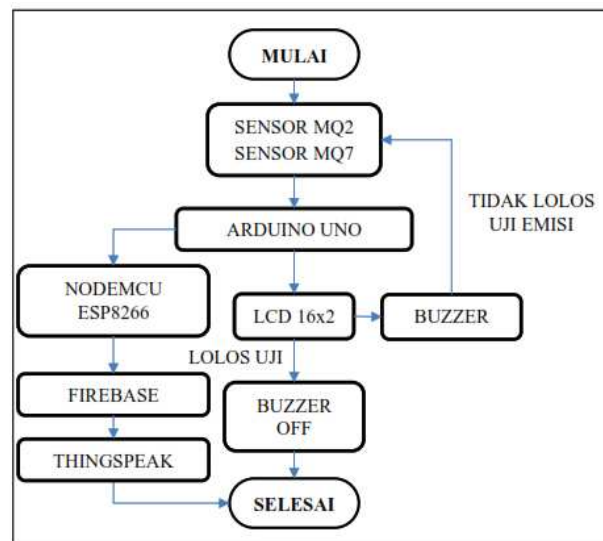
A. Perancangan alat

Dalam penelitian ini, tahapan kegiatan yang dilakukan peneliti ditunjukkan seperti pada gambar 1. Pembuatan, perancangan dan pengujian alat dilakukan di laboratorium Teknik Elektro Universitas Widya Gama Malang sedangkan pengambilan data emisi dilakukan di Area Pertambangan Batubara, PT. Antang Gunung Meratus, kota Rantau Kalimantan Selatan.

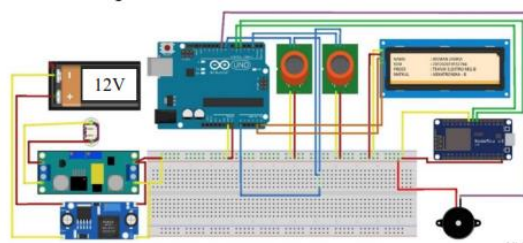


Gambar 1. Tahapan Kegiatan Penelitian

Perancangan alat dilakukan sesuai diagram alir pada gambar 2, yang secara skematik ditunjukkan pada gambar 3. Kebutuhan sumber daya elektrik dirancang untuk dapat menggunakan baterai maupun arus bolak-balik.



Gambar 2. Diagram alir perancangan alat



Gambar 3. Diagram skematik

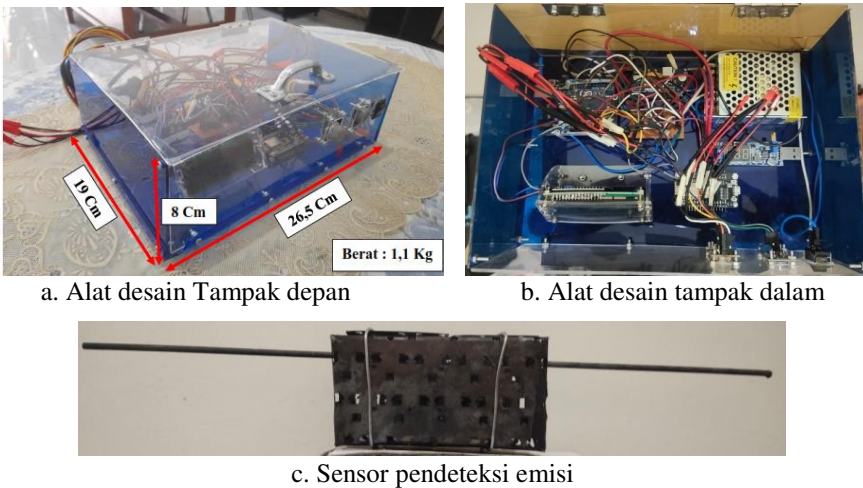
B. Pengujian alat

Pengujian alat ini bertujuan untuk membuktikan bahwa semua komponen-komponen yang digunakan pada penelitian ini dapat bekerja dengan baik. Komponen yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino Uno, NodeMcu Esp8266, Sensor Mq2, Sensor Mq7, Lcd 16x2, XL4015 StepDown, Buzzer, Adjustable USB Step UP and Down Boost Buck, BASIKE Powerbank 10000 mAh, Aplikasi Arduino Ide, Firebase.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil rancangan Alat

Penelitian ini dilaksanakan selama 2 bulan, di Area Pertambangan Batubara, kota Rantau Kalimantan Selatan mulai bulan Januari hingga bukan Juli 2025.



