

STUDI LITERATUR: PENGARUH PENGGUNAAN SENSOR GAS TERHADAP PERSENTASE NILAI ERROR KARBONMONOKSIDA (CO) DAN HIDROKARBON (HC) PADA PROTOTIPE VEHICLE GAS DETECTOR (VGD)

Siti Hardiyani Maharani

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
sitimaharani@mhs.unesa.ac.id

Nur Kholis

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
nurkholis@unesa.ac.id

Abstrak

Tingkat produksi Karbonmonoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) di udara bebas semakin meningkat akibat peningkatan kepemilikan kendaraan bermotor. Untuk mengontrol peningkatan emisi gas buang, diperlukan *Vehicle Gas Detector* (VGD) untuk mengukur kadar emisi gas buang kendaraan bermotor dengan ambang batas yang telah ditentukan. Dalam perancangan prototipe VGD, peran sensor gas sangat penting. Sensor gas yang dapat digunakan, antara lain MQ-7, MQ-9, dan TGS 2201 untuk mengukur kadar emisi gas CO serta sensor MQ-2, TGS 2201, dan TGS 2601 untuk mengukur kadar emisi gas HC. Perancangan VGD tentu saja akan menghasilkan persentase nilai error yang bervariasi berdasarkan penggunaan sensor. Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah studi literatur dengan membandingkan hasil pengukuran sensor gas pada prototipe VGD dengan VGD standar pabrik. Hasil pengukuran keduanya akan dibandingkan melalui persentase nilai error. Persentase nilai error pada pengukuran emisi gas CO terendah ada pada sensor MQ-7 dengan nilai sebesar 2,92% sedangkan persentase nilai error tertinggi ada pada sensor MQ-9 sebesar 29,65%. Untuk pengukuran HC, persentase nilai error terendah ada pada sensor TGS 2201 dengan nilai sebesar 6,88% sedangkan persentase error tertinggi ada pada sensor MQ-2 dengan nilai sebesar 38,61%. Pengkajian persentase nilai error dengan nilai terendah pada tiap sensor gas dapat dijadikan acuan untuk merancang prototipe VGD dan diproduksi secara massal.

Kata kunci: *Vehicle Gas Detector* (VGD), Emisi Gas Buang Karbonmonoksida (CO), Emisi Gas Buang Hidrokarbon (HC), Efisiensi Sensor Gas, Persentase Nilai Error

Abstract

The level of carbon monoxide (CO) and hydrocarbon (HC) production in free air is increasing due to the increase in motor vehicle ownership. To control the increase of exhaust emissions, a Vehicle Gas Detector (VGD) is needed to measure the levels of motor vehicle exhaust emissions with a predetermined threshold. In designing the VGD prototype, the gas sensor has function very important. Gas sensors that can be used include MQ-7, MQ-9, and TGS 2201 to measure CO gas emission levels also MQ-2, TGS 2201, and TGS 2601 sensors to measure HC gas emission levels. The design of the VGD will of course produce a percentage of error values that vary based on the use of the sensor. The research method used in writing this article is a literature study by comparing the results of gas sensor measurements on VGD prototypes with factory-standard VGDs. The measurement results of the two will be compared through the percentage of error value. The percentage of error values in the lowest CO gas emission measurement is on the MQ-7 sensor with a value of 2.92% while the highest percentage of error values is on the MQ-9 sensor at 29.65%. For HC measurement, the lowest percentage error value is on the TGS 2201 sensor with a value of 6.88% while the highest error percentage is on the MQ-2 sensor with a value of 38.61%. The assessment of the percentage of error values with the lowest values on each gas sensor can be used as a reference for designing VGD prototypes and mass-produced.

Keywords: *Vehicle Gas Detector* (VGD), Carbon Monoxide (CO) Exhaust Gas, Hydrocarbon (HC) Exhaust Gas, Gas Sensor Efficiency, Percentage of Error Value

PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan kendaraan bermotor semakin meningkat. Pengguna kendaraan bermotor yang tidak melakukan perawatan berkala akan meningkatkan emisi gas buang (Sarungallo, dkk., 2017:141). Emisi mesin terdiri dari nitrogen oksida (NO_x), hidro karbon (HC),

karbon monoksida (CO), partikulat (PM), nitrogen (N₂), Karbonmonoksida (CO₂), uap air (H₂O), Hidrogen (H₂), dan Oksigen (O₂) (Khan&Hasan, 2016:1817).

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, senyawa CO dan HC adalah gas yang sering menjadi sasaran utama untuk mendeteksi kadar emisi gas buang kendaraan bermotor. Senyawa CO mempunyai

potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu hemoglobin (Putro&Abadi, 2012:1). Gas ini dalam badan manusia menyerang butir-butir darah merah yang bertugas membawa zat asam ke seluruh badan. Di dalam ruang tertutup persentase volume CO 0,1% atau lebih tinggi sudah mematikan (Wibawa, dkk. 2015:70).

Konsentrasi CO adalah perbandingan volume CO yang terkandung di dalam gas buang dan dinyatakan dalam persen (%). Apabila karbon di dalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna, maka terjadi reaksi yang terjadi sesuai dengan persamaan 1. Namun, jika unsur oksigen (udara) tidak cukup, maka terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna sehingga menghasilkan CO seperti pada persamaan 2 (Warju, 2009:113).



Persamaan 1. Reaksi Pembakaran Karbon Sempurna



Persamaan 2. Reaksi Pembakaran Karbon Tidak Sempurna

Keterangan:

C = Senyawa Karbon

O₂ = Gas Oksigen

CO₂ = Gas Karbondioksida

CO = Gas Karbonmonoksida

Konsentrasi HC (Total Hidro Karbon = THC) adalah perbandingan volume HC dipersamakan dengan normal *hexane* (C₆H₁₄) dalam gas buang dan dinyatakan dengan satuan ppm (*part permilion*). Sumber dari HC adalah bahan bakar yang belum terbakar tetapi sudah keluar bersama-sama gas buang ke atmosfer karena bahan bakar yang dipakai pada kendaraan bermotor bensin terbuat dari hidro karbon (Warju, 2009:115). Hidro karbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap (smog). HC terdapat pada proses penguapan bahan bakar pada tangki, karburator, serta kebocoran gas yang melalui celah antara silinder engkol (Hidayat, 2015:4).

Dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat peningkatan kendaraan bermotor, antara lain kemacetan, kebisingan, hingga pencemaran atau polusi udara yang diakibatkan oleh emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin kendaraan bermotor (Winarno, 2014:1). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontribusi pencemaran udara yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60%, selebihnya sektor industri 25%, rumah tangga 10%, dan sampah 5% (Saepudin & Admono dalam Winarno, 2014:1). WHO memperkirakan bahwa 70% dari populasi perkotaan di dunia pernah menghirup udara kotor karena

emisi kendaraan bermotor, sisanya 10%, sambil menghirup udara yang marjinal (Setyabudi, 2017:8).

Oleh sebab itu, menanggapi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama, diperlukannya upaya pengendalian emisi gas buang kendaraan bermotor. Salah satu upayanya adalah dengan pengujian ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor. Namun, upaya tersebut hanya dilakukan di lokasi yang telah ditetapkan dengan menggunakan peralatan pengujian yang tersedia (Pasal 16d, Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2018:10). Padahal upaya tersebut perlu dilakukan secara berkala dan dilakukan oleh instansi pemerintah di berbagai sudut kota agar pengawasan penggunaan kendaraan bermotor lebih ketat untuk mengurangi peningkatan pencemaran udara.

Uji emisi bertujuan untuk mengukur tingkat polusi yang disebabkan pembakaran mesin (Mukhlisin, dkk, 2019:44). Apakah layak atau tidaknya kendaraan bermotor dioperasikan tergantung dari batasan tingkat emisi yang ditetapkan untuk tingkat kendaraan tersebut (Hidayat, 2015:5). Untuk menentukan kelayakan sebuah kendaraan diperlukan sebuah instrumen yang biasa disebut *vehicle gas detector* (VGD) atau pendeteksi emisi gas buang pada kendaraan bermotor. Instrumen VGD biasa ditemukan di instansi-instansi tertentu, seperti dinas perhubungan, laboratorium yang sudah memiliki izin kepemilikan instrumen, dan bengkel-bengkel kendaraan bermotor.

Dalam pengujian kendaraan bermotor, ambang batas emisi gas buangnya telah ditentukan oleh pemerintah melalui Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Lama. Untuk mengetahui nilai ambang batas tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ambang Batas Kendaraan Bermotor Kategori L (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006)

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter			Metode Uji
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	
Sepeda motor 2 langkah	< 2010	4,5	12-15	12000	Idle
Sepeda motor 4 langkah	< 2010	5,5	12-15	2400	Idle
Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah)	≥ 2010	4,5	12-15	2000	Idle



Gambar 1. VGD Heshbon HG-520

Tabel 2. Spesifikasi VGD Heshbon HG-520

Spesifikasi	Keterangan
Merek	Heshbon
Type	HG-520
Negara Produksi	Korea
Tahun Pembuatan	2008
Tegangan	220 V
Frekuensi	50 ± 10% Hz
No. Serial	418A701
Warning	15 menit
Rentang Pengukuran:	
CO	0 ÷ 9,99 % vol
CO ₂	0 ÷ 20,0 % vol
HC	0 ÷ 9999 ppm vol
NO _x	0 ÷ 5000 ppm vol
Lambda	0 ÷ 2,000
O ₂	0 ÷ 25,0 %

(Sumber: Spesifikasi VGD Heshbon HG-520, SMKN 2 Surabaya)

Untuk melakukan uji emisi, masih ditemui adanya kendala biaya peralatan yang akan digunakan untuk menguji kadar emisi gas buang. Di SMKN 2 Surabaya, alat uji emisi gas buang (VGD) dapat dijumpai di Bengkel Teknik Kendaraan Ringan, Jurusan Teknik Kendaraan Ringan seperti yang terlihat pada Gambar 1. Harga alat uji emisi tersebut mencapai 36 juta rupiah dan diproduksi di Korea. VGD ini memiliki kehandalan dalam pengukuran emisi gas buang pada CO mencapai 0 – 9,99% vol dan pengukuran HC dengan rentang emisi 0 – 9999 ppm. Spesifikasi lainnya pada VGD Heshbon dapat dilihat pada Tabel 2.

Mengetahui lokasi produksi dan biaya yang harus dikeluarkan untuk memiliki VGD, maka dari itu diperlukan penelitian mengenai perancangan prototipe VGD dengan biaya yang lebih terjangkau. Dalam penyusunan prototipe VGD diperlukan perbandingan dengan instrumen standar. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui tingkat keakurasiannya sesuai dengan batas error yang telah ditentukan. Apabila nilai error telah diketahui, maka prototipe tersebut dapat dikatakan layak atau tidak layak sesuai dengan standar yang berlaku.

Untuk menentukan nilai error, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Error = \left| \frac{x-x_i}{x} \right| \tag{3}$$

Persamaan 3. Rumus Penentuan Nilai Error

(Sumber: Fajri, 2018:10)

Untuk menentukan persentase error, dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$\%Error = \left| \frac{x-x_i}{x} \right| \times 100\% \tag{4}$$

Persamaan 4. Rumus Penentuan Persentase Error

(Sumber: Fajri, 2018:10)

Keterangan:

X = nilai sebenarnya (pengukuran oleh instrumen standar atau VGD)

Xi = nilai yang terukur (pengukuran oleh prototipe VGD)

Dalam perancangan prototipe VGD tidak jauh dari peran sensor. Beberapa sensor yang digunakan untuk mendeteksi kadar emisi gas CO dan HC, antara lain MQ-7, MQ-2, MQ-9, TGS 2201, dan TGS 2611. Untuk mendapatkan nilai pengukuran emisi gas buang, diperlukan ratio nilai Rs/Ro yang terdapat di grafik Rs/Ro pada masing-masing sensor. Nilai Ro adalah nilai resistansi di udara segar yang mengandung Hidrogen dan nilai Rs adalah nilai resistansi dalam konsentrasi gas yang berbeda. Untuk menentukan nilai Rs pada sensor, maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_s = \left(\frac{V_c}{V_{RL}} - 1 \right) R_L \tag{5}$$

Persamaan 5. Rumus Nilai Resistansi Sensor Gas

(Sumber: Putro&Abadi, 2012:5)

Keterangan:

R_s = Resistansi sensor

V_c = Tegangan rangkaian

V_{RL} = Tegangan resistansi beban

R_L = Resistansi beban

Rs/Ro = Ratio resistansi sensor

Sensor MQ-7 mempunyai sensitifitas tinggi terhadap karbon monoksida dengan stabil dan berumur panjang (Hidayat, 2015:4). Sensor buatan Hanwei Cina ini terdiri dari keramik AL₂O₃, lapisan tipis SnO₂, elektroda serta heater yang digabungkan dalam suatu lapisan kerak yang terbuat dari plastik dan stainless. Sensor ini dapat beroperasi ada suhu dari -10°C sampai 50°C dan mengkonsumsi kurang dari 150 mA pada 5 V. Jarak deteksi gas mencapai 10 - 1000 ppm gas CO (Wibawa, 2015:70).

