



PEMANFAATAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATU BARA SEBAGAI ADSORBEN EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR BERBAHAN BAKAR BIOGAS-BENSIN

UTILIZATION OF COAL FLY ASH AS AN ADSORBENT FOR EXHAUST EMISSIONS OF MOTOR VEHICLES FUELED BY BIOGAS-GASOLINE

R.Y. Prakoso*¹, H.S. Tira, I.D.K. Okariawan

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 082231411341

*E-mail: rivaldoyudhoprakoso@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:
Received
Accepted
Available online

Keywords:
Fly Ash
pertalite-biogas
adsorbent
emissions



Every year fuel consumption in Indonesia continues to increase which causes more emissions so that an environmentally friendly substitute fuel is needed, namely biogas. However, biogas has another content, namely CO₂ which is not good for the environment. So a combination of pertalite, biogas and adsorbent is needed to reduce emissions.

The purpose of this study was to determine the characteristics of HC, CO and CO₂ from two-wheeled vehicle emissions on biogas-pertalite dual fuel with the addition of adsorbents. This study used fly ash adsorbents with NaOH activators with variations in concentrations of NaOH solution of 0, 4, 8, and 12%. The test process was carried out by inserting the adsorbent into the exhaust gas channel of two-wheeled vehicles using dual fuel conditions, then the adsorbent will pass through the emissions.

The results of this study indicate that the use of adsorbents is the most influential factor in reducing the resulting emissions. the best solution concentration containing is activation of 12% NaOH concentration containing CO; CO₂, and consecutive HC with an average value of 0,02 %; 2,13% and 200,67 ppm.

1. PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor merupakan salah satu transportasi yang paling disukai oleh masyarakat Indonesia. Hal ini terjadi karena selain harganya yang terjangkau untuk masyarakat kelas menengah kebawah terdapat kelebihan fleksibilitas terutama dalam menghindari kemacetan di jalan raya. Penggunaan kendaraan bermotor menyebabkan terjadinya polusi udara yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar dalam mesin. Adapun emisi utama yang dikeluarkan oleh asap kendaraan bermotor yaitu HC, CO, dan CO₂. Senyawa-senyawa tersebut berakibat buruk pada

lingkungan seperti terjadinya pemanasan global dan pada manusia dapat menyebabkan kematian jika dihirup dalam jumlah dan jangka waktu tertentu. Oleh karenanya diperlukan upaya untuk mengurangi emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor.

Upaya pengurangan emisi kendaraan bermotor telah banyak dilakukan dengan berbagai metode dan teknik yang berbeda. Salah satu metode yang digunakan yaitu metode adsorpsi. Metode adsorpsi merupakan suatu metode yang menggunakan material berpori sebagai penyerap suatu senyawa tertentu yang terdapat pada suatu fluida. Metode adsorpsi digunakan dengan cara memasang adsorben pada saluran gas buang kendaraan. Adsorben berperan sebagai saringan yang menyerap emisi gas buang yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Salah satu bahan yang dapat dijadikan sebagai adsorben adalah *fly ash*.

Fly ash atau abu terbang adalah abu yang dihasilkan dari pelelehan material anorganik yang terdapat pada batu bara. Pada awalnya *Fly ash* dikategorikan sebagai limbah B3 oleh pemerintah, namun seiring berjalannya waktu pada tahun 2021 pemerintah mengeluarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan pada peraturan tersebut *fly ash* tidak lagi dikategorikan sebagai limbah B3. Komponen penyusun *fly ash* bergantung pada sumber batu bara yang dibakar, namun komponen SiO_2 dan CaO adalah komponen yang selalu dijumpai pada *fly ash* (Mufrodi, 2010).

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan dalam upaya menurunkan emisi pada kendaraan bermotor seperti yang dilakukan oleh Abdul Ghofur dkk., (2018) dimana digunakan *fly ash* dengan zat kaolin sebagai filter gas buang terhadap performa mesin sepeda motor satria FU 150 yang berbahan bakar bensin. Adapula yang menggunakan *fly ash* untuk menurunkan emisi gas karbon monoksida dan karbon dioksida pada kendaraan bermotor berbahan bakar bensin dimana digunakan variasi massa, diameter, dan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat (Faradilla, dkk., 2016).

