

Abdul Hamid

Dosen
Politeknik Negeri Madura
Jurusan Teknik Mesin Alat Berat
ahamchimie@poltera.ac.id

Mohammad Abdullah

Dosen
Politeknik Negeri Madura
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
fisabduh04@poltera.ac.id

Ike Dayi Febriana

Dosen
Politeknik Negeri Madura
Jurusan Teknik Mesin Alat Berat
Ike.dayi@gmail.com

Heru Ediyanta Kurniawan

Mahasiswa
Politeknik Negeri Madura
Jurusan Teknik Mesin Alat Berat
heruediyanta16@gmail.com

Auliana Diah Wilujeng

Dosen
Politeknik Negeri Madura
Jurusan Teknik Mesin Alat Berat
auliana_dw@poltera.ac.id

Septian Dwi Wijaya

Pranata Laboratorium
Politeknik Negeri Madura
Jurusan Teknik Mesin Alat Berat
wijayaseptian@poltera.ac.id

Misbakhul Fatah

Dosen
Politeknik Negeri Madura
Jurusan Teknik Mesin Alat Berat
misbakhulfatah@gmail.com

PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI LIMBAH KULIT PISANG UNTUK CATALYTIC CONVERTER PADA MESIN DIESEL

The phenomenon of environmental pollution in the machinery system is problem that often occurs. One of them is the emission from burning fossil fuels of diesel engines. Therefore, it is necessary to do proper handling to reduce the emission content of diesel engines, one of which is by using catalytic converter engineering technology. In this study, the catalytic converter was made using an activated carbon filter from banana peel waste with sodium hydroxide (NaOH) activator. The activated carbon formed is then mixed with nickel oxide powder to be used as catalyst and white cement as binder. Diesel engine emission testing is carried out with time variations from 3 to 12 minutes. The results show that there is decrease in the content of carbon monoxide (CO) obtained by 57% when testing emissions at minute 12. While for the content of NO_x and NO there is decrease of 43%. This indicates that the mixture of activated carbon from banana peel waste and nickel oxide powder is very effective in reducing the content of diesel engine exhaust emissions.

Keywords: Catalytic Converter, Active Carbon, Banana Peel, Emission, NaOH Activator

1. PENDAHULUAN

Polusi dapat didefinisikan sebagai suatu benda asing yang tidak diinginkan yang dapat mencemari lingkungan atau dengan kata lain, dapat didefinisikan sebagai pembuangan berlebihan atau penambahan zat maupun benda asing yang tidak diinginkan ke lingkungan, sehingga secara negatif mengubah kualitas udara alami dari lingkungan dan menyebabkan kerusakan pada manusia, tanaman dan makhluk hidup di bawah bumi. Polusi udara dapat didefinisikan sebagai kondisi atmosfer yang tercemar. Zat-zat ini termasuk gas (sulfur oksida, nitrogen oksida, karbon monoksida, hidrokarbon) dan partikel (asap, debu, asap dan aerosol) [1]. Senyawa yang membahayakan bagi kesehatan manusia salah satunya hasil emisi gas dari suatu kendaraan karena menghasilkan gas CO dan NO_x. Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu gas paling beracun yang ada di atmosfer. CO dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna dari senyawa yang mengandung karbon [2]. Sedangkan NO_x dapat bereaksi dengan senyawa lain yang ada di atmosfer untuk membentuk partikel kecil yang dapat membahayakan kesehatan manusia terutama penyakit pernafasan yang kronis [3].

Salah satu polusi udara yang sering terjadi dalam kehidupan sehari-hari adalah hasil pembakaran dari suatu mesin diesel dimana menghasilkan emisi dengan kandungan yang bisa membahayakan kesehatan manusia. Mesin diesel merupakan mesin yang menggunakan rasio kompresi tinggi untuk melakukan proses pembakaran. Hal ini membuat tenaga yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin diesel lebih besar dibandingkan dengan mesin bensin. Oleh karena itu mesin diesel banyak dipakai pada kendaraan terutama

kendaraan yang membutuhkan tenaga yang besar. Emisi dihasilkan dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor berkontribusi terhadap polusi udara lingkungan, masalah kesehatan manusia dan pemanasan global [4]. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dikembangkan teknologi untuk menanggulangi masalah polusi udara. Salah satunya adalah menggunakan teknologi *catalytic converter*.

