



Efektifitas arang aktif tongkol jagung dalam menurunkan emisi kendaraan bermotor berbahan bakar ganda

The effectiveness of corn cob activated charcoal in reducing emissions from dual-fuel motor vehicles

H.S. Tira*, Y.A. Padang, A. Mulyanto, S. Syahrul, S. Salman, D.R.A. Putra

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 087878580219

*E-mail: hendrytira@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 13 March 2024

Accepted 04 July 2024

Available online 01 October 2024

Keywords:

Corn cob

Adsorben

Emission

Two-wheeler



Emission reduction through after treatment processes has become one of the options to minimize the adverse effects of two-wheeler emissions. Activated charcoal adsorbents have been proven effective in reducing emissions to a certain extent. In this study, corn cob charcoal activated with a 15% NaCl solution serves as the adsorbent. The adsorbent used is shaped into particles with a mesh size of 10. The adsorbent is placed in the modified motorcycle muffler. Testing is conducted on two-wheeled vehicles operated using the dual-fuel method, where biogas and pertalite are used as fuels. With this method, fuel concentrations are obtained significantly smaller compared to vehicles without emission reduction methods. Testing is carried out for 2 hours to determine the durability of the adsorbent in absorbing exhaust gas emissions. Based on the test results, where data collection is conducted every 10 minutes, the concentrations of emissions including hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), and carbon dioxide (CO₂) initially decrease and then rise again after several minutes. This indicates that the adsorbent effectively reduces emissions in a relatively short duration. However, the effectiveness of corn cob activated charcoal in reducing these three emissions varies, with the adsorbent showing good performance in reducing HC.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 14, No. 2, Oktober 2024, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor, terutama yang berbahan bakar ganda (*dual-fuel engine*), telah menjadi pendorong utama mobilitas manusia. Namun, dampak negatif dari emisi kendaraan terhadap kualitas udara dan lingkungan semakin menjadi perhatian global. Emisi yang dihasilkan oleh kendaraan mencakup berbagai polutan yang dapat merugikan kesehatan manusia, menciptakan masalah polusi udara, serta berkontribusi pada perubahan iklim global, Sundari (2019). Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif dan berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif dari emisi kendaraan bermotor.

Sesungguhnya metode bahan bakar ganda merupakan salah satu metode efektif untuk mengurangi emisi kendaraan, hal ini karena berbagai keuntungan dan kelebihan yang dimilikinya. Salah satu keuntungan tersebut adalah fleksibilitas bahan bakar. Kendaraan berbahan bakar ganda memiliki kemampuan untuk menggunakan dua jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar gas dan bahan bakar cair seperti bensin atau solar. Ini memberikan fleksibilitas yang tinggi kepada pengguna dalam memilih bahan bakar yang sesuai dengan kebutuhan dan ketersediaan, Iswantoro dkk. (2023). Keuntungan lain adalah mampu mereduksi emisi. Penggunaan bahan bakar gas sebagai salah satu komponen dalam kendaraan berbahan bakar ganda dapat mengurangi emisi gas buang, terutama emisi gas rumah kaca dan polutan udara. Hal ini berkontribusi pada upaya perlindungan lingkungan dan peningkatan kualitas udara, Kurnia (2021). Disamping itu metode ini dapat memberikan solusi efisiensi energi. Kombinasi bahan bakar gas dengan bahan bakar cair dapat meningkatkan efisiensi energi kendaraan. Bahan bakar gas memiliki tingkat pembakaran yang lebih bersih yang dapat meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi kerugian energi, Wijayanto dkk. (2023). Oleh karena itu metode bahan bakar ganda ini dapat menghemat biaya. Dengan menggunakan bahan bakar gas yang seringkali lebih murah daripada bahan bakar cair, pengguna kendaraan berbahan bakar ganda dapat menghemat biaya operasional. Ini bisa sangat bermanfaat dalam jangka panjang, Purnama dkk. (2023).

