



## Efektifitas Temperatur Aktivasi Arang Berbahan Tempurung Kelapa terhadap Kualitas Emisi Gas Buang Kendaraan

### *The Effectiveness of Activation Temperature of Coconut Shell Charcoal on the Quality of Vehicle Exhaust Gas Emissions*

Angga Septiyanto<sup>1,a)</sup>, Ahmad Roziqin<sup>1</sup>, Sudiyono<sup>2</sup>, Ahmad Kholilur Rohman<sup>1</sup>, Siti Fatimah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Negeri Semarang

<sup>2</sup>Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang

<sup>a)</sup>Corresponding author: [anggam@mail.unnes.ac.id](mailto:anggam@mail.unnes.ac.id)

#### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar emisi gas buang kendaraan ketika menggunakan arang tempurung kelapa dengan variasi temperatur aktivasi. Metode penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu, tahapan pertama yaitu pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan menggunakan temperatur 750 °C; 850 °C; dan 950 °C ketika proses aktivasi. Tahapan kedua yaitu melakukan pengujian emisi gas buang CO dan HC dengan menambahkan karbon aktif berbahan tempurung kelapa pada *exhaust pipe*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan karbon aktif dari tempurung kelapa menghasilkan penurunan nilai emisi CO jika dibandingkan dengan knalpot tanpa karbon aktif tempurung kelapa. Efisiensi penurunan paling tinggi sebesar 42,3% yang diperoleh ketika menggunakan karbon aktif tempurung kelapa pada temperatur aktivasi 950°C. Emisi HC juga mengalami penurunan ketika menggunakan karbon aktif tempurung kelapa. Penurunan tertinggi terjadi pada penggunaan karbon aktif tempurung kelapa dengan temperatur aktivasi 950°C yaitu sebesar 86,5% dibandingkan tanpa menggunakan karbon aktif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa karbon aktif tempurung kelapa dengan temperatur aktivasi 950°C, mempunyai efektivitas penyerapan yang paling baik jika dibandingkan dengan karbon tempurung kelapa yang di aktivasi pada temperatur 750°C dan 850°C.

**Kata Kunci:** emisi; karbon aktif; tempurung kelapa

#### Abstract

*The objective of this research is to determine vehicle exhaust emission levels when using coconut shell charcoal with variations in activation temperature. This research method was carried out in several stages, the first stage was making active carbon from coconut shells using a temperature of 750 °C; 850 °C; and 950 °C during the activation process. The second stage is testing CO and HC exhaust emissions by adding activated carbon made from coconut shells to the exhaust pipe. The research results indicate that the use of activated carbon from coconut shells leads to a decrease in CO emissions compared to emissions from exhaust pipes without coconut shell activated carbon. The highest reduction efficiency, at 42.3%, was achieved when using coconut shell activated carbon at an activation temperature of 950°C. HC emissions also decreased when using coconut shell activated carbon. The highest reduction occurred when using coconut shell activated carbon with an activation temperature of 950°C, showing an 86.5% decrease compared to not using activated carbon. Therefore, it can be concluded that coconut shell activated carbon with an activation temperature of 950°C exhibits the most effective absorption compared to coconut shell carbon activated at temperatures of 750°C and 850°C.*

**Keywords:** emissions; activated carbon; Coconut Shell

## PENDAHULUAN

Kendaraan di Indonesia mengalami kenaikan setiap tahunnya. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan jumlah kendaraan bermotor pada akhir tahun 2021 sejumlah 143.797.227 unit, yang terdiri dari mobil penumpang, bus, truk dan sepeda motor, jumlah tersebut meningkat dari 5,63% dari tahun sebelumnya. Sepeda motor menjadi penyumbang terbesar dari total populasi kendaraan bermotor, yaitu sebesar 84,29%. [1]. Peningkatan jumlah kendaraan berakibat pada kemacetan dan peningkatan kadar polusi udara. Bertambahnya jumlah polusi udara secara terus menerus akan membahayakan bagi kehidupan manusia, dan juga lingkungan