Pada penelitian sebelumnya hanya menggunakan *fly ash* sebagai adsorben pada kendaraan bermotor yang berbahan bakar bensin. Berdasarkan uraian tersebut belum adanya yang menggunakan *fly ash* sebagai adsorben pada kendaraan bermotor yang berbahan bakar campuran (bensin-biogas) membuat penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang “Pemanfaatan Abu terbang (*fly ash*) Batu bara Sebagai Adsorben Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbahan bakar Biogas-Bensin”.

1.1 Tinjauan pustaka

(Lasryza dan Sawitri., 2012) melakukan penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* batu bara sebagai adsorben emisi gas CO pada kendaraan bermotor. Dalam penelitian tersebut digunakan variasi suhu aktivasi fisis yaitu pemanasan pada suhu 500 °C, 520 °C, 540 °C, 560 °C, 580 °C, dan 600 °C. Aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu aktivasi fisis terbaik didapatkan pada suhu 540 °C dan diaktivasi kimia menggunakan NaOH dengan perbandingan massa *fly ash* : NaOH = 1:1,2.

(Lestari., 2013) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah abu terbang batu bara sebagai adsorben untuk penentuan kadar gas NO_2 di udara. Variasi yang digunakan yaitu aktivasi menggunakan H_2SO_4 (1%, 2%, dan 3%), waktu penyerapan (5, 10, 15, 20, 25 menit), kemudian campuran *fly ash* dan pereaksi. Hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi larutan aktivasi H_2SO_4 2 %, dengan waktu penyerapan 5 menit untuk tanpa penambahan pereaksi NaOH. Sedangkan dengan penambahan pereaksi NaOH konsentrasi larutan aktiasi terbaik H_2SO_4 1 %.

(Faradilla dkk., 2016) melakukan penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben karbon monoksida dan karbon dioksida pada emisi gas kendaraan bermotor. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk menganalisis kemampuan *fly ash* sebagai adsorben CO dan CO_2 . Variasi yang digunakan berupa variasi massa (100,200,dan 300 gram), diameter (100,200,dan 300 mesh), dan waktu kontak (0-20 menit). Hasil terbaik ditunjukkan pada variasi menggunakan massa 300 gram, diameter 300 mesh dan waktu kontak maksimum untuk CO dan CO_2 adalah 12 menit dan 14 menit dengan penurunan emisi mencapai 81,65% untuk CO dan 65,15% untuk CO_2 .

(Ghofur dkk., 2018) meneliti tentang pemanfaatan *fly ash batu bara* dengan aditif kaolin sebagai filter gas buang terhadap performa mesin sepeda motor satria FU 150. Variasi yang digunakan yaitu perbandingan komposisi adsorben. Variasi perbandingan komposisi *fly ash* dengan kaolin yang digunakan adalah 54:13 , 54:8, 54:4 dalam satuan gram. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu untuk mengetahui performa mesin 150 cc yang dihasilkan pada mesin 150cc dengan sistem karburator.

1.1.1 Dasar teori

Motor bensin merupakan suatu jenis mesin kalor yang mengubah energi kimia (bensin) menjadi energi kerja mekanis dalam bentuk putaran poros pada mesin. Proses pengubahan energi kimia menjadi energi mekanis diawali dengan mengubah bahan kimia menjadi energi panas melalui proses pembakaran dengan udara dalam mesin. Energi panas tersebut akan meningkatkan temperatur dan tekanan dalam pada ruang bakar yang mana akan mengakibatkan ekspansi mekanik pada mesin.(Arismunandar, 1998). Gerakan ekspansi tersebut diubah menjadi putaran pada crankshaft yang merupakan output dari mesin. Crankshaft dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya.

Pengontrolan emisi gas buang merupakan suatu usaha untuk membatasi emisi gas buang yang keluar dari kendaraan bermotor. Pengontrolan emisi gas buang pada kendaraan bermotor bertujuan untuk mereduksi karbon

monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan nitrogen oksida (NOx) pada gas buang. Untuk mereduksi emisi pada gas buang kendaraan tersebut terdapat beberapa cara atau metode yang bisa digunakan, yaitu modifikasi mesin, modifikasi saluran gas buang (knalpot) dan modifikasi penggunaan bahan bakar.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan skema aparatus seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian proses uji emisi bahan bakar ganda

Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1. Alat dan bahan

Tabel 1. Alat dan bahan

Nama	Spesifikasi
<i>Automotive Emission Analyzer</i>	<i>NHA-405</i>
<i>Ball flow meter</i>	<i>Laju aliran 1-10 liter/menit</i>
Gelas ukur	
Motor Supra X 125	Mesin 4 langkah dengan kapasitas 124,89 cc
Tabung LPG	3 kg
<i>Thermocouple</i>	<i>HT-9815</i>

Adapun variabel dalam penelitian ini Adapun variabel terikat pada penelitian ini adalah Gas buang, CO, CO₂, dan HC kendaraan bermotor. dan variabel bebas yaitu Adsorben dengan aktivasi larutan NaOH 4, 8, 12 % dan waktu pengovenan atau pemanasan 3 jam dengan temperatur 400°C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data awal merupakan data yang digunakan sebagai standar acuan untuk mengetahui penurunan emisi gas buang setelah diberikan adsorben. Data awal yang digunakan adalah data emisi yang tidak menggunakan adsorben yang meliputi kondisi *single fuel* dan *dual fuel*. Setiap data dilakukan 3 kali pengulangan, kemudian data tersebut diambil nilai rata-rata, adapun data yang diambil meliputi HC, CO, dan CO₂.

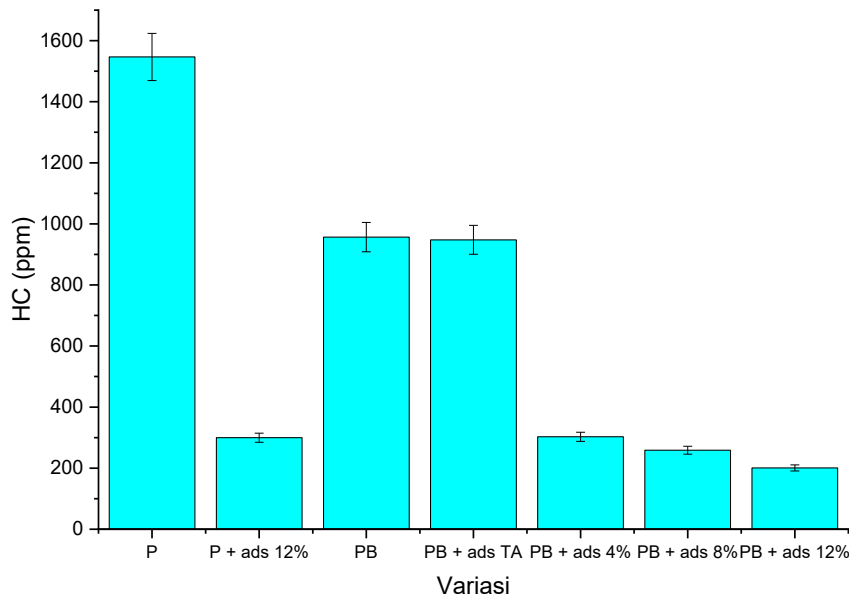
Tabel 2. Data awal kandungan emisi gas buang

Variasi	Pengambilan data ke-	Kandungan Emisi		
		HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)
<i>Single fuel</i> (Pertalite)	1	1516	0,97	1,70
	2	1606	1	1,81
	3	1518	0,98	1,59
	Rata-rata	1546.67	0,98	1,70
<i>Dual fuel</i> (Pertalite-Biogas)	1	1413	0,07	2,90
	2	1460	0,08	2,92
	3	1393	0,07	2,90

	Rata-rata	1422	0,07	2,91
--	-----------	------	------	------

Pada bagian ini akan diuraikan grafik yang menggambarkan data hasil uji emisi setelah melewati adsorben dengan variasi larutan aktivasi kimia NaOH. Adsorben yang digunakan adalah *fly ash* yang diaktivasi menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 0%, 4%, 8% dan 12% selanjutnya akan dilanjutkan proses pemanasan dalam oven dengan suhu 400°C selama 3 jam.

Hidrokarbon yang ada pada emisi gas buang ialah senyawa dalam bahan bakar yang tidak terbakar habis dalam proses pembakaran. Emisi HC terbentuk dari berbagai macam hal, dan salah satunya dikarenakan tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna pada ruang bakar, satuan dari hidrokarbon itu sendiri adalah *part per million* (ppm). Dari pengujian emisi diperoleh data pengujian sebagai berikut.



Gambar 2 Grafik hubungan antara variasi dengan kandungan HC.