Namun demikian mesin berbahan bakar ganda (*dual-fuel*) masih dapat menghasilkan emisi, meskipun dalam beberapa kasus emisi ini mungkin lebih rendah daripada mesin konvensional. Adapun emisi yang dapat dihasilkan adalah NO_x, HC, CO, dan VOCs, karena pembakaran yang lebih bersih dan efisien, Sari dkk. (2019). Namun, sejumlah faktor, termasuk perbandingan campuran bahan bakar gas dan cair, pengaturan mesin, dan kondisi operasional, dapat memengaruhi jenis dan tingkat emisi yang dihasilkan oleh mesin tersebut, Djamin dan Wirawan (2016). Selain itu, pengembangan teknologi dan peningkatan campuran bahan bakar gas terus berlangsung untuk mengurangi emisi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar ganda, Riduwan dan Devintasari (2020).

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan arang aktif sebagai adsorben untuk mereduksi emisi kendaraan, Cipto dan Sariman (2019). Arang aktif, terutama yang berasal dari tongkol jagung, telah muncul sebagai kandidat yang menarik karena kemampuannya untuk menangkap dan mengurangi sejumlah besar polutan yang dilepaskan oleh kendaraan, Kusuma dkk. (2020). Dengan kemampuan arang aktif yang dapat mereduksi emisi polutan, maka kualitas udara dapat ditingkatkan yang berdampak positif pada kesehatan manusia dan lingkungan, Mantong dkk. (2018). Namun, meskipun potensi besar arang aktif dalam memitigasi emisi kendaraan, masih ada banyak pertanyaan yang perlu dijawab.

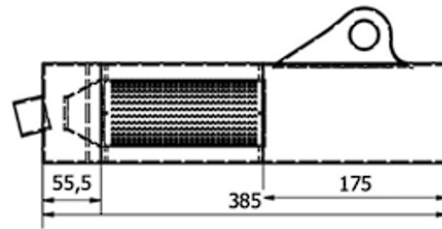
Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki efektivitas penggunaan arang aktif dari tongkol jagung dalam mengurangi emisi kendaraan bermotor berbahan bakar ganda. Penelitian akan mengkaji seberapa lama arang aktif dapat mengurangi berbagai polutan, termasuk hidrokarbon, karbon dioksida dan karbon monoksida dalam gas buang kendaraan bermotor. Selain itu, penelitian akan mengevaluasi kemampuan penyerapan adsorbent secara mikro dimana akan dilakukan pemeriksaan struktur mikro adsorbent dan komposisi senyawa yang terdapat pada adsorbent. Demikian juga evaluasi gugus fungsional adsorbent akan dilakukan untuk memahami lebih dalam atas daya serap adsorbent. Dengan demikian, artikel ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam menjawab pertanyaan kunci tentang efektivitas penggunaan arang aktif tongkol jagung sebagai solusi yang berkelanjutan untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor berbahan bakar ganda.

2. METODE PENELITIAN

Tongkol jagung yang telah disiapkan dikeringkan terlebih dahulu dengan cara dijemur pada terik matahari. Proses ini disebut proses dehidrasi. Tongkol jagung yang telah dijemur akan dibakar di dalam alat sederhana berupa kiln drum hingga berubah menjadi arang dan proses ini disebut karbonisasi.

Larutan NaCl 15% yang telah dibuat dicampur dengan arang tongkol jagung lalu diaduk hingga merata dan terendam setelah itu didiamkan selama 24 jam di dalam wadah kedap udara. Setelah melakukan perendaman selama 24 jam, arang akan dicuci menggunakan aquades sampai pH 7 yang diukur menggunakan pH meter. Setelah mencapai pH 7, arang dibungkus menggunakan aluminium foil. Arang kemudian diaktifasi di dalam furnace pada suhu 300°C selama 3 jam. Setelah proses aktifasi selesai, arang dimasukkan ke dalam wadah kedap udara agar mengurangi risiko penyerapan senyawa lain pada arang yang telah diaktifasi.