Emisi yang keluar dari sebuah kendaraan mempunyai kandungan zat yang berbahaya, jika kondisi tersebut tidak diperhatikan dapat memperburuk kondisi lingkungan dan mengancam kesehatan manusia. Dalam residu pembakaran campuran bahan bakar dan udara, terdapat beberapa senyawa yang patut diperhatikan, seperti Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), dan Timbal (Pb). Hampir semua senyawa ini bersifat berbahaya apabila melebihi batas ambang emisi yang ditetapkan untuk udara. [2]. Gas buang kendaraan bermotor yang berbahaya diantaranya-Nya adalah CO (karbon monoksida) dan HC (Hidrokarbon) yang apabila terhirup oleh manusia dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan kematian [3]. Selain menghasilkan gas buang seperti CO, NO<sub>x</sub>, dan Partikular *Matter* (PM) yang berbahaya bagi manusia, proses pembakaran juga menghasilkan gas CO<sub>2</sub> yang dianggap sebagai pemicu terjadinya pemanasan global [4].

Karbon monoksida (CO) adalah gas beracun yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Emisi karbon monoksida (CO) pada motor bakar dapat dikendalikan oleh rasio udara dan bahan bakar. Dalam mengendalikan emisi kendaraan, selain dengan memperbaiki kualitas pembakaran mesin, dapat juga dilakukan dengan memberikan perlakuan lanjut (*after treatment*) terhadap gas buang [5]. Penggunaan adsorben adalah satu pemberian perlakuan lanjut terhadap gas buang, yang mengembangkan reaksi kimia di dalam aliran gas buang.

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengurangi polusi udara yang berbahaya dari kendaraan, yaitu dengan membuat regulasi pembatasan kendaraan bermotor, penggunaan bahan bakar yang berkualitas, dan mengendalikan gas buang kendaraan yang keluar setelah proses pembakaran (*after treatment*). Metode *after treatment* merupakan salah satu metode untuk mengendalikan polusi udara dengan cara memberi perlakuan kepada gas buang hasil pembakaran yang keluar dari *exhaust valve*. Gas buang yang keluar dari

pembakaran akan diberikan perlakuan tertentu sesuai dengan metode yang digunakan agar kandungan gas yang berbahaya menjadi berkurang.

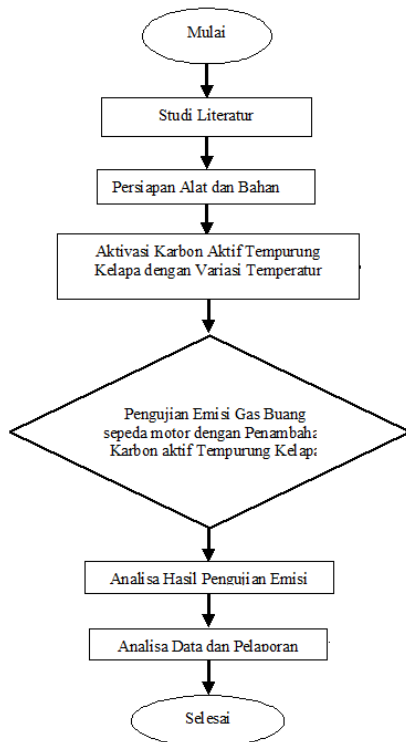
Salah satu perlakuan terhadap gas buang yang berbahaya adalah dengan cara adsorpsi. Adsorpsi adalah menempelnya suatu fluida (gas/cair) pada suatu padatan/cairan yang sering disebut dengan zat penyerap/adsorben [6]. *Adsorben* (zat penyerap) dapat berpotensi untuk menyerap gas buang berbahaya yang keluar dari mesin. Salah satu jenis adsorben yang dikenal mempunyai kemampuan baik dalam mengadsorpsi gas adalah karbon aktif. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan yang mengandung karbon, baik dari sumber nabati, hewani, maupun barang tambang [7]. Pembuatan karbon aktif umumnya melibatkan tiga tahapan utama: dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi. [8].