Sensor MQ-2 adalah sensor yang mendeteksi gas keluaran industri, misalnya hidrokarbon (LPG, metana, butana, dan alkohol) dan asap rokok. Sensor ini disusun dari keramik AL₂O₃, lapisan tipis SnO₂, elektroda serta

heater NiCr. Dalam penelitian ini, sensor MQ-2 mendeteksi adanya senyawa HC (hidro karbon) yang dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan bermotor.

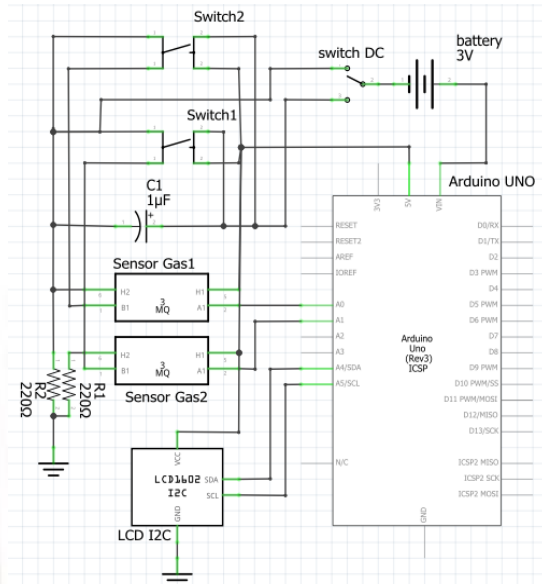
Sensor MQ-9 merupakan sensor gas produksi Hanwei Electronic, Cina. Sensor ini mampu mendeteksi gas CO, CH₄ (metana), dan LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Sensor MQ-9 dapat mendeteksi gas CO mencapai 20-2000 ppm. Sensor buatan Hanwei China ini terdiri dari keramik AL₂O₃, lapisan tipis SnO₂, elektroda serta heater yang digabungkan dalam suatu lapisan kerak yang terbuat dari plastik dan *stainless*.

Sensor Gas TGS 2201 adalah sensor untuk mendeteksi gas CO, H₂, dan HC. TGS 2201 dapat mengukur dengan kisaran ukuran 10-1000 ppm. TGS 2201 mempunyai dua elemen dalam satu sensor yang masing-masing digunakan untuk mengukur emisi pada gas buang kendaraan bermesin diesel dan bensin (Bahri, 2018:2). Sensor ini memiliki kelebihan yang dapat mendeteksi gas pengeluaran bensin dan diesel. Sensor ini memiliki resistansi heater (R_H) yang biasa digunakan untuk membersihkan ruang sensor dari kontaminasi udara luar sehingga sensor dapat bekerja secara efektif (Rajagukguk&Pratiwi, 2018:2).

Sensor TGS 2611 adalah sensor semikonduktor yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap gas metana dengan daya rendah dan tahan lama. Sensor ini membutuhkan arus sebesar 56 mA dengan suhu pengoperasian maksimal ±20 °C. kemampuan deteksi kadar metana dan natural gas mencapai 500 – 10.000 ppm.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk merancang prototipe VGD menggunakan sensor gas yang bervariasi sehingga menunjukkan nilai error yang berbeda-beda. Perbedaan nilai error bisa terjadi karena tingkat sensitivitas tiap sensor berbeda-beda. Pada umumnya, satu sensor dapat mengukur senyawa CO dan HC sekaligus. Namun, kestabilan sensor menjadi pertimbangan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Selain itu, faktor internal dan eksternal berberan penting pada hasil penelitian.

Hal tersebut melatarbelakangi penyusunan artikel ilmiah ini untuk mengetahui perbandingan persentase nilai error CO dan HC yang didapatkan di masing-masing penelitian melalui pengaruh sensor yang digunakan dalam prototipe VGD. Penyusunan artikel ilmiah ini ditulis berdasarkan penelitian melalui studi literatur dari beberapa sumber jurnal ilmiah yang relevan dengan judul yang terkait. Dalam penyusunan artikel ilmiah ini dibatasi pada perbandingan nilai error pada senyawa CO dan HC yang dideteksi VGD meskipun jurnal yang dirujuk memiliki hasil penelitian terhadap senyawa lainnya.



Gambar 2. Rangkaian Perancangan Prototipe VGD

Pada Gambar 2 menunjukkan sebuah rangkaian yang digunakan untuk merancang prototipe VGD. Dalam rangkaian tersebut menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler, 2 buah modul sensor gas, 2 buah resistor 220Ω, kapasitor 1μF, 2 buah *switch push button*, 1 buah switch DC, dengan sumber daya baterai, dan pembacaan sensor akan ditampilkan pada LCD I2C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh 1) Mukhlisin, dkk. pada tahun 2019. 2) Koesegeran, dkk. pada tahun 2013. 3) Bahri, dkk. pada tahun 2016. 4) Hidayat, pada tahun 2015. 5) Setyawan, dkk. pada tahun 2018. 6) Rajagukguk&Pratiwi, pada tahun 2018. 7) Anton S, pada tahun 2017. Didapatkan hasil sebagai berikut:

Penelitian Mukhlisin, dkk. (2019)

Penelitian Mukhlisin, dkk. tahun 2019 yang berjudul, “Rancang Bangun Alat Uji Emisi Ekonomis Menggunakan Sensor Gas MQ2 Dan MQ9 Berbasis *Arduino*” melakukan penelitian pada kendaraan bermotor roda dua dengan objek motor Jupiter MX King 150 cc tahun keluaran 2016. Pengujian dilakukan dengan uji eksperimental Uji T untuk mengetahui nilai signifikansi pembacaan kadar CO dan HC pada alat uji penelitian (*prototype*) terhadap alat uji standar (Mukhlisin, dkk., 2019).