Adsorben yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam tabung berdiameter 60 mm dan panjang 150 mm. Tabung adsorben didesain dan dirakit dengan sedemikian rupa untuk mempermudah proses pengambilan data. Adapun tabung adsorben yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Desain knalpot adsorben

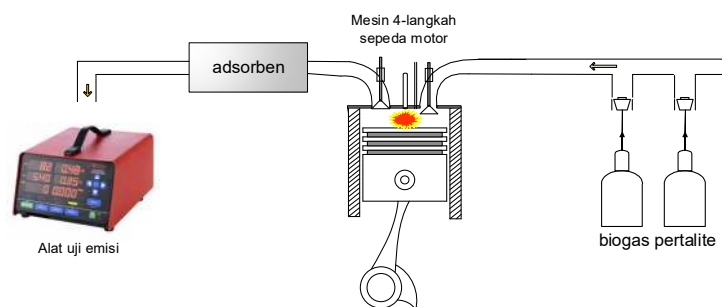
Biogas yang telah diproduksi melalui fermentasi kotoran sapi dimasukkan ke dalam tabung 3 kg. Hal ini dimaksudkan agar penyaluran biogas ke saluran ruang bakar menjadi lebih mudah. Adapun bahan bakar cair disuplai dari tangki bahan bakar seperti kondisi asli kendaraan.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan kendaraan roda dua Honda Supra X 125cc tahun produksi 2011. Adapun spesifikasi motor yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi motor Honda supra X 125 cc

Spesifikasi mesin	Data
Tipe mesin	4-langkah <i>spark ignition engines</i>
Konfigurasi mesin	SOHC 2 katup
Sistem pendingin	Pendingin alami/udara
Diameter x langkah	52,4 x 57,9 mm
Kapasitas mesin	124,8 cc
Rasio kompresi	9,0 : 1
Tenaga maksimum	9,3 PS / 7500 rpm
Torsi maksimum	1,03 kgf.m / 4000 rpm
Transmisi	Manual
<i>Gear shifting</i>	N-1-2-3-4