Bahan nabati yang mempunyai nilai karbon tinggi salah satunya adalah tempurung kelapa, selain itu tempurung kelapa juga mempunyai kadar abu yang rendah, sehingga cocok untuk dijadikan sebagai karbon aktif [9]. Selain itu cangkang sawit dapat digunakan sebagai karbon aktif dan mempunyai karakteristik terbaik pada temperatur karbonisasi 500°C selama 2 jam dan temperatur aktivasi 750°C selama 2 jam [10]. Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan beberapa tahapan proses, yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi [7]. Kualitas dari karbon aktif tergantung dari beberapa tahapan tersebut. Semakin besar pori-pori permukaan karbon aktif semakin tinggi daya serap terhadap bahan gas atau cair. Luas permukaan dan porositas dari karbon aktif tergantung dari proses aktivasi dan suhu karbonasi [11], [12]. Arang aktif dengan aktivasi fisika diperoleh rendemen sebesar 86,7%, kadar abu 8,46%, kadar air 6,0%, kadar zat mudah menguap 37,12% dan daya serap iodium sebesar 755,32 mg/g. Sedangkan arang aktif dengan aktivasi kimia menghasilkan rendemen sebesar 63,7%, kadar abu 0,75%, kadar air 3,6%, kadar zat mudah menguap 35,06%, dan daya serap iodium sebesar 317,25 mg/g [13]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar emisi gas buang CO dan HC kendaraan ketika menggunakan arang tempurung kelapa dengan variasi temperatur aktivasi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu dimulai dengan membuat karbon aktif dari tempurung kelapa dan dilanjutkan dengan pengujian emisi kendaraan yang ditambahkan karbon aktif tempurung kelapa pada knalpot. Penelitian ini akan dilakukan dengan beberapa tahapan, seperti ditunjukkan diagram alur penelitian pada [Gambar 1](#).



**Gambar 1.** Diagram alur penelitian

Tahapan awal kegiatan penelitian yang dilakukan adalah melakukan proses aktivasi arang karbon tempurung kelapa. Aktivasi karbon yang dilakukan adalah secara fisika, yaitu dengan cara memanaskan karbon arang tempurung kelapa dan penambahan zat aktivator. Hal ini dilakukan untuk merubah porositas dari karbon tempurung kelapa, dan melihat perbedaannya pada setiap perubahan *temperature* aktivasi.

Proses aktivasi karbon tempurung kelapa dilakukan dengan memasukkan dalam wadah besi yang dibuat khusus sebelum dipanaskan dengan mesin *furnace*. Hal ini bertujuan agar dalam proses aktivasi arang karbon tempurung kelapa tidak terbakar secara langsung dalam mesin *furnace*. Karbon dari tempurung kelapa juga dihitung berapa berat sebelum dilakukan pemanasan dan juga setelah pemanasan, sehingga diketahui berapa arang yang terbakar ketika proses aktivasi dengan variasi *temperature*, berikut adalah **Tabel 1.** yang menunjukkan variabel penelitian.

**Tabel 1.** Variabel penelitian

	Temperatur aktivasi	Waktu aktivasi	massa
<b>Perlakuan 1</b>	750°C	1 Jam	200 gr
<b>Perlakuan 2</b>	850°C	1 Jam	200 gr
<b>Perlakuan 3</b>	950°C	1 Jam	200 gr