Hasil pengujian diambil dengan RPM yang berbeda-beda, yaitu 1300, 1500, 2000, 2500, dan 3000 dengan pengujian sebanyak 3 kali setiap RPM yang diuji menggunakan prototipe dan *gas analyzer*. Selanjutnya, setiap hasil pengukuran RPM diambil nilai rata-ratanya untuk mendapatkan perbandingan nilai signifikansi. Kriteria pengujian yang digunakan adalah jika nilai

signifikansi (*sig*) lebih besar dari nilai kepercayaan penelitian (α) = 0.05 maka ada hasil yang signifikan dengan alat uji standar (VGD), sebaliknya jika nilai signifikansi (*sig*) lebih kecil dari nilai kepercayaan penelitian (α) = 0.05 maka alat uji (*prototype*) dapat digunakan seperti alat uji standar (VGD). Pada hasil penelitian ini, nilai signifikansi CO sebesar 0.319 dan nilai signifikansi HC sebesar 0.896. Nilai tersebut lebih besar dari nilai α , maka dapat disimpulkan bahwa pembacaan kadar CO dan HC pada alat uji emisi (*prototype*) memiliki perbedaan yang signifikan dengan alat uji resmi (VGD).

Pada Tabel 3. menunjukkan bahwa hasil pengujian CO menggunakan sensor MQ-9 terlihat bahwa nilai error tertinggi ada pada RPM 1500 sebesar 0,628 dengan persentase error 62,79%. Rata-rata nilai error dari kelima pengujian RPM sebesar 0,296 dengan persentase error rata-rata sebesar 29,65%. Sedangkan, pada hasil pengujian HC pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa sensor MQ-2 memiliki nilai error tertinggi yang terjadi pada RPM 3000 sebesar 0,767 dengan persentase error 76,71%. Rata-rata nilai error HC sebesar 0,386 dengan persentase error rata-rata 38,61%.

Dengan besarnya nilai error yang didapatkan, maka prototipe ini dianggap belum dapat digunakan sebagai alat uji resmi yang setara dengan VGD. Tingginya nilai error dapat disebabkan oleh kebocoran gas saat pengukuran di knalpot kendaraan bermotor. Selain itu, sensitivitas sensor juga mempengaruhi keakuratan hasil pembacaan kadar emisi gas buang.

Tabel 3. Rata-Rata Hasil Pengujian CO

RPM	Hasil Pengujian CO (%vol)			
	VGD	Prototipe	Error	% Error
1300	0,31	0,24	0,226	22,58%
1500	0,43	0,7	0,628	62,79%
2000	0,31	0,3	0,032	3,23%
2500	0,19	0,24	0,263	26,32%
3000	0,18	0,24	0,333	33,33%
Rata-Rata			0,296	29,65%

(Sumber: Mukhlisin, dkk., 2019:47)

Tabel 4. Rata-Rata Hasil Pengujian HC

RPM	Hasil Pengujian HC (ppm)			
	VGD	Prototipe	Error	% Error
1300	252	292	0,159	15,87%
1500	155	182	0,174	17,42%
2000	76	95	0,250	25,00%
2500	81	128	0,580	58,02%
3000	73	129	0,767	76,71%
Rata-Rata			0,386	38,61%

(Sumber: Mukhlisin, dkk., 2019:48)

Penelitian Koesegeran, dkk. (2013)

Pada penelitian yang dilakukan Koesegeran, dkk. tahun 2013 dengan judul “Perancangan Alat Ukur Kadar Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), dan Hidro Karbon (HC) Pada Gas Buang Kendaraan Bermotor” menggunakan sensor TGS 2201 untuk mengukur kadar CO dan HC serta sensor MG-811 untuk mengukur kadar CO₂. Studi literatur ini akan membahas hanya pada hasil pengukuran sensor TGS 2201.

Pengujian yang dilakukan pada kendaraan bermotor dalam kondisi mesin *idle* (lambat). Untuk mendapatkan hasil yang stabil, kendaraan digas terlebih dahulu pada torsi penuh selama ± 1 menit. Hasil pengujian prototipe dibandingkan dengan VGD milik Dinas Perhubungan Kota Manado. Dalam pengujian menggunakan prototipe, sensor mampu mencapai stabilitas setelah ± 2 menit untuk mendapatkan kadar emisi gas buang yang stabil untuk setiap pengukuran.

Penelitian ini melakukan pengujian pada kendaraan roda empat mesin 4 tak dan roda dua dengan mesin 2 tak. Pada masing-masing hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 5. dan Tabel 6. untuk mengetahui hasil pengujian kendaraan roda 4 dengan mesin 4 tak, serta Tabel 7. dan Tabel 8. untuk mengetahui hasil pengujian kendaraan roda 2 dengan mesin 4 tak.

Hasil penelitian Koesegeran, dkk. menunjukkan bahwa sensor TGS 2201 memiliki sensitivitas yang tinggi, baik terhadap kendaraan roda dua maupun roda empat. Selisih yang didapatkan tidak terpaut jauh dari hasil pengujian menggunakan instrumen VGD. Beberapa hasil pengukuran menunjukkan nilai yang sama seperti hasil VGD sehingga persentase error adalah 0 %.