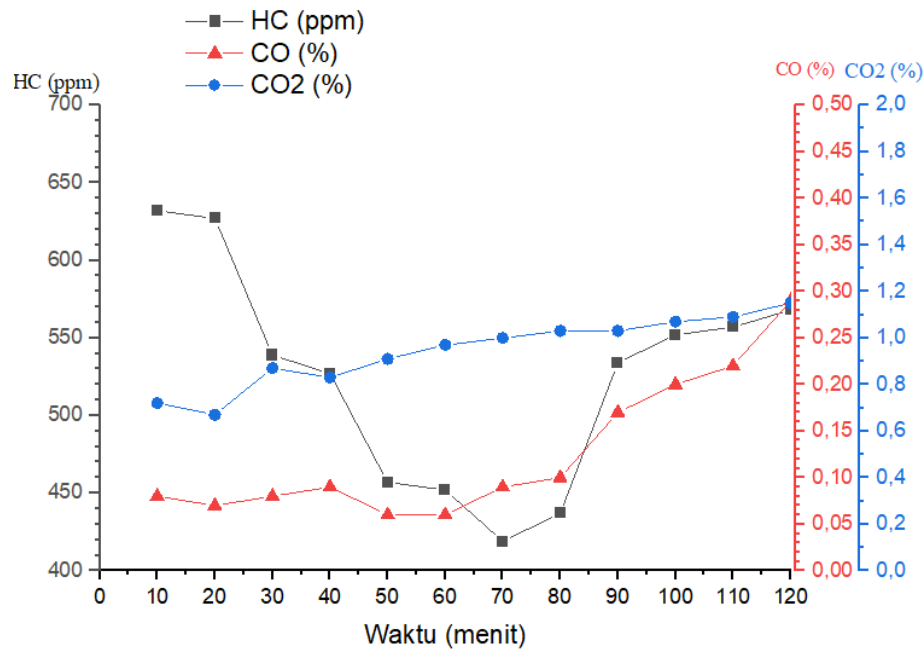
Pengujian emisi dilakukan menggunakan alat *Automotive Emission Analyzer* Nanhua NHA-405. Data yang diambil dalam penelitian ini menunjukkan persentase dari CO, CO₂, dan HC. Arang yang sudah digunakan untuk pengambilan data emisi gas buang akan digunakan kembali sebagai sampel uji *Energy Dispersive X-ray* (EDX). Tujuan dilakukannya pengujian tersebut guna mengetahui komposisi kimia, morfologi, dan gugus fungsi molekul dari sampel arang aktif tongkol jagung. Adapun skema pengujian dapat dilihat pada gambar 2. Biogas dimasukkan ke dalam ruang bahan bakar melalui *intake manifold*. Adapun komposisi bioagas setelah dimurnikan menggunakan arang aktif masing-masing untuk CH₄, CO₂, dan H₂S berturut-turut adalah sebesar 97,4%, 2,6% dan 0%. Untuk tujuan tersebut sebuah saluran kecil khusus dibuat untuk memungkinkan biogas mengalir ke dalam ruang bakar. Untuk mengukur dan mengatur besarnya volume biogas yang diijinkan masuk ke dalam ruang bakar digunakan sebuah *bulb flow meter*. Dengan demikian volume biogas yang masuk ke dalam ruang bakar dapat dikendalikan. Sementara itu bahan bakar cair yaitu pertalite masuk ke dalam ruang bakar sesuai dengan kondisi normal kendaraan yaitu melalui karburator. Namun demikian dalam penelitian ini perbandingan volume biogas dan pertalite sangat besar. Dengan demikian volume biogas sangat dominan dibandingkan dengan volume pertalite. Oleh karena itu pertalite berfungsi sebagai *pilot fuel* dan biogas bertindak sebagai bahan bakar utama.



Gambar 2. Skema penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan selama 2 jam (120 menit) dimana kendaraan dijalankan hingga mencapai kestabilan dimana suhu pelumas telah mencapai suhu konstan. Selanjutnya pengambilan data emisi dilakukan setiap 10 menit. Adsorben terpapar dengan gas buang dalam durasi waktu tersebut yang diharapkan mampu untuk menurunkan emisi. Adapun hasil uji emisi yang diperoleh setelah melewati adsorben dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil uji emisi gas buang selama 120 menit

Hasil yang diperoleh menunjukkan adsorben arang aktif yang digunakan untuk menurunkan emisi gas buang memiliki tingkat jenuh jika terlalu lama terpapar oleh gas buang kendaraan. Pengujian dilakukan dengan bahan bakar pertalite dengan arang aktif konsentrasi larutan 15% NaCl. Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa untuk emisi HC dari awal pengujian hingga memasuki menit ke-70 arang aktif bekerja dengan baik untuk menurunkan kandungan emisi HC. Namun memasuki menit ke-80 kandungan emisi HC mulai mengalami peningkatan. Untuk konsentrasi emisi CO terlihat stabil hingga menit ke-60 berkisar di antara 0,06% – 0,1%. Namun selanjutnya emisi tersebut mengalami peningkatan. Pada kandungan emisi CO₂ dapat dilihat bahwa kandungan emisi CO₂ hanya dapat bertahan sampai menit ke-20 dan elanjutnya terus meningkat seiring berjalannya waktu.