Kumar dkk (2020) [5] telah melakukan penelitian pembuatan *catalytic converter* menggunakan filter karbon aktif. Hasilnya menunjukkan terjadi penurunan kandungan karbon monoksida dari 13 ppm menjadi 11 ppm. Karbon aktif lebih dikenal karena kemampuannya yang lebih baik dalam mengadsorpsi gas. Area permukaan yang lebih baik dari partikel-partikel ini karena ketersediaan porositas adalah alasan utama untuk digunakan sebagai filter pada suatu *catalytic converter* [6]. Partikel-partikel ini dapat disintesis dari berbagai bahan alam atau bahan limbah seperti batok kelapa, sekam padi, batang bambu dan bahan tumbuhan atau hewan lain yang mungkin [7]. Hasil penelitian yang lain dari Naveenkumar dkk (2020) [8] menunjukkan penurunan gas HC dan NO_x sekitar 3 dan 14 ppm. Naveenkumar dkk (2020) membuat katalitik konverter menggunakan monolit pada mesin diesel. Monolit dari katalitik konverter ini dibentuk menggunakan keramik dan logam. Muh Amin (2016) [9] telah melakukan penelitian uji performa filter gas emisi kendaraan bermotor berbasis keramik porous dengan aditif tembaga, TiO₂ dan karbon aktif. Hasilnya menunjukkan adanya penurunan kadar gas emisi CO. Darmayanti dkk [10] juga telah memanfaatkan kulit pisang kepok yang telah diubah menjadi karbon aktif dan digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam timbal (Pb) dan seng (Zn). Pada Penelitian tersebut karbon aktif diaktivasi menggunakan larutan NaOH [11]. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dikembangkan rancang bangun *catalytic converter* dengan memanfaatkan limbah kulit pisang dan serbuk nikel oksida (NiO) sebagai katalis. Limbah kulit pisang dijadikan karbon aktif melalui proses pembakaran (*furnace*) pada suhu 400°C Selama 1,5 jam dan diaktivasi dengan larutan NaOH. Setelah terbentuk karbon aktif, material tersebut dicampur dengan logam nikel dan dijadikan filter pada *catalytic converter* untuk mesin diesel.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain mesin diesel, alat press, oven, *furnace*, stirer *beakerglass*, *hot plate* dan *portable emission analyzer*. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain plat besi, serbuk nikel oksida, limbah kulit pisang untuk dijadikan karbon aktif, natrium hidroksida (NaOH), semen putih dan aquades. Berikut gambar dan spesifikasi mesin diesel yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar1: Mesin Diesel Satu Silinder

Tabel 1: Spesifikasi mesin diesel

| Particulars | Spesifikasi |
|---------------|-----------------------------|
| Type | Single cylinder model 178 F |
| Bore x stroke | 78 x 62 mm |
| Max output | 4.4 kW |
| Cont. output | 4.0 kW |

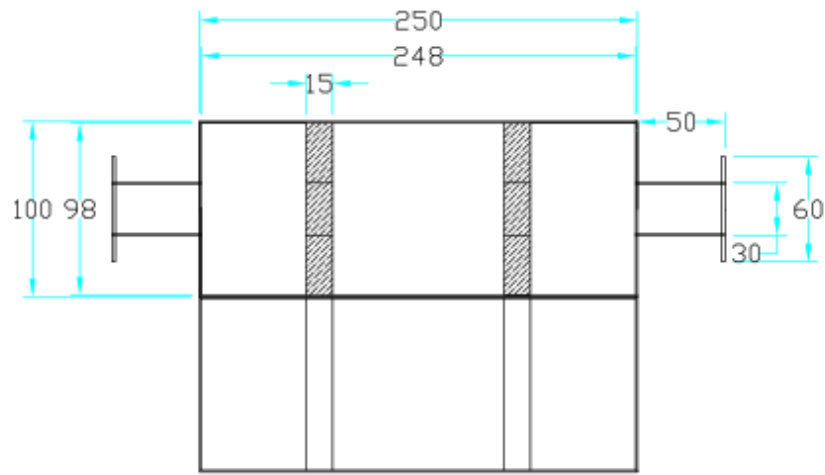
2.2. Pembuatan karbon aktif

Pembuatan karbon aktif memanfaatkan limbah kulit pisang yang banyak dijumpai di area Madura dan sekitarnya. Limbah kulit pisang mula-mula dijemur terlebih dahulu di bawah sinar matahari untuk proses pen-

geringan. Setelah kering kemudian dipotong-potong dan selanjutnya di furnace pada suhu 400 °C selama 1,5 jam. Setelah terbentuk serbuk karbon kemudian diaktivasi dengan larutan NaOH 2M dengan cara dicampur dan distirer selama 1 jam dengan kecepatan 400 rpm. Setelah terbentuk larutan karbon aktif kemudian disaring menggunakan kertas saring. Endapan yang terbentuk di oven pada temperature 105°C selama 2 jam untuk proses pengeringan.