Keterangan :

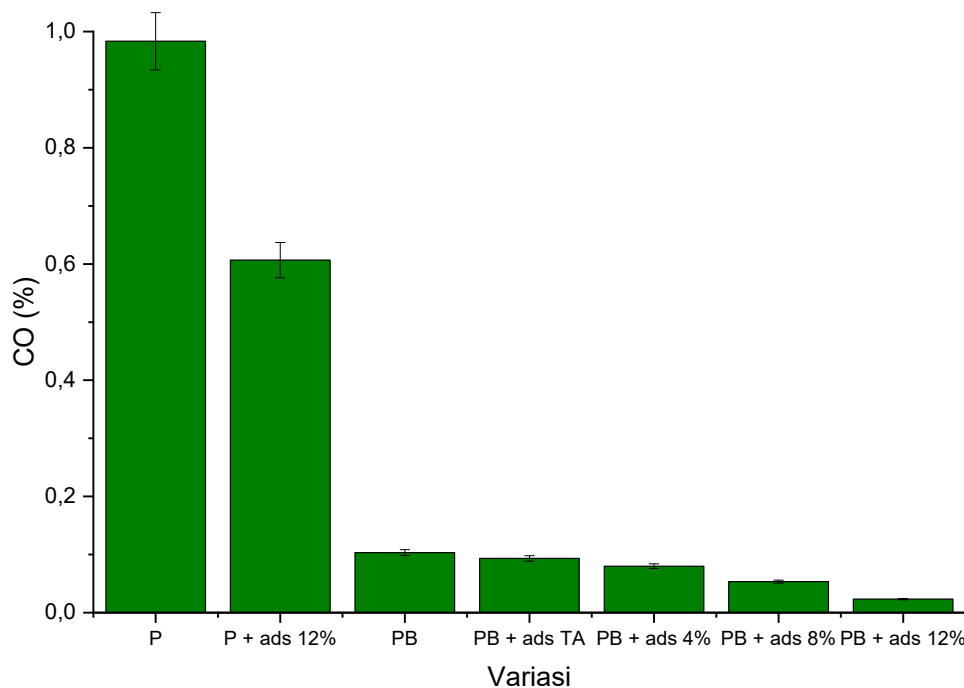
- P = pertalite
- P + ads 12% = pertalite + adsorben *fly ash* konsentrasi larutan 12%
- PB = pertalite - biogas
- PB ads TA = pertalite - biogas + adsorben *fly ash* tanpa aktivasi
- PB + ads 4% = pertalite - biogas + adsorben *fly ash* konsentrasi larutan 4%
- PB + ads 8% = pertalite - biogas + adsorben *fly ash* konsentrasi larutan 8%
- PB + ads 12% = pertalite - biogas + adsorben *fly ash* konsentrasi larutan 12%

Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat kandungan emisi HC tertinggi ada pada penggunaan pertalite atau *single fuel* (P) dengan nilai rata-rata 1546,67 ppm. Sedangkan untuk kandungan emisi HC terendah ada pada penggunaan pertalite - biogas (*dual fuel*) dan telah melewati adsorben konsentrasi larutan 12% (PB + ads 12%) dengan nilai rata-rata 200,67 ppm. Persentase penurunan emisi antara pertalite-biogas dan pertalite-biogas ditambah adsorben adalah untuk PB + ads TA turun sebesar 0,94%, untuk PB + ads 4% turun sebesar 68,36%, untuk PB + ads 8% turun sebesar 72,96%, dan untuk PB + ads 12% turun sebesar 79,02%. Dari data kandungan emisi HC dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan bahan bakar ganda (*dual fuel*) dan penambahan adsorben abu terbang dengan konsentrasi larutan dapat mengurangi kandungan HC pada emisi gas buang. Menurut Ghofur dkk (2021) adsorben memiliki daya serap tinggi sehingga gas buang terserap saat melewati adsorben.

Alasan lain yang menyebabkan kandungan HC menurun dikarenakan peran adsorben *fly ash* yang sudah di aktivasi dengan larutan basa NaOH yang dapat melarutkan pengotor pada adsorben tersebut, sehingga pori-pori menjadi lebih terbuka, akibatnya luas permukaan spesifik porinya menjadi meningkat. Peningkatan luas permukaan spesifik pori dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya (Widiharti, 2008) sedangkan pada penelitian yang dilakukan Annisa Rizky Faradillah dkk. (2016) dengan menggunakan larutan asam H₂SO₄ sebagai aktivasinya mampu menghilangkan mineral dan mengikat logam-logam pengotor yang menghambat adsorpsi. Tujuan tetap sama agar meningkatkan efisiensi dari rasio Si/Al untuk meningkatkan penyerapan gas emisi agar lebih maksimal.