Karakteristik perbedaan dalam perilaku ketiga gas ini (CO₂, HC, dan CO) dalam proses penyerapan oleh arang aktif terjadi karena CO₂ tidak mudah terserap. CO₂ memiliki struktur kimia yang berbeda dari HC dan CO. Molekul CO₂ terdiri dari dua atom oksigen yang terikat pada satu atom karbon, dan ikatan ini kuat. Ini membuat CO₂ cenderung lebih stabil dan tidak mudah terserap oleh arang aktif, Nurhayati dan Zikri (2020). Dalam hal ini, emisi CO₂ dapat bertahan dalam gas buang lebih lama dan hanya mulai meningkat ketika arang aktif mencapai tingkat jenuh penyerapan. Sementara itu HC adalah senyawa organik yang biasanya mudah terserap oleh arang aktif. Arang aktif memiliki banyak pori dan permukaan yang dapat menangkap molekul hidrokarbon. Hal ini terutama jika ada banyak waktu kontak antara gas buang dan arang aktif, seperti yang diamati hingga 120 menit dalam pengujian. Sedangkan pada emisi CO cenderung bertahan tidak terlalu lama sebelum akhirnya meningkat. Hal ini mungkin terjadi karena arang aktif dapat menyerap CO dalam jangka pendek, tetapi kemudian mencapai kapasitas penyerapan maksimalnya, Listiyono dkk. (2019). Perbedaan dalam perilaku ketiga gas ini selama proses penyerapan oleh arang aktif didasarkan pada perbedaan sifat kimia dan fisika gas tersebut, serta mekanisme adsorpsi yang terlibat. CO₂ cenderung lebih stabil dan sulit untuk diserap, HC memiliki afinitas tinggi terhadap arang aktif dan dapat terserap dalam waktu yang lebih lama, sementara CO memiliki kemampuan untuk terikat kuat pada permukaan arang aktif dalam jangka pendek, Mulyatna dkk. (2019).

Dari tabel 2 dapat diamati bahwa Unsur C (Carbon) adalah unsur utama yang mendominasi komposisi arang aktif ini dengan kandungan sekitar 73,56% berdasarkan massa. Ini adalah unsur yang umum dalam arang aktif. Unsur oksigen juga biasanya merupakan unsur yang dapat ditemukan dalam arang aktif sebagai oksida atau gugus oksigen pada permukaan arang, Yanti dkk. (2020).

Tabel 2. Komposisi unsur yang terkandung pada adsorben tanpa aktifasi setelah dilewati emisi gas buang

<i>Display name</i>	<i>Standard data</i>	<i>Quantification method</i>	<i>Result type</i>
<i>Element</i>	<i>Line</i>	<i>Mass%</i>	<i>Atom%</i>
S	K	73,56±0,51	82,75±0,57
O	K	15,36±0,70	12,97±0,59
Si	K	3,06±0,12	1,47±0,06
Cl	K	0,93±0,07	0,35±0,03
K	K	7,10±0,23	2,45±0,08
Total		100,00	100,00

Tabel 3. Komposisi unsur yang terkandung pada adsorben sudah diaktifasi setelah dilewati emisi gas buang

<i>Display name</i>	<i>Standard data</i>	<i>Quantification method</i>	<i>Result type</i>
<i>Element</i>	<i>Line</i>	<i>Mass%</i>	<i>Atom%</i>
S	K	69,21±0,53	77,44±0,60
O	K	21,82±0,73	18,33±0,61
Na	K	3,84±0,16	2,24±0,10
Si	K	0,66±0,06	0,32±0,03
Cl	K	3,79±0,14	1,44±0,05
K	K	0,68±0,07	0,23±0,03
Total		100,00	100,00

Sementara itu pada adsorben yang telah diaktifasi oleh NaCl 15% (tabel 3) dan setelah dilewati oleh emisi gas buang nampak terdeteksi adanya unsur karbon yang cukup signifikan. Walau masih mendominasi komposisi arang aktif ini, tetapi konsentrasinya menurun menjadi 69,21% setelah proses adsorpsi. Ini mungkin disebabkan oleh penyerapan gas-gas buang pada permukaan arang aktif. Selain itu unsur oksigen meningkat menjadi 21,82% setelah adsorpsi, yang juga dapat terkait dengan reaksi kimia selama proses adsorpsi. Natrium muncul dengan konsentrasi 3,84% setelah aktivasi NaCl. Ini mengindikasikan bahwa unsur sodium dari NaCl yang digunakan selama aktivasi telah teradsorpsi oleh arang aktif selama proses adsorpsi. Terdeteksinya Klor (Cl) dan meningkat menjadi 3,79% juga menunjukkan adanya penyerapan dari NaCl yang digunakan dalam aktivasi.