2.3. Pembuatan *catalytic Converter*

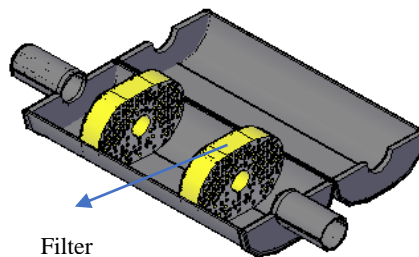
Pembuatan *catalytic converter* berbentuk seperti pipa yang terbuat dari plat besi, di dalam pipa tersebut diletakkan filter dari campuran serbuk nikel oksida dan karbon aktif teraktivasi. Rasio berat yang digunakan untuk campuran karbon aktif dan serbuk nikel oksida adalah 1:5. Kemudian ditambahkan semen putih sebagai pengikat campuran tersebut sebanyak 30 gram. Filter dari campuran serbuk nikel oksida dan karbon aktif teraktivasi tersebut dibentuk dengan cara pengepresan. Dimensi dari *catalytic converter* ditunjukkan pada Gambar 2. Sedangkan desain dan gambar *catalytic converter* ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 2: Dimensi dari *catalytic converter*



Gambar 3: Desain dua dimensi dari alat *catalytic converter* gas buang mesin diesel



Gambar 4: Desain tiga dimensi dari alat *catalytic converter* gas buang mesin diesel

2.4. Pengujian kandungan emisi mesin diesel

Pengujian emisi mesin diesel dilakukan menggunakan *portable emission analyzer*. Alat *portable emission analyzer* digunakan untuk mendapatkan dan memverifikasi data hasil emisi secara akurat sehingga diperoleh parameter emisi yaitu CO, NO dan NO_x. *Catalytic converter* dipasangkan pada saluran gas buang untuk melihat seberapa besar penyerapan kandungan emisi pada mesin diesel. Sebagai data pembandingan terlebih dahulu diukur kandungan emisi gas buang mesin diesel tanpa *catalytic converter*.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian emisi mesin diesel dilakukan pada mesin diesel satu silinder. Pada penelitian ini pengujian dilakukan tanpa menggunakan *catalytic converter* untuk melihat kandungan emisi yang dihasilkan pada mesin diesel kemudian dilanjutkan dengan menggunakan *catalytic converter* sebagai pembandingan dengan variasi waktu pengujian. Katalis yang digunakan pada pembuatan *catalytic converter* adalah karbon aktif dan serbuk nikel oksida. Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben sangat efektif digunakan karena luas permukaan area yang tinggi dan memiliki volume pori yang besar [12]. Selain itu Karbon aktif mempunyai daya serap yang tinggi terhadap suatu kation, anion, dan molekul dalam bentuk senyawa organik baik berupa larutan maupun gas. Karbon aktif juga memiliki gaya elektrostatis yang terletak di sekeliling area pori-pori yang besar. Gaya elektrostatis ini disebabkan tidak stabilnya atom-atom karbon aktif di sekeliling area pori yang besar akibat proses aktivasi sehingga sebagian ikatan senyawanya putus menjadi tidak stabil [13]. Oleh karena itu karbon aktif sangat berguna dalam kehidupan salah satunya mampu menyerap emisi gas buang suatu mesin [14]. Gambar katalis karbon hasil *furnace* dan campuran dari karbon aktif, serbuk nikel dan semen putih yang sudah *dipress* ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Sedangkan gambar *catalytic converter* secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5: Serbuk karbon dari hasil *furnace* limbah kulit pisang



Gambar 6: Campuran katalis yang sudah *dipress* dan dibentuk



Gambar 7: *Catalytic converter* dengan katalis karbon aktif dan serbuk nikel

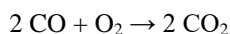
Pada umumnya karbon aktif dapat di aktivasi dengan 2 cara, yaitu dengan cara aktivasi kimia dengan hidroksida logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya $ZnCl_2$, asam-asam anorganik seperti H_2SO_4 dan H_3PO_4 , dan aktivasi fisika yang merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas pada suhu $400\text{ }^\circ\text{C} - 500\text{ }^\circ\text{C}$ [15]. Karbon aktif dapat disintesis melalui pirolisis dan aktivasi prekursor karbon termasuk bahan bakar fosil, biomassa atau turunannya. Berbagai biomassa seperti batok kelapa, bambu, biji jagung, jerami dan beberapa limbah organik banyak dieksplorasi karena kelimpahannya, keuntungan ekonominya, terlebih lagi ramah lingkungan. sumber daya karbon yang ramah, berkelanjutan dan terbarukan [16]. Oleh karena itu pada penelitian ini serbuk karbon yang diperoleh dari limbah kulit pisang diaktivasi secara kimia maupun fisika. Aktivasi sendiri merupakan suatu perubahan fisika dimana luas permukaan karbon menjadi lebih besar karena hidrokarbon yang menyumbat pori-pori terbebaskan dikarenakan terjadinya penghilangan senyawa dari sisa-sisa pengarang. Dengan meningkatnya luas permukaan maka partikel polutan yang terserap juga akan semakin meningkat [17].