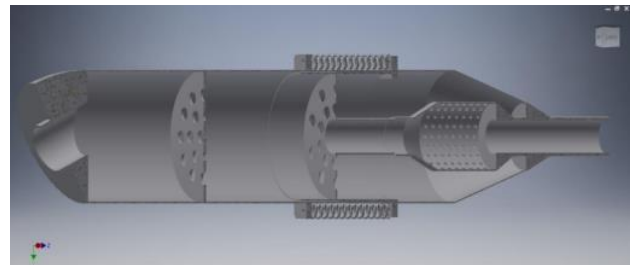
Pada proses aktivasi, arang karbon yang telah ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah besi ditutup

dengan rapat sebelum dimasukkan ke dalam *furnace*. Proses aktivasi di dalam *furnace* diset dengan 3 variasi *temperature*, yaitu 750°C, 850°C, dan 950°C, yang dilakukan secara bergantian dengan arang karbon yang juga berbeda seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.** Proses pemanasan dilakukan selama 1 jam di dalam *furnace*, dan dengan pendinginan normal yaitu dibiarkan dingin dengan sendirinya, temperaturnya mencapai suhu ruangan,



**Gambar 2.** Pengaturan temperature *furnace*

Arang karbon yang telah diaktivasi dengan temperatur 750°C, 850°C, 950°C kemudian dihancurkan sampai berbentuk serbuk. Setelah berbentuk serbuk, karbon aktif dari tempurung kelapa disaring dengan ayakan *mesh* 80, untuk memastikan agar ukuran serbuk seragam. Dari bentuk serbuk tersebut, karbon aktif dibentuk sesuai dengan ukuran yang ada di saluran knalpot. Ukuran dari karbon aktif menyesuaikan ukuran dari katalis pada knalpot, sehingga katalis yang ada pada knalpot akan dilepas dan digantikan dengan karbon aktif tempurung kelapa yang sudah dibentuk sesuai ukuran katalis seperti pada **Gambar 3.** dan **Gambar 4.**



**Gambar 3.** Desain knalpot yang ditambahkan karbon aktif

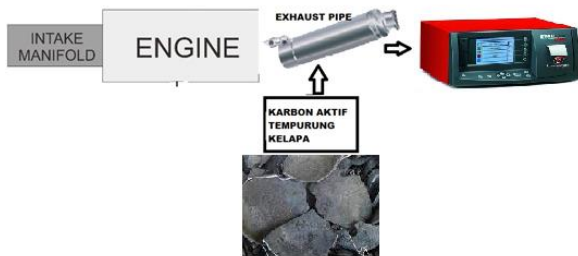
Karbon aktif yang telah dibentuk sesuai dengan ukuran katalis, dibuat sesuai dengan temperatur masing-masing, dan dalam pencampuran ditambahkan dengan zat perekat agar dapat dibentuk sesuai ukuran dan tidak menyebar terkena tekanan gas buang. Terdapat tiga buah karbon aktif tempurung kelapa yang dicetak dengan *temperature* masing-masing 750°C, 850°C, dan 950°C. yang kemudian

akan diuji satu per satu kemampuannya dalam mereduksi gas buang.



**Gambar 4.** Karbon aktif dalam katalis knalpot

Setiap sampel karbon aktif dengan variasi temperatur akan diuji secara bergantian. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keefektifan karbon aktif dengan variasi temperatur, dalam mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor. Teknis dalam pengambilan data emisi gas buang dilakukan seperti yang ditunjukkan pada *experimental set up* pada Gambar 5.



**Gambar 5.** *Experimental set up*

Pengambilan data emisi gas buang kendaraan dengan karbon aktif tempurung kelapa dilakukan pada kendaraan jenis sepeda motor, dengan jenis Honda Vario 125 tahun 2015 dengan sistem bahan bakar injeksi. Peralatan utama yang digunakan pada pengujian emisi adalah *gas analyzer*, dengan kondisi kendaraan pada saat pengujian adalah putaran *stationer (idle)*. Pengujian emisi dilakukan untuk mengetahui kadar CO dan HC ketika menggunakan karbon aktif tempurung kelapa pada knalpot sepeda motor, yang akan dibandingkan dengan nilai emisi ketika tidak ada tambahan karbon aktif pada knalpot sepeda motor