Gambar 4. Dokumentasi alat desain yang telah dirancang

B. Pengujian alat

Berdasarkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan, pembacaan data oleh komponen input > data dikirim ke pin input > data masuk ke mikrokontroler > data diproses > data keluar dari Arduino > data dikirim ke pin output > data diteruskan ke komponen output [9]. Alat rancangan sudah dapat berfungsi dengan sumber daya dari sebuah laptop atau komputer melalui USB atau sumber daya DC dari baterai atau adaptor [10]. Hasil pengujian diperlihatkan pada tabel 1.

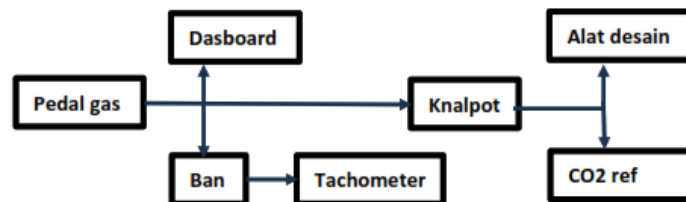
Tabel 1. Pengujian Alat Rancangan

Uji Arduino	Program Blink Tidak Upload	Indikator LED Arduino Mati
	Program Blink di Upload	Indikator LED Arduino Nyala
Uji NodeMCU ESP8266	Program Belum di Upload	Ok
	Program di Upload	Ok
Uji Sensor MQ2	3.3 V selama 2 detik	Output 171
	5.0 V selama 2 detik	Output 189
Uji sensor MQ7	3.3 V selama 2 detik	Output 7.64
	5.0 V selama 2 detik	Output 6.88
Uji LCD 16x2	Program Test Karakter belum di Upload	Layar nyala tidak menampilkan karakter
	Program Test Karakter di Upload	Layar nyala menampilkan karakter
Uji Buzzer	Program beep buzzer belum di Upload	Suara Off
	Program beep buzzer di Upload	Suara On
Adjustable USB Step UP	Tampilan Display Adjustable	4 Volt : 4,00 Volt

and Down Boost Buck	DC - DC	6 Volt : 6.00 Volt 8 Volt : 8.00 Volt
	Pengecekan Dengan Multimeter	4 Volt : 4,07 Volt 6 Volt : 6.09 Volt 8 Volt : 8.06 Volt

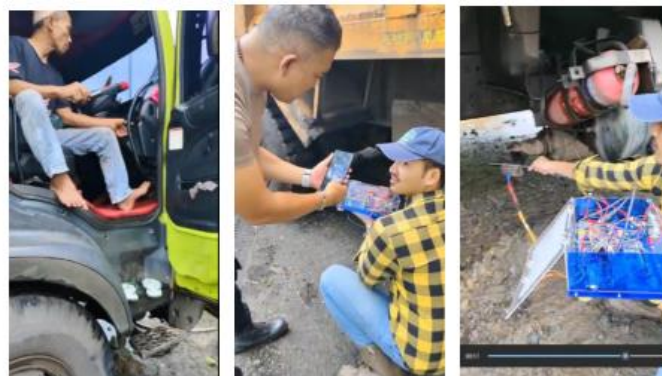
C. Pengambilan Data Emisi

Pengambilan data Emisi yang dimaksud adalah melakukan pengukuran langsung keluaran emisi dari knalpot menggunakan dua alat ukur yaitu alat rancangan dan alat CO₂ ref sebagai referensi. Pengumpulan data mengikuti blok diagram seperti ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Blok diagram Pengambilan data Emisi