Karbon monoksida (CO) adalah gas hasil pembakaran yang bersifat beracun dikarnakan pembakaran yang tidak sempurna dalam kerja motor yang disebabkan kurangnya udara dalam campuran yang masuk keruang bakar, atau

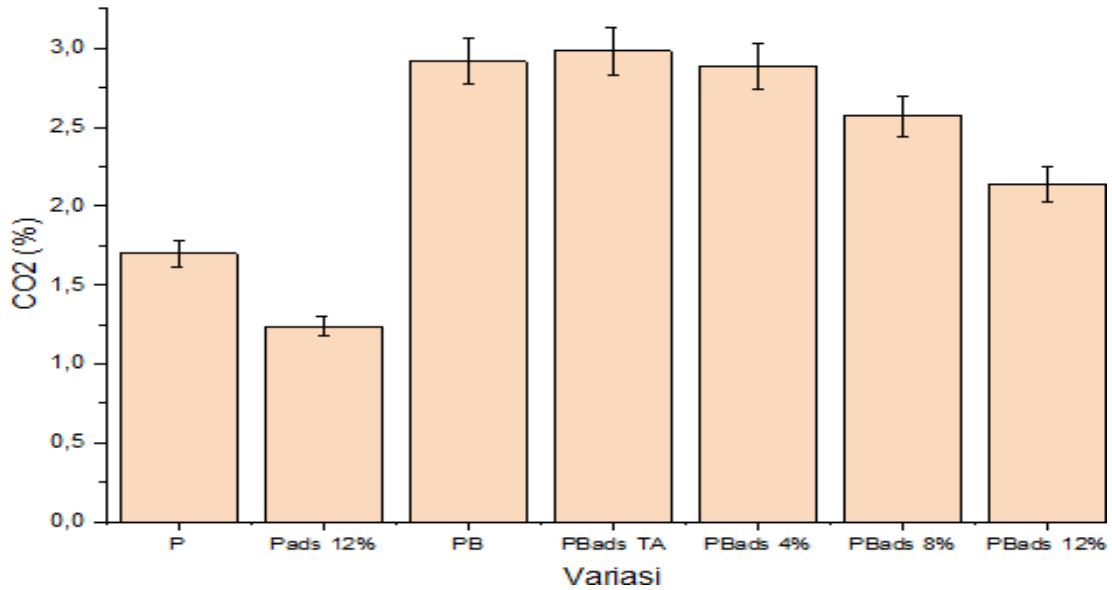
bisa jadi dikarenakan kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran, CO itu sendiri diukur dalam satuan (%). Dari pengujian emisi diperoleh data pengujian sebagai berikut.



Gambar 3 Grafik hubungan antara variasi dengan kandungan CO.

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat kandungan emisi CO tertinggi ada pada penggunaan pertalite atau *single fuel* (P) dengan nilai rata-rata 0,98%. Sedangkan untuk kandungan emisi CO terendah ada pada penggunaan pertalite - biogas (*dual fuel*) dan telah melewati adsorben konsentrasi larutan 12% (PB + ads 12%) dengan nilai rata-rata 0,01%. Persentase penurunan emisi antara pertalite-biogas dan pertalite-biogas ditambah adsorben adalah untuk PB + ads TA turun sebesar 58,25%, untuk PB + ads 4% turun sebesar 67,96, untuk PB + ads 8% turun sebesar 80,58% dan untuk PB + ads 12% turun sebesar 87,08%. Dari data kandungan emisi CO dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan bahan bakar ganda (*dual fuel*) dan penambahan adsorben *fly ash* dengan konsentrasi larutan dapat mengurangi kandungan CO pada emisi gas buang.