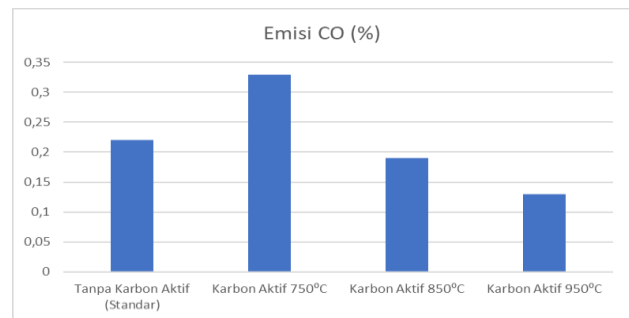
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif tempurung kelapa pada knalpot sepeda motor, mempunyai pengaruh terhadap nilai emisi CO. Hasil pengujian menunjukkan penurunan nilai CO sepeda motor ketika menggunakan knalpot dengan penambahan karbon tempurung kelapa yang sudah diaktivasi. Hal ini terlihat apabila dibandingkan dengan nilai rata-rata pengujian CO

yang diperoleh ketika menggunakan knalpot tanpa tambahan karbon aktif tempurung kelapa, yaitu sebesar 0,22 %. Dan ketika menggunakan karbon aktif tempurung kelapa pada knalpot, nilai emisi CO mengalami perubahan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian kadar emisi CO

	Kadar CO (%)			
	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata
Tanpa Karbon Aktif	0,23	0,22	0,21	0,22
Karbon aktif 750°C	0,30	0,29	0,4	0,33
Karbon aktif 850°C	0,19	0,18	0,19	0,19
Karbon aktif 950°C	0,13	0,12	0,13	0,13



**Gambar 6.** Diagram Pengujian CO

Gambar 6. menunjukkan besarnya kadar CO yang terkandung dalam emisi gas buang yang dihasilkan pada setiap variasi *temperature* aktivasi karbon aktif tempurung kelapa. Penambahan karbon aktif tempurung kelapa pada knalpot menghasilkan penurunan emisi CO tertinggi pada temperatur aktivasi 950°C dengan nilai rata-rata sebesar 0,13%. Apabila dibandingkan dengan hasil pengujian emisi CO pada knalpot standar tanpa penambahan karbon aktif, emisi CO mengalami penurunan dengan efisiensi sebesar 42,3% terhadap emisi knalpot standar. Sedangkan hasil emisi CO ketika menggunakan karbon aktif dengan temperatur aktivasi 750°C, kadar emisi CO mengalami peningkatan, yaitu sebesar 0,33%. Namun kenaikan nilai CO hanya terjadi pada *temperature* aktivasi 750°C, sedangkan pada variasi *temperature* aktivasi 850°C mengalami penurunan dengan efisiensi sebesar 15,2%. Penurunan emisi gas CO ketika menggunakan karbon aktif tempurung kelapa, terjadi karena gas CO terperangkap dalam rongga atau pori-pori karbon aktif, semakin tinggi temperatur aktivasi maka menyebabkan pori-pori karbon aktif semakin terbuka lebar[14].

Emisi HC merupakan salah satu emisi gas buang yang berbahaya, dan dalam proses terbentuknya dipengaruhi oleh proses pembakaran campuran bahan

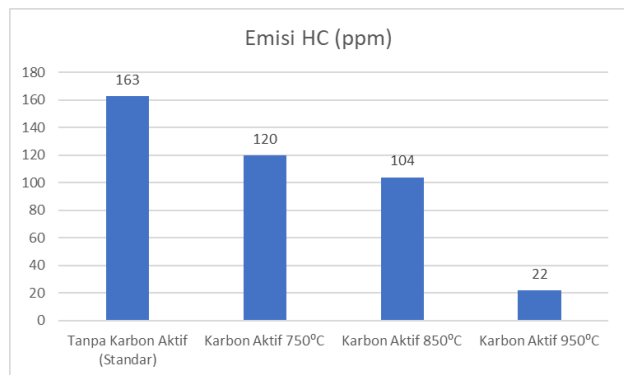


bakar dan udara dengan rasio tertentu. Emisi HC berpengaruh terhadap efisiensi mesin, jika emisi HC pada proses pembakaran berkurang, maka dapat meningkatkan efisiensi mesin [15]. Pengambilan data emisi HC dilaksanakan sebanyak 3 kali pengulangan setiap sampel karbon aktif tempurung kelapa. **Tabel 3.** menunjukkan hasil rata-rata 3 kali pengujian emisi HC dari sepeda motor dengan maupun tanpa karbon aktif tempurung kelapa.