Blok diagram pada gambar 5 dapat dijelaskan sebagai berikut, Pedal gas digunakan untuk mengatur rpm putaran mesin yang diinginkan. Jika sulit menepatkan rpm yang diinginkan maka diambil yang mendekati dengan menjaga pedal gas tetap konstan selama 10 detik. Bagi kendaraan yang dashboardnya menampilkan rpm meter maka langsung tampilan rpm tersebut dicatat sedangkan yang tidak ada maka putaran ban di sensor menggunakan tachometer digital. Dalam kurun waktu 10 detik tersebut, alat desain dan CO₂ ref dipasang di depan knalpot untuk dicatat hasil pengukurannya. Diperlukan minimal 3 orang untuk melakukan pengukuran ini, yaitu 1 orang untuk mengatur pedal gas dan melihat dashboard, 1 orang mengoperasikan alat desain dan 1 orang mengoperasikan CO₂ ref. CO₂ ref adalah perangkat referensi atau pembandingan dari hasil pengukuran alat desain. Sulit dan mahalnya mendapatkan perangkat CO ref menyebabkan penelitian ini hanya menggunakan pembandingan CO₂ ref. gambar 6 memperlihatkan pengambilan data emisi Dump truck Hino 500 FM 260 JD 7684cc.



Gambar 6. Pengambilan Data Emisi Dump truck Hino 500 FM 260 JD 7684cc

Perusahaan telah menerapkan peraturan bahwa kendaraan yang telah beroperasi selama 5 (lima) tahun harus dilakukan penggantian dengan kendaraan yang baru. Senggang dan tersedianya kendaraan yang dapat di teliti, kesediaan pengemudi dan kesiapan operator di lapangan maka data kendaraan yang dapat diperoleh ditunjukkan pada tabel 1 sedangkan hasil pengambilan data emisinya ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Sample kendaraan yang diambil data Emisinya

No	Kendaraan	Merk/type/cc	Tahun Produksi	Tgl ambil data
----	-----------	--------------	-------------------	----------------

1	Dump Truck	Hino / 500FM260JD/7.684	2022	12 Januari 2025
2	Dump Truck	FAW / HD420DT / 11.040	2024	13 Januri 2025
3	Dump Truck	XCMG Hanvan / G7 HS371 / 9.726	2024	13 Januari 2025
4	Dump Truck	Fuso / FNG2 / 7.545	2023	14 Januari 2025
5	Vehicle	Innova/G/2500	2013	20 Juli 2025

Tabel 2. Hasil Pengambilan Data Emisi

Kendaraan	RPM	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO2 ref
Dump Truck Merk : Hino Type : 500 FM 260 JD Cc : 7.684 Tahun : 2022 Data : 12 Januari 2025	1000	23.36	496	501
	1100	25.16	474	480
	1200	31.71	556	560
	1300	78.92	828	835
	1400	97.41	812	818
	1500	98.52	814	820
	1600	99.14	791	800
	1700	101.31	828	832
	1800	102.95	891	897
	1900	105.58	818	824
	2000	106.25	803	810
	500	6.3	354	360
Dump Truck Merk : FAW Type : HD420DT Cc : 11.040 Tahun : 2024 Data : 13 Januari 2025	600	6.47	366	370
	700	7.37	366	371
	800	7.47	357	363
	900	7.73	382	388
	1000	7.73	412	419
	1100	7.88	388	392
	1200	7.99	412	416
	1300	8.31	432	435
	1400	8.42	421	425
	1500	8.53	414	420
	1600	8.7	422	429
	1700	8.76	441	447
	1800	8.93	429	437
	1900	8.99	432	438
	2000	9.46	466	470
	2100	9.59	464	470
	2200	9.9	446	452
	2300	10.02	461	467
	2400	10.02	440	446
	2500	26.31	642	648
	2600	26.31	642	649
	2700	26.78	698	702