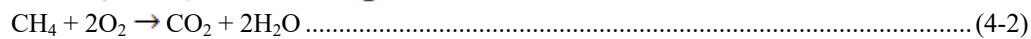
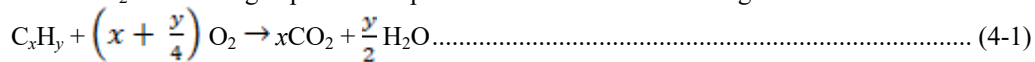
Biogas mengandung senyawa CH_4 yang memiliki nilai oktan yang tinggi yaitu 120 dan nilai HHV 44,22 MJ/m^3 yang menyebabkan proses pembakaran menjadi lebih sempurna karena proses pencampuran dengan oksidan lebih baik (Karczewski dkk, 2021). Hal ini dapat terjadi karena metana (CH_4) adalah gas, sehingga pencampuran dengan oksidan menjadi lebih mudah dibandingkan pencampuran oksidan dan bahan bakar cair. Pembakaran yang baik dalam arti semua bahan bakar baik itu gas (CH_4) dan cair (pertalite) menyebabkan emisi CO menurun (Mustafi dan Raine, 2008). Penambahan adsorben adsorben juga berpengaruh dalam penurunan kandungan CO, menurut Redha dkk (2018) adsorben sangat efektif karena memiliki luas permukaan area yang tinggi dan volume pori yang besar sehingga dapat menyerap gas lebih besar, hasil pengujian yang dilakukan menggunakan adsorben arang kulit cangkang biji kopi mendapatkan hasil penurunan CO sebesar 6,62 - 39,02%.



Gambar 4 Grafik hubungan antara variasi dengan kandungan CO₂.

Berdasarkan gambar 4 dapat dilihat kandungan emisi CO₂ tertinggi ada pada penggunaan pertalite-biogas ads TA dengan nilai rata-rata 3,12%. Sedangkan untuk kandungan emisi CO₂ terendah ada pada penggunaan pertalite dan adsorben konsentrasi larutan 12% (P + ads 12%) dengan nilai rata-rata 1,31% diikuti penggunaan pertalite tanpa melewati adsorben dengan nilai rata-rata 1,7%. Persentase penurunan emisi antara pertalite-biogas dan pertalite-biogas ditambah adsorben adalah untuk PB ads TA mengalami kenaikan sebesar 7,21%, untuk PB + ads 4% turun sebesar 1,03%, untuk PB + ads 8% turun sebesar 11,68%, dan untuk PB + ads 12% turun sebesar 26,65%. Dari data kandungan emisi CO₂ dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan bahan bakar ganda (*dual fuel*) dan penambahan adsorben *fly ash* dengan konsentrasi larutan dapat mengurangi kandungan CO₂ pada emisi gas buang.

Dari hasil data kandungan emisi CO₂ pada penggunaan P + ads 8% dan PB + ads 8% peran adsorben dalam menurunkan CO₂ lebih dominan daripada biogas (Lampiran 3). Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada dasarnya CO₂ merupakan buangan dari sisa hasil pembakaran yang sempurna. Dalam penelitian ini, dengan adanya biogas yang memiliki nilai oktan tinggi menyebabkan hasil pembakaran menjadi lebih baik sehingga akan menaikkan konsentrasi CO₂ sesuai dengan persamaan pembakaran Hidrokarbon sebagai berikut:



Data hasil penggunaan CO₂ Pertalite-Biogas (PB) membuktikan persamaan 4-2 dimana kandungan CO₂ lebih tinggi daripada data kandungan CO₂ yang lainnya. Hal ini juga diperkuat oleh Karczewski dkk (2021) yang menyatakan bahwa biogas mampu menaikkan kandungan CO₂ hingga 27%.

DAFTAR PUSTAKA

Akunna, J. C., 2019, *Anaerobic Waste-Wastewater Treatment and Biogas Plants A Practical Handbook*, CRC Press:Francis.

Arismunandar, W. 1990, *Motor Bakar Torak*. Cetakan ketiga, Penerbit ITB Bandung.

Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisika Jilid 2. Terjemahan oleh Irma I.Kartohadipirojo*.1999. Jakarta: Erlangga

Dienullah, M., Tira, H.S., dan Padang, Y.A., 2017, *Pemurnian Biogas Dengan Sistem Berlapis Menggunakan Fe₂O₃, Zeolit Sintetik dan Zeolit Alam*, Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram: Mataram.

Faradilla, A. R., Yulinawati, H., dan Suswanto, E., 2016, *Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Adsorben Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida Pada Emisi Kendaraan Bermoto*, Seminar Nasional Cendikiawan, ISSN (E) 2540-7589.

Ghofur, A., Mursadin, A., Amrullah, A., Saputra, M. R. P., Ahmad, N. K. (2021). Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Adsorben Tanah Gambut Dalam Menurunkan Emisi Gas Buang Dan Evaluasi Performance Mesin Kendaraan Bermotor. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 6(2).