Pengurangan konsentrasi HC dan CO dalam emisi gas buang setelah melewati arang aktif, baik yang diaktifasi dengan NaCl maupun yang tidak, menunjukkan bahwa arang aktif memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap komponen-komponen ini dari gas buang. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan NaCl untuk aktivasi tampaknya tidak secara signifikan mempengaruhi kemampuan arang aktif untuk menyerap HC dan CO dalam konteks ini. Khusus untuk CO₂, hasil pengujian emisi sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi CO₂ tidak terpengaruh oleh arang aktif. Hasil EDX yang menunjukkan kenaikan oksigen (O) dalam komposisi arang aktif setelah adsorpsi juga mendukung bahwa CO₂, yang mengandung oksigen, tidak mengalami penyerapan yang signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa pembakaran biogas menyebabkan proses pembakaran menjadi lebih baik sehingga menghasilkan emisi CO₂ dengan konsentrasi yang tinggi.

Hasil EDX dan hasil uji emisi sebelumnya bersama-sama memberikan gambaran tentang efektivitas arang aktif dalam menyerap komponen emisi tertentu dari gas buang kendaraan. Ini mengkonfirmasi bahwa peningkatan aktivasi NaCl tidak mempengaruhi secara signifikan kemampuan arang aktif dalam menyerap HC dan CO, sementara CO₂ tidak terpengaruh oleh arang aktif dalam kondisi pengujian tertentu.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa arang aktif mampu mengurangi emisi gas buang, terutama HC dan CO, dalam durasi waktu yang singkat hingga sekitar 70 menit. Namun, efektivitasnya berbeda untuk masing-masing komponen emisi. HC dan CO menunjukkan penurunan dalam konsentrasi emisi sebelum mengalami peningkatan kembali, sedangkan karbon dioksida CO₂ hanya sedikit mengalami penurunan dan cenderung meningkat sepanjang pengujian. Perbedaan dalam perilaku penyerapan komponen emisi ini terkait dengan karakteristik kimia dan fisika masing-masing gas. CO₂ cenderung lebih stabil dan sulit untuk diserap oleh arang aktif, sementara HC memiliki afinitas tinggi terhadap arang aktif, dan CO dapat terserap dalam jangka pendek. Hasil analisis menggunakan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) menunjukkan bahwa komposisi arang aktif setelah adsorpsi berubah, terutama pada unsur karbon dan oksigen. Aktivasi dengan NaCl tampaknya tidak mempengaruhi secara signifikan kemampuan arang aktif dalam menyerap HC dan CO, dan CO₂ tidak terpengaruh oleh arang aktif dalam kondisi pengujian tertentu. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang kemampuan arang aktif dalam mengurangi emisi kendaraan bermotor berbahan bakar ganda. Namun, penting untuk terus mengembangkan penelitian ini untuk mengoptimalkan proses dan memahami peran adsorben dalam konteks pengurangan emisi gas buang kendaraan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Energi baru Terbarukan Fakultas Teknik Universitas Mataram sehingga penulis dapat melakukan pemurnian biogas. Selain itu ucapan terima kasih yang sama ditujukan kepada Dinas Perhubungan Kota Mataram yang telah memberikan ijin bagi pelaksanaan pengujian emisi kendaraan.