	2800	26.78	698	703
	2900	28.93	685	691
	3000	34.64	794	798
Dump Truck	500	41.57	599	606
Merk : XCMG HANVAN	600	41.82	615	621
Type : G7 HS371	700	42.07	521	527
Cc : 11.040	800	42.82	593	599
Tahun : 2024	900	42.82	594	598
Data : 13 Januari 2025	1000	43.08	613	619
	1100	43.33	636	642
	1200	45.17	661	667
	1300	46.53	627	633
	1400	46.53	270	278
	1500	47.64	601	607
	1600	49.65	658	664
	1700	53.62	555	561
	1800	55.24	578	584
	1900	55.24	568	574
	2000	55.24	648	854
	2100	56.54	594	598
	2200	56.56	594	598
	2300	58.96	583	589
	2400	60.02	627	633
	2500	65.23	681	687
Dump Truck	500	27.41	575	581
Merk : Fuso	600	28.07	580	587
Type : FN62	700	28.91	584	590
Cc : 7.545	800	30.49	614	619
Tahun : 2023	900	31.41	605	610
Data : 14 Januari 2025	1000	31.97	619	624
	1100	32.16	602	607
	1200	31.93	617	622
	1300	33.13	609	614
	1400	33.92	609	616
	1600	34.72	623	628
	1700	35.35	631	636
	1800	35.99	622	627
	1900	36.63	632	637
	2000	43.43	609	614
Vehicle	600	15.99	404	410
Merk : Toyota	1200	10.54	317	323
Type : Innova/G	1800	12.65	358	362
Cc : 2.500	2400	11.24	339	346
Tahun : 2013				

Data : 20 Juli 2025

3000

106.2

887

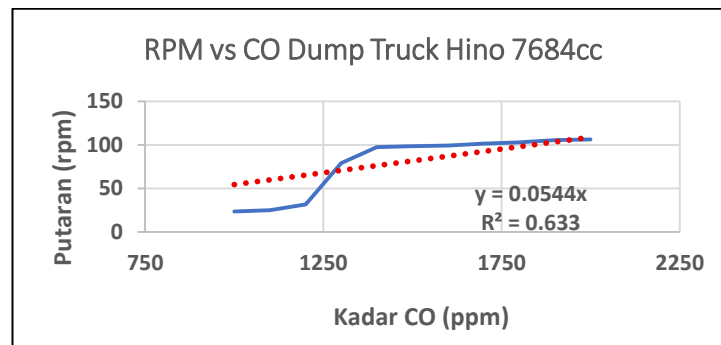
893

Latar belakang warna kuning pada nilai tabel 2 menunjukkan bahwa nilai ppm CO melebihi batas NAB [11]. Nilai Ambang Batas (NAB) aman untuk kadar karbon monoksida (CO) yang dianjurkan adalah < 70 ppm, sedangkan 70-150 ppm berbahaya bagi kesehatan. Kadar karbondioksida (CO₂) batas aman yang dianjurkan adalah < 5000 ppm, 5000-40.000 ppm berbahaya dan diatas 40.000 ppm batas mematikan.

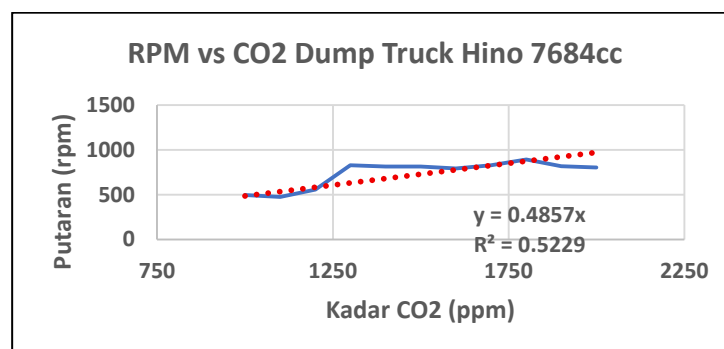
Pengujian emisi yang sering dilakukan oleh instansi umumnya (Dishub, Polda) adalah pengambilan sample emisi pada kecepatan putaran mesin dalam kondisi stationer. Dalam penelitian ini nampak bahwa makin tinggi putaran mesin, memperlihatkan kadar emisi juga meningkat, dan ada yang melebihi batas NAB.