Dari pengujian kendaraan bermotor roda empat, dapat ditentukan persentase nilai error yang didapatkan sebesar 21,17% dengan nilai error 0,21 pada CO dan persentase error 40,04% dengan nilai error 0,4 pada HC.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kendaraan Roda 4 Mesin 4 Tak

Kendaraan	VGD Dinas Perhubungan		Prototipe Alat Ukur	
	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
Xenia 1,0	11	0,01	22	0,03
Grand Livina	11	0,04	12	0,02
Xenia 1,3	12	0,04	17	0,02
Avanza	23	0,03	21	0,03
Avanza 1,3	24	0,03	20	0,03
Xenia Sport	30	0,05	29	0,04
Xenia 1,1	37	0,05	40	0,06
Kijang Expo 1,8	69	0,05	61	0,06
Avanza 1,3	74	0,09	81	0,11
Kijang Grand	98	0,11	95	0,13

(Sumber: Koesegeran, dkk., 2013:6)

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai Error dan Persentase Error Roda 4 Mesin 4 Tak

Kendaraan	Nilai Error		Persentase Error	
	HC	CO	HC	CO
Xenia 1,0	1,000	0,20	100,00	20,00
Grand Livina	0,091	0,05	9,09	5,00
Xenia 1,3	0,417	0,05	41,67	5,00
Avanza	0,087	0,00	8,70	0,00
Avanza 1,3	0,167	0,00	16,67	0,00
Xenia Sport	0,033	0,02	3,33	2,00
Xenia 1,1	0,081	0,02	8,11	2,00
Kijang Expo 1,8	0,116	0,02	11,59	2,00
Avanza 1,3	0,095	0,02	9,46	2,22
Kijang Grand	0,031	0,01	3,06	1,82
Rata-Rata	0,212	0,040	21,17	4,00

(Sumber: Koesegeeran, dkk., 2013:6)

Tabel 7. Hasil Pengujian Kendaraan Roda 2 Mesin 4 Tak

Kendaraan	VGD Dinas Perhubungan		Prototipe Alat Ukur	
	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
Mio 110cc	20	0,01	20	0,03
Spacy 110cc	21	0,03	22	0,06
Byson 150cc	21	0,05	24	0,03
Jupiter Z 110cc	24	0,04	25	0,03
JupiterMX 135cc	26	0,04	27	0,04
Mega Pro 150cc	27	0,03	24	0,03
Revo 110cc	36	0,04	22	0,03
Jupiter MX 135cc	38	0,04	36	0,05
Jupiter Z 110cc	39	0,06	38	0,05
Jupiter MX 135cc	67	0,13	61	0,11

(Sumber: Koesegeeran, dkk., 2013:6)

Tabel 8. Hasil Perhitungan Nilai Error dan Persentase Error Roda 2 Mesin 4 Tak

Kendaraan	Nilai Error		Persentase Error (%)	
	HC	CO	HC	CO
Mio 110cc	0,000	0,200	0,0	20,0
Spacy 110cc	0,048	0,100	4,7	10,0
Byson 150cc	0,143	0,040	14,3	4,0
Jupiter Z 110cc	0,042	0,025	4,17	2,5
JupiterMX 135cc	0,038	0,000	3,8	0,0
Mega Pro 150cc	0,111	0,000	11,1	0,0
Revo 110cc	0,389	0,025	38,9	2,5
Jupiter MX 135cc	0,053	0,025	5,3	2,5
Jupiter Z 110cc	0,026	0,017	2,6	1,7
Jupiter MX 135cc	0,090	0,015	8,9	1,5
Rata-Rata	0,09	0,45	9,38	4,47

(Sumber: Koesegeeran, dkk., 2013:6)

Penelitian Hidayat, 2015

Penelitian Hidayat tahun 2015 yang berjudul “Rancang Bangun Alat Uji Emisi Portabel Gas CO, NO_x, dan HC Pada Kendaraan Bermotor” menggunakan sensor MQ-7 untuk mengukur CO dan sensor TGS 2201 untuk mengukur HC dan NO_x. Pada prototipe ini memiliki dua sumber catu daya, yaitu AC melalui listrik PLN dan DC melalui baterai *rechargeable*. Data yang masuk ke sensor dibaca secara *real time* yang dipengaruhi oleh konsentrasi gas pada saat itu.

Tabel 9. Hasil Pengujian Daihatsu GrandMAX 1,5

CO (%)	HC (ppm)	Prototipe VGD		Perbandingan Error		Persentase Error (%)	
		CO (%)	HC (ppm)	CO	HC	CO	HC
0,43	119	0,40	106,86	0,070	0,102	6,98	10,20
0,43	119	0,40	105,63	0,070	0,112	6,98	11,24
0,43	119	0,44	104,53	0,023	0,122	2,33	12,16
0,43	119	0,43	106,86	0,000	0,102	0,00	10,20
0,43	119	0,44	109,33	0,023	0,081	2,33	8,13
0,43	119	0,42	112,48	0,023	0,055	2,33	5,48
0,43	119	0,40	114,40	0,070	0,039	6,98	3,87
0,43	119	0,43	109,33	0,000	0,081	0,00	8,13
0,43	119	0,42	112,48	0,023	0,055	2,33	5,48
0,43	119	0,43	108,10	0,000	0,092	0,00	9,16
Rata-Rata		0,421	109	0,030	0,084	3,02	8,40

(Sumber: Hidayat, 2015:30)

Pengukuran dilakukan pada mobil Daihatsu GrandMAX 1,5 2011 Van dengan uji sampel 10 kali dalam kondisi *idle*. Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada Tabel 9. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 7. bahwa nilai yang didapatkan oleh prototipe hampir mendekati nilai yang dihasilkan VGD. Pada pengukuran CO, nilai error yang didapatkan adalah 0 – 0,07 dengan persentase error tertinggi 6,98%. Sedangkan, pengukuran HC memiliki rentang nilai error 0,055 – 0,122 dengan persentase error tertinggi mencapai 12,16%. Kadar emisi yang dibaca oleh prototipe mendekati nilai stabil.

Faktor yang menyebabkan perbedaan nilai pengukuran dengan VGD adalah tidak tersaringnya dengan baik uap air dari emisi gas knalpot sehingga mempengaruhi sensitivitas sensor. Tentu saja jenis pemakaian sensor yang digunakan pada VGD jauh berbeda dengan sensor yang digunakan pada prototipe.

Penelitian Setyawan, dkk. (2018)

Penelitian milik Setyawan, dkk. Pada tahun 2018 dengan judul ”Prototipe Alat Deteksi Kandungan CO dan HC Dalam Kabin Kendaraan Menggunakan Mikrokontroler Arduino” memanfaatkan sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO dan sensor TGS 2611 untuk mendeteksi gas HC yang keluar dari knalpot kendaraan bermotor. Dalam penelitian ini akan dikembangkan sebuah sistem deteksi terhadap adanya gas berbahaya didalam kabin kendaraan dan system akan merespon dengan membunyikan *buzzer*, menampilkan jenis gas dilayar LCD serta memfungsikan aktuator penggerak kaca jendela kendaraan yang secara otomatis akan membuka semua kaca jendela kendaraan sehingga semua gas berbahaya dapat keluar dari kabin.