DAFTAR NOTASI

<i>CO</i>	: Karbon monoksida
<i>CO₂</i>	: Karbon dioksida
<i>EDX</i>	: <i>Energy dispersive X-ray</i>
<i>H₂S</i>	: Hidrogen sulfida
<i>HC</i>	: Hidro karbon
<i>NaCl</i>	: Natrium klorida
<i>NO_x</i>	: Nitrogen oksida
<i>SOHC</i>	: <i>Single overhead camshaft</i>
<i>VOCs</i>	: <i>Volatile organic compounds</i>

DAFTAR PUSTAKA

- Cipto, C., Sariman, F., Peforma arang aktif kayu ekaliptus sebagai adsorber emisi, *Mustek Anim Ha*, 8(03), 189–192, 2019.
- Djamin, M., Wirawan, S.S., Pengaruh komposisi biodiesel terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11(3), 381-387, 2010.
- Iswantoro, A., Ariana, I.M., Semin, Fathallah, A.Z.M., Cahyono, B., Penerapan konverter-kit bahan bakar ganda untuk mesin kapal nelayan di kalanganyar sidoarjo. *Sewagati*, 7(3), 426-435, 2023.
- Kurnia, A., Sudarti, Efek rumah kaca oleh kendaraan bermotor, *Gravitasi*, 4(02), 1–9, 2021.
- Kusuma, A.A., Lathifaturrohmah, B., Lestari, E.E.D., Pengaruh penambahan arang aktif limbah tongkol jagung untuk mengurangi kadar kesadahan total, *Walisongo Journal of Chemistry*, 3(1), 31-36, 2020.
- Listiyono, Irawan, B., Hardjito, A., Optimalisasi composit absorber pada muffler untuk menurunkan kadar emisi gas buang motor bensin, *Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 2(01), 13–22, 2019.
- Mantong, J.O., Argo, B.D., Susilo, B., Pembuatan arang aktif dari limbah tongkol jagung sebagai adsorben pada limbah cair tahu, *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 6(2), 100-106, 2018.
- Mulyatna, L., Yustiani, Y.M., Sidik, A., Uji efektifitas ionizer bbm terhadap penurunan emisi gas karbon monoksida dan hidrokarbon pada mobil dengan sistem karburator, *Infomatek*, 21(1), 61-68, 2019.
- Nurhayati, N., & Zikri, Z., Efektifitas karbon aktif cangkang buah kluwek (*pangium edule*) dan cangkang biji kopi (*coffea arabica l*) terhadap daya serap gas co dan partikel pb dari emisi kendaraan bermotor, *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 5(1), 43–49, 2020.
- Purnama, D., Arif, A., Alwi, E., Sugiarto, T., Analisis penggunaan bahan bakar campuran pertalite dengan bioetanol dari tebu terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada sepeda motor injeksi, *MSI Transaction on Education*, 4(3), 123–134, 2023.
- Riduwan, M., Virginia, D., Perencanaan pengiriman pasokan bahan bakar liquid natural gas (LNG) untuk pemenuhan pembangkit listrik di wilayah Indonesia timur, *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*, 22, 111–124, 2020.
- Sari, N., Hardianto, D., Suraharta, M., Hermawan, B.A., Pengaruh penggunaan filter pada knalpot sepeda motor untuk mengurangi tingkat emisi gas buang kendaraan, *Jurnal Penelitian Sekolah Tinggi Transportasi Darat*, 10(1), 15–27, 2019.
- Sundari, S.N., Polusi udara kendaraan bermotor tidak berpengaruh terhadap Penyakit ISPA, *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(1), 697–706. 2019.
- Wijayanto, E.H., Julianto, E., Nasution, A.Y., Analisa performansi mesin genset diesel satu silinder dengan bahan bakar campuran (solar dan LPG), *Suara Teknik*, 13(2), 27-32, 2022.
- Yanti N.R., Hambali, E., Pari, G., Suryani, A., Karakteristik arang aktif tandan kosong kelapa sawit yang dimpregnasi logam nikel sebagai katalis, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(3), 129–138, 2020.