D. Analisis Korelasi

Korelasi adalah keeratan hubungan antara variabel, dalam hal ini ingin mengetahui pengaruh putaran mesin (RPM) terhadap Emisi. Berdasarkan data pada tabel 2, maka keeratan hubungan antara RPM dan kadar Emisi CO dan antara RPM dan kadar Emisi CO₂ untuk Dump truck Hino ditunjukkan masing-masing pada gambar 7 dan gambar 8. Untuk data kendaraan yang lain, dengan cara ynung sama ditunjukkan hasilnya pada tabel 3.



Gambar 7. Korelasi RPM vs emisi CO Dump truck Hino



Gambar 8. Korelasi RPM vs emisi CO₂ Dump truck Hino

Tabel 3. Korelasi RPM vs CO dan korelasi RPM vs CO₂

No	Kendaraan	Korelasi RPM vs kadar CO		Korelasi RPM vs kadar CO ₂	
		Korelasi	R ²	Korelasi	R ²
1	Dump Truck Hino / 500FM260JD/7.684cc Tahun 2022	Y = 0.0544x	0.9460	Y = 0.4857x	0.9827
2	Dump Truck FAW / HD420DT / 11.040 Tahun 2024	Y = 0.0077x	0.8871	Y = 0.2535x	0.9506
3	Dump Truck XCMG Hanvan / G7 HS371 / 9.726 Tahun 2024	Y = 0.0302x	0.9388	Y = 0.3413x	0.8563

4	Dump Truck Fuso / FNG2 / 7.545 Tahun 2023	$Y = 0.0243x$	0.9338	$Y = 0.4342x$	0.8862
5	Vehicle Innova/G/2500 Tahun 2013	$Y = 0.01917x$	0.6458	$Y = 0.2395x$	0.8779

Nampak dari tabel 3 terdapat keeratan hubungan antara putaran mesin (rpm) dan kadar CO. Korelasi tertinggi ditunjukkan pada Dump truck Hino dengan nilai R^2 sebesar 0.964 dan korelasi terendah pada Innova dengan nilai R^2 sebesar 0.6458. Keeratan hubungan antara putaran mesin (rpm) dan kadar CO₂ tertinggi ditunjukkan pada Dump truck Hino dengan nilai R^2 sebesar 0.9827 dan korelasi terendah pada Dump Truck XCMG Hanvan dengan nilai R^2 sebesar 0.8563.

E. Analisis Komparasi CO₂ versus CO₂ ref

Komparasi adalah perbandingan antar variabel[12], dalam hal ini ingin mengetahui perbedaan hasil pengukuran Emisi CO₂ antara hasil perancangan alat dengan alat CO₂ referensi[13]. Berdasarkan data pada tabel 2, maka analisis komparasi menggunakan uji-t antara CO₂ perancangan alat dan CO₂ ref dengan signifikansi α 0.05 untuk Dump truck Hino diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Analisis uji beda CO₂ dan CO₂ ref Dump truck Hino 7684cc

<i>t-Test: Paired Two Sample for Means</i>		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	737.3636364	743.3636364
Variance	22567.45455	22717.45455
Observations	11	11
Pearson Correlation	0.999961321	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	-14.0712473	
P(T<=t) one-tail	3.22583E-08	
t Critical one-tail	1.812461123	
P(T<=t) two-tail	6.45165E-08	
t Critical two-tail	2.228138852	

Pada tabel 3, karena Pvalue adalah P(T<=t) two-tail dibawah nilai 0.05 maka hipotesisnya adalah **berbeda nyata**. Untuk data kendaraan yang lain, dengan cara yning sama ditunjukkan hasilnya pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji-t antara CO₂ antara pengukuran alat rancangan dan CO₂ ref.