Eksperimen dilakukan menggunakan kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin. Pengujian setiap sampel dilakukan selama 30 detik untuk mendapatkan nilai yang stabil. Sebelumnya, kendaraan yang akan diuji sudah dinyalakan dalam kondisi *idle*, 2000 RPM, 4000

RPM, 6000 RPM, dan 8000 RPM yang masing-masing berdurasi 2 menit.

Pada penelitian ini, error rata-rata yang didapatkan dari pengukuran CO adalah 0,197 dengan persentase error sebesar 19,71% sedangkan nilai error pada HC hanya 0,066 dengan persentase sebesar 6,61% sesuai pada Tabel 10. dan Tabel 11.

Dapat kita lihat bahwa sensitivitas sensor TGS 2611 cukup baik karena hasil pengukuran yang didapatkan dari prototipe nyaris mendekati hasil asli dari VGD. Sedangkan, hasil pengukuran MQ-7 memiliki nilai error yang cukup banyak mengingat bahwa sensitivitas MQ-7 tidak sebaik TGS 2611. Perbedaan ini terjadi karena setiap sensor memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda-beda. Penyesuaian algoritma saat kalibrasi juga berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

Tabel 10. Hasil Pengujian Prototipe dibandingkan VGD

Uji	Gas Analyzer		Prototipe	
	CO (ppm)	HC (ppm)	CO (ppm)	HC (ppm)
1.	122	46	105	45
2.	165	48	124	46
3.	243	50	201	48
4.	256	51	209	48
5.	267	53	213	50
6.	274	56	219	51
7.	279	58	223	52
8.	283	72	227	65
9.	294	96	232	89
10.	298	101	234	93

(Sumber: Setyawan, dkk., 2018:59)

Tabel 11. Hasil Perhitungan Nilai Error dan Persentase Nilai Error

Uji	Nilai error		Persentase Error	
	CO	HC	CO (%)	HC (%)
1.	0,14	0,02	13,93	2,17
2.	0,25	0,04	24,85	4,17
3.	0,17	0,04	17,28	4,00
4.	0,18	0,06	18,36	5,88
5.	0,20	0,06	20,22	5,66
6.	0,20	0,09	20,07	8,93
7.	0,20	0,10	20,07	10,34
8.	0,20	0,10	19,79	9,72
9.	0,21	0,07	21,09	7,29
10.	0,21	0,08	21,48	7,92
Rata-Rata	0,197	0,066	19,71	6,61

(Sumber: Setyawan, dkk., 2018:59)

Penelitian Rajaguguk&Pratiwi. (2018)

Penelitian milik Rajaguguk&Pratiwi pada tahun 2018 dengan judul “Emission Gas Detector (EGD) for Detecting Vehicle Exhaust Based on Combined Gas Sensors” mendeteksi emisi gas CO dan HC menggunakan sensor TGS 2201, gas CO₂ menggunakan sensor MG-811, dan gas NO menggunakan sensor TGS 2602. Hasil pembacaan prototipe ini akan ditampilkan pada *smartphone* melalui modul *Bluetooth* HC-05.

Penelitian ini dilakukan menggunakan 15 tipe motor dengan tiga bensin yang berbeda jenis. Bensin yang digunakan, antara lain Pertamina, Peralite, dan Premium. Untuk hasil pengukuran masing-masing kendaraan bermotor menggunakan instrumen VGD tidak ditampilkan pada jurnal milik Rajaguguk&Pratiwi sehingga penulisan hasil perbandingan hanya mampu ditunjukkan melalui nilai rata-rata hasil pengujian. Rajaguguk&Pratiwi tahun 2018 melakukan penelitian yang difokuskan pada perbedaan hasil pengukuran emisi gas buang terhadap penggunaan bahan bakar bensin yang berbeda nilai oktannya.

Dapat dilihat pada Tabel 9, kadar emisi buang CO dan HC dengan nilai tertinggi terdapat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin Premium, sedangkan pada bahan bakar bensin Pertamina memiliki kadar emisi terendah dibandingkan ketiganya. Penggunaan sensor TGS 2201 untuk mendeteksi kadar CO dan HC memiliki nilai error yang tidak terpaut jauh dengan hasil pengukuran VGD jika dilihat dari perbandingan nilai rata-rata. Dapat dilihat pada Tabel 12. dan Tabel 13. bahwa nilai error pada emisi gas HC dengan bahan bakar Pertamina bernilai 0,09 dan nilai error CO sebesar 0,05. Persentase masing-masing adalah 8,88% untuk HC dan 5,3% untuk CO.

Untuk kendaraan dengan bahan bakar Peralite memiliki persentase error 9,65% pada CO dan 6,88% pada HC. Sementara itu, kendaraan dengan bahan bakar Premium memiliki persentase error sebesar 6,54% pada CO dan 6,85% pada HC.

Tabel 12. Hasil Perbandingan Nilai Rata-Rata Pengujian Menggunakan VGD dan Prototipe

Bensin	VGD		Prototipe	
	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)
Pertamax(PTM)	2,59	302	2,82	318
Peralite (PTL)	3,42	494	3,75	528
Premium(PRM)	4,59	584	4,89	624

(Sumber: Rajaguguk&Pratiwi, 2018:5)

Tabel 13. Hasil Perhitungan Nilai Error dan Persentase Nilai Error

Bensin	Nilai Error		Persentase Nilai Error (%)	
	CO	HC	CO	HC
Pertamax(PTM)	0,09	0,05	8,88	5,30
Peralite (PTL)	0,10	0,07	9,65	6,88
Premium(PRM)	0,07	0,07	6,54	6,85

(Sumber: Rajaguguk&Pratiwi, 2018:5)

Hasil pengukuran yang berbeda dengan VGD bisa diperkirakan terjadi kesalahan saat kalibrasi sensor. Faktor lain yang mempengaruhi adalah kebocoran emisi gas buang saat dilakukan pengujian, kondisi emisi gas buang yang memiliki nilai yang berubah-ubah sewaktu-waktu, dan pengaruh uap air yang keluar dari asap knalpot.