- Ghofur, A., Atikah, Soemarno, dan Hadi, A., 2014, *Karakterisasi Fly Ash Batubara Sebagai Bahan Katalik Konversi Dalam Mereduksi Gas Buang HC dan CO Kendaraan Bermotor*, Prosiding SNST ke-5, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Ghofur, A., Siswanto, R., Murjiant, S., 2018, *Pemanfaatan Fly Ash Batubara Dengan Aditif Kaolin Sebagai Filter Gas Buang Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Satria FU 150*, Jakung, Vol. 4, No.1.
- Hill, C.G., dan Root, T.W., 2014, *Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design Second Edition*, WILEY, Canada.
- Jakarta.com, 2021, "Kenapa Limbah B3 Fly Ash Batu Bara Kok Dikategorikan Menjadi Limbah Non B3, Ada apa?", <https://jakartasatu.com/2021/03/12/kenapa-limbah-b3-fly-ash-batu-bara-kok-dikategorikan-menjadi-limbah-non-b3-ada-apa/>, diakses pada Kamis 16 Juni 2022.
- Jayanti, N. E., Hakam, M., dan Santiasih, I., 2014, Emisi Gas Carbon Monoksida (CO) dan Hidrocarbon (HC) Pada Rekayasa Jumlah Blade Turbo Ventilator Sepeda motor "Supra X 125 Tahun 2006", Rotasi, Vol. 16, No.2
- Jeranjang OMU, 2022, *Laporan Hasil Pengujian Fly Ash dan Bottom Ash*, PT. Anugrah Analisis Sempurna, Jakarta.
- Karczewski, M., Chojnowski, J., Szamrej, G. (2021). A Review Of Low-CO₂ Emission Fuels For A Dual-Fuel RCCI Engine. *Energies*, 14(16), 5067.
- Lasryza, A., dan Sawitri, D., 2012, *Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Emisi Gas CO pada Kendaraan Bermotor*, Jurnal Teknik Pomits, Vol. 1, No. 1.
- Lempang, M. (2014). Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif. *Buletin Eboni*, 11(2), 65-80.
- Lestari, Y. T., 2013, *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Adsorben untuk Penentuan Kadar Gas NO₂ Di Udara*, Skripsi Jurusan Kimia: Universitas Jember.
- Mizan, A. (2016). Pemanfaatan Arang Sekam Padi Sebagai Adsorben Fenol. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 14(1).
- Mustafi, N. N., Raine, R. R. (2008). A Study Of The Emissions Of A Dual Fuel Engine Operating With Alternative Gaseous Fuels (No. 2008-01-1394). SAE Technical Paper.
- Redha, F., Junaidy, R., dan Hasmita, I. (2018). Penyerapan Emisi Co Dan Nox Pada Gas Buang Kendaraan Menggunakan Karbon Aktif Dari Kulit Cangkang Biji Kopi-(Co and Nox Emissions Adsorption in Gas Vehicles Using Activated Carbon From Coffee Bean Shell). *Biopropal Industri*, 9(1), 37-47.
- Rosika K., Arif Nugroho, *Aplikasi XRF (X-Ray Fluorescence) Untuk Analisa Unsur Dalam Bahan*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional & Expo IPTEK MIPA 2005, FMIPA-UI Depok, 24-26 November 2005.
- Setiawan, Y., Surahman, A., dan Kailani, Z., 2012, *Pencemaran Emisi Boiler Menggunakan Batubara Pada Industri Tekstil Serta Kontribusinya Terhadap Gas Rumah Kaca (GRK)*, Jurnal Ilmiah Arena Tekstil, Vol. 27, No.2.
- Siregar, A. M., Siregar, C. A., Yani, M. (2019). Rekayasa Saluran Gas Buang Sepeda Motor Guna Mengurangi Pencemaran Udara. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 171-179.
- Sukandarrumidi, 2009, *Batubara dan pemanfaatannya*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Wasche, K., 2005, *Fly Ash In Concrete Properties and Performance*, E & FN Spon: London.
- Wiratno, T., S. Rahardjo, Wirdan J. Suwignyo. 2012. *Perhitungan Daya dan Konsumsi Bahan Bakar Motor Bensin Yamaha LS 100 cc*. TRAK SI, Vol.12 No.2