**Tabel 3.** Hasil pengujian kadar emisi HC

	Kadar HC (ppm)			Rata-rata
	Uji 1	Uji 2	Uji 3	
<b>Tanpa Karbon Aktif</b>	145	129	215	163
<b>Karbon aktif 750°C</b>	102	110	148	120
<b>Karbon aktif 850°C</b>	109	107	97	104
<b>Karbon aktif 950°C</b>	23	25	18	22

Penambahan karbon aktif tempurung kelapa pada knalpot sepeda motor, mempunyai pengaruh terhadap nilai emisi HC. Hasil pengujian menunjukkan penurunan nilai emisi HC sepeda motor ketika menggunakan knalpot dengan penambahan karbon tempurung kelapa yang sudah di aktivasi. Hal ini terlihat pada nilai rata-rata pengujian HC yang diperoleh ketika menggunakan knalpot tanpa tambahan karbon aktif tempurung kelapa, yaitu sebesar 163 ppm. Dan ketika menggunakan karbon aktif tempurung kelapa pada knalpot, nilai emisi HC mengalami perubahan



**Gambar 7.** Diagram pengujian HC

Hasil pengujian emisi HC pada gas buang kendaraan yang dihasilkan pada setiap variasi temperatur aktivasi karbon aktif, ditunjukkan pada **Gambar 7.** Penambahan karbon aktif tempurung kelapa menghasilkan penurunan emisi HC pada setiap variasi temperatur aktivasi karbon aktif tempurung kelapa. Penurunan kadar emisi HC paling tinggi diperoleh ketika menggunakan karbon aktif

tempurung kelapa dengan variasi temperatur aktivasi 950°C, dengan nilai HC rata-rata sebesar 22 ppm. Apabila dibandingkan dengan emisi HC yang dihasilkan pada saat menggunakan knalpot tanpa karbon aktif, nilai emisi HC mengalami penurunan maksimum sebesar 86,5%. Pada semua penggunaan karbon aktif dengan variasi temperatur 750°C dan 850°C, hasil pengujian emisi HC juga menunjukkan penurunan kadar HC, yaitu sebesar 26,4% dan 36,2% jika dibandingkan dengan hasil pengujian emisi HC pada knalpot tanpa karbon aktif tempurung kelapa

Penurunan emisi HC ketika menggunakan knalpot dengan penambahan karbon aktif tempurung kelapa, disebabkan karena dengan adanya karbon aktif tempurung kelapa emisi HC dapat teradsorpsi. Semakin tinggi *temperature* aktivasi dari karbon akan semakin memperluas rongga atau pori-pori karbon aktif [14]. Sehingga ketika menggunakan knalpot yang ditambahkan dengan karbon tempurung kelapa yang telah di aktivasi dengan temperatur yang semakin naik, nilai emisi HC juga mengalami penurunan.

**Ucapan Terima Kasih**

Terima kasih kepada Fakultas Teknik UNNES yang telah memfasilitasi dan memberikan dana DIPA untuk pelaksanaan penelitian ini, serta terima kasih kepada segenap *civitas* akademik Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian.

**PENUTUP**

**Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan karbon aktif tempurung kelapa dengan temperatur aktivasi 950°C pada knalpot mempunyai efektivitas yang paling baik dalam mereduksi kadar emisi CO dan HC. Terlihat dari hasil penelitian menunjukkan nilai emisi CO dan HC mengalami persentase penurunan yang paling tinggi masing-masing sebesar 42,23 % dan 86,5%..