Penelitian S., Anton (2017)

Penelitian Anton S. tahun 2017 dengan judul “Alat Ukur Kadar Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) Gas Buang Kendaraan Bermotor Dengan Penampil Smartphone Android”. Pada penelitian ini menggunakan sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO dan MQ-2 untuk mendeteksi gas HC. Untuk menampilkan hasil pengukuran, prototipe ini menggunakan *Bluetooth* HC-05 untuk disambungkan *smartphone* sehingga tidak memerlukan LCD pada prototipe.

Pengujian dilakukan pada beberapa kendaraan bermotor roda empat dengan tahun pembuatan yang berbeda-beda namun menggunakan bahan bakar premium. Sebelum dilakukan pengukuran, kendaraan dipanaskan terlebih dahulu selama ± 5 menit untuk mendapatkan nilai yang lebih stabil.

Hasil pengujian pada Tabel 14. menunjukkan bahwa prototipe memiliki selisih yang tidak terpaut jauh dengan VGD. Pengujian ini dilakukan pada putaran 2000 RPM. Seperti pada hasil pengukuran kadar emisi CO pada Avanza 2011, terlihat hasil pengukuran VGD sebanyak 0,03 % sedangkan pada prototipe sebanyak 0,05 %. Hanya selisih 0,02 % dan memiliki persentase error 66,67%. Untuk HC pada Avanza 2014, terlihat jika kesalahan pengukuran prototipe hampir dua kali lipat dari pengukuran VGD sehingga persentase mencapai 90,91%. Sedangkan nilai error rata-rata pada pengukuran CO sebesar 29,17% dan pada HC sebesar 30,14%. Jika dilihat dari besar selisih VGD dan prototipe, terjadi sedikit perbedaan nilai yang terukur dapat diakibatkan karena perbedaan tingkat sensitivitas sensor terhadap konsentrasi gas yang diukur. Waktu pengukuran yang berbeda pun juga akan mengakibatkan perbedaan nilai terukur.

Tabel 14. Hasil Pengujian CO dan HC Menggunakan VGD dan Prototipe

Tipe Kendaraan	VGD		Prototipe		Nilai Error		Persentase Nilai Error	
	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO	HC	CO	HC
Avanza 2011	0,03	26	0,05	27	0,07	0,04	6,67	3,85
Kijang Inova 2013	0,02	28	0,03	29	0,05	0,04	5,00	3,57
Avanza 2016	0,01	9	0,01	11	0,00	0,22	0,00	22,22
Avanza 2014	0,01	11	0,01	21	0,00	0,91	0,00	90,91
Rata-Rata					0,03	0,30	2,92	30,14

(Sumber: S., Anton, 2017:10)

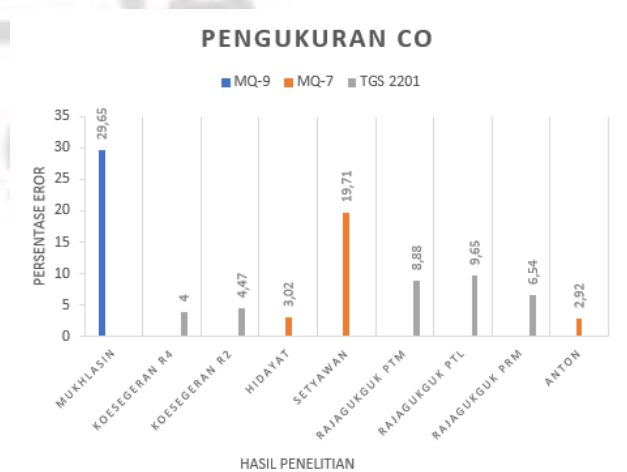
Analisa Pengaruh Perbedaan Sensor Gas terhadap Persentase Error Hasil Pengukuran Prototipe VGD

Berdasarkan nilai rata-rata pada Tabel 3. hingga Tabel 14. menunjukkan beberapa nilai yang bervariasi pada hasil pengukuran menggunakan sensor gas yang berbeda-beda. Maka hasil analisa dapat dilihat pada Gambar 2.

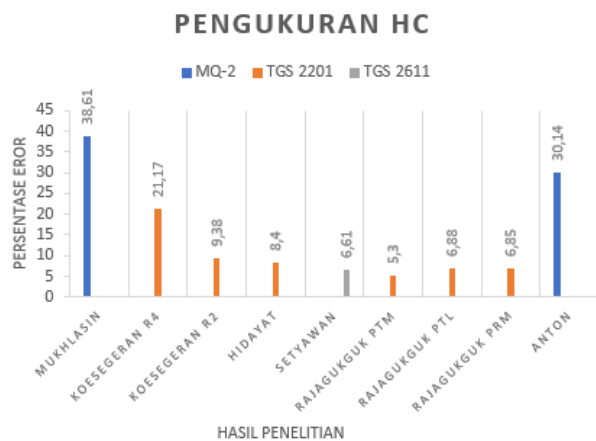
Pada Gambar 3, data diambil dari nilai rata-rata tiap penelitian terhadap hasil pengukuran kadar CO pada prototipe VGD. Terlihat bahwa persentase nilai error yang relatif rendah ada pada sensor TGS 2201. Pada penelitian yang menggunakan sensor TGS 2201 memiliki persentase nilai error di bawah 10%. Sedangkan pada penelitian yang menggunakan MQ-7, dari tiga penelitian terdapat satu penelitian yang memiliki persentase nilai error mendekati 20%. Namun, dua penelitian lainnya memiliki persentase nilai error di bawah 5%. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat sensitivitas MQ-7 masih cukup baik dan hampir sama dengan TGS 2201.

Lain halnya dengan sensor MQ-9 yang masih memiliki persentase nilai error yang mencapai 29,65%. Dilihat dari nilai rata-rata persentase error tersebut, sensor MQ-9 dianggap belum layak jika digunakan sebagai sensor utama dalam sebuah prototipe VGD. Nilai pembacaan yang belum stabil akan membuat banyak kesalahan dalam pengukuran kadar emisi gas buang kendaraan. Pada Gambar 4, data diambil dari nilai rata-rata tiap penelitian terhadap hasil pengukuran kadar HC pada prototipe VGD. Terlihat bahwa persentase nilai error yang relatif rendah ada pada sensor TGS 2611.