No	Kendaraan	P(T<=t) two-tail	hipotesis
1	Dump Truck Hino / 500FM260JD/7.684cc Tahun 2022	6.45165E-08	Berbeda nyata
2	Dump Truck FAW / HD420DT / 11.040 Tahun 2024	4.34883E-18	Berbeda nyata
3	Dump Truck XCMG Hanvan / G7 HS371 / 9.726 Tahun 2024	0.122316897	Tidak Berbeda nyata
4	Dump Truck Fuso / FNG2 / 7.545 Tahun 2023	8.94484E-14	Berbeda nyata
5	Vehicle Innova/G/2500 Tahun 2013	0.00202323	Berbeda nyata

Hasil uji komparasi nilai CO₂ antara alat desain dan CO₂ ref pada tabel 4 menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan pada α 0.05 untuk 4 kendaraan dan 1 kendaraan tidak ada perbedaan yang signifikan

IV. Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan dan analisis data maka dapat disimpulkan bahwa rancangan alat dapat memonitor emisi gas CO memakai sensor mq2 dan memonitor gas CO₂ memakai sensor mq7. Buzzer akan memberikan alarm berupa bip apabila nilai CO maupun nilai CO₂ melebihi batas NAB. Terdapat korelasi antara RPM kecepatan putaran mesin dengan kadar emisi, makin tinggi putaran mesin akan semakin meningkat kadar emisinya. Hasil uji komparasi antara data CO₂ alat rancangan dan data CO₂ ref pada α 0.05 memperlihatkan bahwa 4 kendaraan berbeda nyata dan 1 kendaraan tidak berbeda nyata.

V. Daftar Pustaka

- [1] Riandi Ramlan and Dani Mardiyana, "Modifikasi Knalpot mesin Diesel untuk mengurangi emisi dan kebisingan di pabrik penggilingan Padi," *J. Permadi Peranc. Manufaktur Mater. Dan Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 80–90, May 2022, doi: 10.52005/permadi.v4i2.90.
- [2] "Penerapan baku mutu Emisi Kendaraan bermotor kategori M, N, O dan L." Permen LH no.8 Tahun 2023, 2023.
- [3] Dinas LH DKI, "Pemantauan Kualitas Udara DKI," 2023.
- [4] A. Sandy Pratama, "Evaluasi Hasil uji Emisi gas buang kendaraan bermotor di kota Serang." 2023.
- [5] PP no.22 Tahun 2021, "Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan hidup." Peraturan Pemerintah no.22 Tahun 2021, 2021.
- [6] Dinas LH-DKI, "Data harian Indeks standard Pencemaran udara DKI." 2023.
- [7] A. I. Karim, "Evaluasi Emisi Kendaraan bermotor pada jalan TOL Jakarta Cikampek menggunakan Mobile Versi 6.2," vol. 1, no. 1, 2010.
- [8] I. A. Hardiyana, "Identifikasi Konsentrasi CO, CO₂, NO₂, SO₂ dan PM₁₀ yang terukur di Stasiun GAW Bukit Kototabang 2019-2023," 2023.
- [9] A. Priyanto, S. Setiawidayat, and F. Rofii, "Design and Build an IoT Based Prepaid Water Usage Monitoring System and Telegram Notifications," *IEEE-U J. Electr. Electron. Eng.-UMSIDA*, vol. 5, no. 2, pp. 197–213, Oct. 2021, doi: 10.21070/jeeu.v5i2.1527.
- [10] C. D. Hantoro and S. Setiawidayat, "Monitoring and Control of 3 Phase Electrical Energy Internet of Things (IoT) Based," *Eur. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 80–86, Jun. 2023, doi: 10.24018/ejece.2023.7.3.522.
- [11] K. A. Zulistyawan, "Identifikasi Konsentrasi CO, CO₂, NO₂, SO₂ dan PM₁₀ yang terukur di Stasiun GAW Bukit Kototabang tahun 2019-2023," *Megasains*, vol. 14, no. 2, pp. 39–47, Feb. 2024, doi: 10.46824/megasains.v14i2.143.
- [12] M. M. Al-Kassab and A. H. Majeed, "The use of Two Sample t-Test in the real data," *Adv. Appl. Stat.*, vol. 81, pp. 13–22, Sep. 2022, doi: 10.17654/0972361722071.
- [13] S. Setiawidayat, "Komparasi Hasil Pemeriksaan Jantung antara Perangkat ECGs dan ECGd menggunakan uji Mann-Whitney," *Conf. Innov. Appl. Sci. Technol. CIIASTECH*, vol. 2, no. 1, 2019.