**Saran**

Kemampuan adsorpsi karbon aktif tempurung kelapa masih dilihat hanya emisi CO dan HC, perlu adanya pengujian hasil emisi NOx ketika menggunakan karbon aktif. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh bentuk karbon aktif di dalam knalpot terhadap kemampuan adsorpsi emisi gas buang.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] BPS, *Statistik Indonesia (statistical yearbook of Indonesia) 2022*. Badan Pusat Statistik, 2022.  
 [2] W. W. Pulkrabek, "Engineering Fundamentals of

- the Internal Combustion Engine,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, 2013.
- [3] S. Machmud, “Analisis Pengaruh Tahun Perakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor,” *J. Mesin Nusant.*, vol. 4, no. 1, pp. 21–29, 2021, doi: 10.29407/jmn.v4i1.16038.
- [4] P. Lott and O. Deutschmann, “Lean-Burn Natural Gas Engines: Challenges and Concepts for an Efficient Exhaust Gas Aftertreatment System,” *Emiss. Control Sci. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2021, doi: 10.1007/s40825-020-00176-w.
- [5] S. Sanjaya and P. Kristanto, “Reduksi emisi gas buang pada motor bensin menggunakan serbuk tembaga dan batu apung,” *Tech. J.*, vol. 21, no. 5, pp. 1–7, 2018, [Online]. Available: <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-mesin/article/view/6764>
- [6] A. Borhan, S. Thangamuthu, M. F. Taha, and A. N. Ramdan, “Development of activated carbon derived from banana peel for CO<sub>2</sub> removal,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1674, 2015, doi: 10.1063/1.4928819.
- [7] E. Kusdarini, A. Budianto, and D. Ghafarunnisa, “Produksi Karbon Aktif Dari Batubara Bituminus Dengan Aktivasi Tunggal H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Kombinasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>, Dan Termal,” *Reaktor*, vol. 17, no. 2, pp. 74–80, 2017, doi: 10.14710/reaktor.17.2.74-80.
- [8] K. Kinoshita, *Carbon: electrochemical and physicochemical properties*. John Wiley & Sons, 1988.
- [9] W. Widiyastuti, M. Fahrudin Rois, N. M. I. P. Suari, and H. Setyawan, “Activated carbon nanofibers derived from coconut shell charcoal for dye removal application,” *Adv. Powder Technol.*, vol. 31, no. 8, pp. 3267–3273, 2020, doi: 10.1016/j.apt.2020.06.012.
- [10] Ibrahim, A. Martin, and Nasruddin, “Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Dasar Cangkag Sawit Dengan Metode Aktivasi Fisika Menggunakan Rotary Autoclave,” *Jom FTEKNIK*, vol. 1, no. 2, pp. 1–11, 2014.
- [11] K. Yang, J. Peng, C. Srinivasakannan, L. Zhang, H. Xia, and X. Duan, “Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating,” *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 15, pp. 6163–6169, 2010, doi: 10.1016/j.biortech.2010.03.001.
- [12] Y. Chen, L. J. Zhou, Y. Z. Hong, F. Cao, L. Li, and J. B. Li, “Preparation of high-surface-area activated carbon from coconut shell fibers,” *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 151–155, 2010, doi: 10.1016/j.carbon.2010.03.059.
- [13] F. Aryani, “Aplikasi Metode Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia pada Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L.),” *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 2, p. 16, 2019, doi: 10.22146/ijl.v1i2.44743.
- [14] A. Febryanti, A. W. Wahab, J. Kimia, J. Kimia, and U. H. Makassar, “Pemanfaatan karbon aktif sekam padi sebagai adsorben emisi gas buang pada sepeda motor 1,” pp. 107–117, 2013.
- [15] Y. Karagöz, T. Sandalci, L. Yüksek, and A. S. Dalkılıç, “Engine performance and emission effects of diesel burns enriched by hydrogen on different engine loads,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 20, 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.03.141.