Pada pengukuran emisi HC, persentase nilai error yang dihasilkan oleh sensor TGS 2611 adalah 6,61%. Sedangkan pada sensor TGS 2201, hasil pengukuran memiliki persentase nilai error yang bervariasi, dari angka 5,3% hingga mencapai 21,17%. Jika dilihat dari grafik, sensor TGS 2611 dan TGS 2201 memiliki tingkat sensitivitas yang hampir sama. Terlebih lagi, keduanya diproduksi oleh pabrik yang sama.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Tiap Sensor Terhadap Hasil Pengukuran CO



Gambar 4. Grafik Perbandingan Tiap Sensor Terhadap Hasil Pengukuran HC

Di sisi lain, hasil pengukuran HC menggunakan sensor MQ-2 memiliki persentase nilai error yang terpaut jauh jika dibandingkan dengan dua sensor lainnya. Tentu saja sensitivitas tiap sensor akan berbeda sesuai dengan bahan dasar dan standar pengemasan sensor tersebut.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisisnya, dapat disimpulkan bahwa sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi kadar emisi CO pada penelitian ini adalah MQ-7, TGS 2201, dan MQ-9. Sedangkan, sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi kadar emisi HC adalah MQ-2, TGS 2201, dan TGS 2611. Dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor gas yang baik digunakan sebagai pendeteksi kadar emisi CO dengan tingkat sensitivitas yang tinggi adalah sensor TGS 2201 dan MQ-7. Sedangkan, sensor gas yang baik digunakan untuk mendeteksi kadar emisi HC adalah TGS 2611 dan TGS 2201.

Hasil rata-rata persentase nilai error pada pengukuran CO menggunakan prototipe VGD baik pada kendaraan bermotor roda dua dan roda empat dapat disimpulkan dari Gambar 3., antara lain 4%; 4,47%; 8,88%; 9,65%; dan 6,54% menggunakan sensor TGS 2201. Persentase nilai error sebesar 3,02%; 19,71%; dan 2,92% menggunakan sensor MQ-7. Serta, persentase nilai error sebesar 29,65% menggunakan sensor MQ-9. Sementara itu, hasil rata-rata persentase nilai error pada pengukuran HC menggunakan prototipe VGD pada kendaraan bermotor roda dua maupun roda empat dapat disimpulkan dari Gambar 4., antara lain 6,61% menggunakan sensor TGS 2611. Persentase nilai error sebesar 21,17%; 9,38%; 8,4%; 6,88%; dan 6,85% menggunakan sensor TGS 2201.

Serta, persentase nilai error sebesar 38,61% dan 30,14% menggunakan sensor MQ-2.

Saran

Artikel ilmiah ini menggunakan referensi dari berbagai sumber jurnal sebagai data primer hasil pengukuran kadar emisi gas buang CO dan HC sehingga perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengukuran emisi gas buang CO dan HC menggunakan sensor gas yang lebih baik. Sensor yang baik memiliki sensitivitas yang lebih peka dan ketika melakukan kalibrasi akan lebih akurat. Kesalahan-kesalahan bisa terjadi karena penentuan algoritma saat kalibrasi berpengaruh besar untuk hasil pengukuran terhadap kadar emisi kendaraan bermotor. Oleh karena itu, akan lebih baik jika kalibrasi dilakukan dengan teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Fajri, M. Iqbal. (2018) Deteksi Status Kanker Paru-Paru Pada Citra CT Scan Menggunakan Metode Fuzzy Logic. [Skripsi, tidak diterbitkan]. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Hidayat, Wahyu. (2015) Rancang Bangun Alat Uji Emisi Portabel Gas CO, NOx, dan HC Pada Kendaraan Bermotor. [Tugas Akhir, tidak diterbitkan]. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Khan, Najeeb Ullah., Hasan, M. (2016) Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine using Alternative Fuels. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5 (7): 1817, July 2016.
- Koesegeran, Victor V., dkk. (2013). Perancangan Alat Ukur Kadar Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂) dan Hidro Karbon (HC) Pada Gas Buang Kendaraan Bermotor. *e-Journal Teknik Elektro dan Komputer*: 2013.
- Mukhlasin, Mohamad Adzina., dkk. (2019) Rancang Bangun Alat Uji Emisi Ekonomis Menggunakan Sensor Gas MQ2 dan MQ9 Berbasis Arduino. *Jurnal Reaktom*, 4 (1): 39-44.
- Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat. (2018) *Pelaksanaan Uji Emisi Gas Buang Pada Pengujian Tipe Kendaraan Bermotor*. Jakarta: Direktur Jenderal Perhubungan Darat.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2006. (2006) *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*. Jakarta: Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Putro, Irvan Adhi Eko., Abadi, Imam. (2012) Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang, Studi Kasus: Pengukuran Gas Karbon Monoksida (CO). *E-Journal ITS*: 1.
- Rajagukguk, Juniastel., Pratiwi, Rani Atika. (2018) Emission Gas Detector (EGD) for Detecting Vehicle

- Exhaust Based on Combined Gas Sensors. *Journal of Physics: Conference Series*.
- S., Anton. (2017) Alat ukur kadar karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) gas buang kendaraan bermotor dengan penampil smartphone android. [Skripsi, tidak diterbitkan] Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Sarungallo, Samuel Kete., dkk. (2017) Rancang Bangun Alat Ukur Uji Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis Mikrokontroler. *Teknologi Elektro*, 16(1): 141, Januari-April 2017.
- Setyabudi, Ismanto. (2017) The Analysis of Exhaust Gas Characterization in Reducing CO and HC Gas Pollution on the EFI Engine of Daihatsu Luxio 1500 CC. *The International Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 1(1): 8-14.
- Setyawan, Reinaldi Teguh., dkk. (2018) Prototipe Alat Deteksi Kandungan CO dan HC Dalam Kabin Kendaraan Menggunakan Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ*, 8(2).
- SMKN 2 Surabaya. (2019) *Spesifikasi VGD Heshbon HG-520*. SMKN 2 Surabaya, Surabaya.
- Warju. (2009) *Pengujian Emisi Gas Buang*. Surabaya: Unesa University Press.
- Wibawa, I Wayan Arip., dkk. (2015) Perancangan Alat Uji Detektor Emisi Gas Buang yang Dilengkapi Dengan Interface Komunikasi USB. *Jurnal Logic*, 15(2): 70, Juli 2015.
- Winarno, Joko. (2014) Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin Pada Berbagai Merk Kendaraan dan Tahun Pembuatan. *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra*: 1.