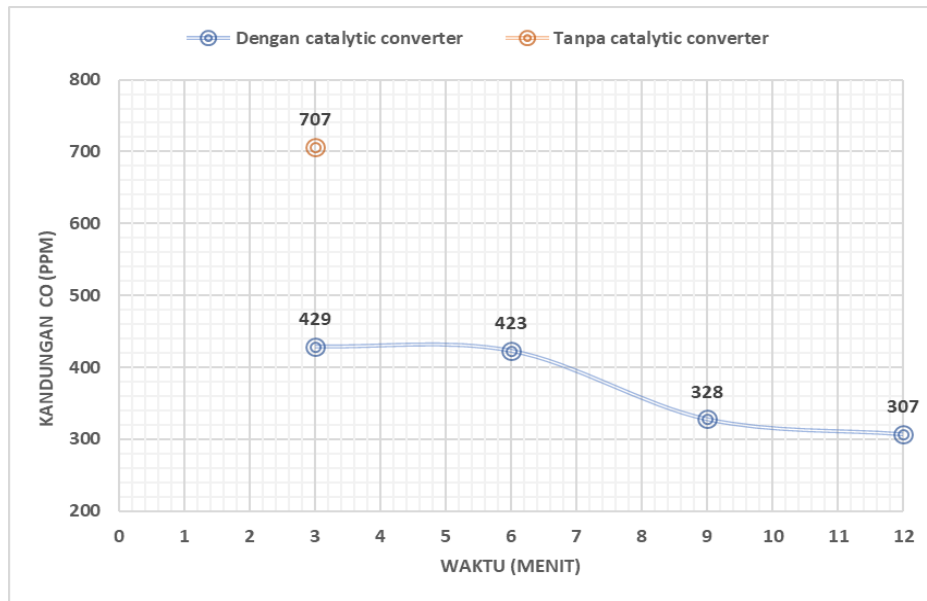
Pengujian emisi mesin diesel pada penelitian ini dilakukan pada putaran 1200 rpm. Adapun hasil pengujian emisi gas buang dapat dilihat pada Tabel 2. Untuk pengujian kandungan emisi mesin diesel diukur menggunakan instrument *portable emission analyzer*. *Portable emission analyzer* digunakan untuk mengukur kandungan CO , NO , NO_x , CO_2 dan O_2 . Hasil pengukuran kandungan emisi mesin diesel ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan kandungan gas CO , NO_x dan NO ketika menggunakan *catalytic converter* dibandingkan dengan tanpa menggunakan *catalytic converter*. Hasil pengujian kandungan O_2 , CO , NO_x , NO dan CO_2 tanpa katalitik converter yaitu masing-masing diperoleh sebesar 18,4 %; 707 ppm; 148 ppm; 141 ppm dan 1,8 %. Sedangkan dengan menggunakan katalitik converter dengan pengujian selama 12 menit diperoleh kandungan O_2 , CO , NO_x , NO dan CO_2 masing-masing sebesar 19,4 %; 307 ppm; 85 ppm; 81 ppm dan 1,1 %.

Tabel 2: Hasil pengujian emisi mesin diesel

| NO | PENGUJIAN | WAKTU (MENIT) | KANDUNGAN | | | | |
|----|-----------------------------------|---------------|-----------|------------|--------------|------------|------------|
| | | | O_2 (%) | CO_2 (%) | NO_x (PPM) | NO (PPM) | CO (PPM) |
| 1 | Tanpa <i>catalytic converter</i> | 3 | 18,4 | 1,8 | 148 | 141 | 707 |
| 2 | Dengan <i>catalytic converter</i> | 3 | 19,4 | 1 | 65 | 62 | 429 |
| | | 6 | 19,3 | 1,2 | 76 | 73 | 423 |
| | | 9 | 19,5 | 0,8 | 73 | 70 | 328 |
| | | 12 | 19,4 | 1,1 | 85 | 81 | 307 |

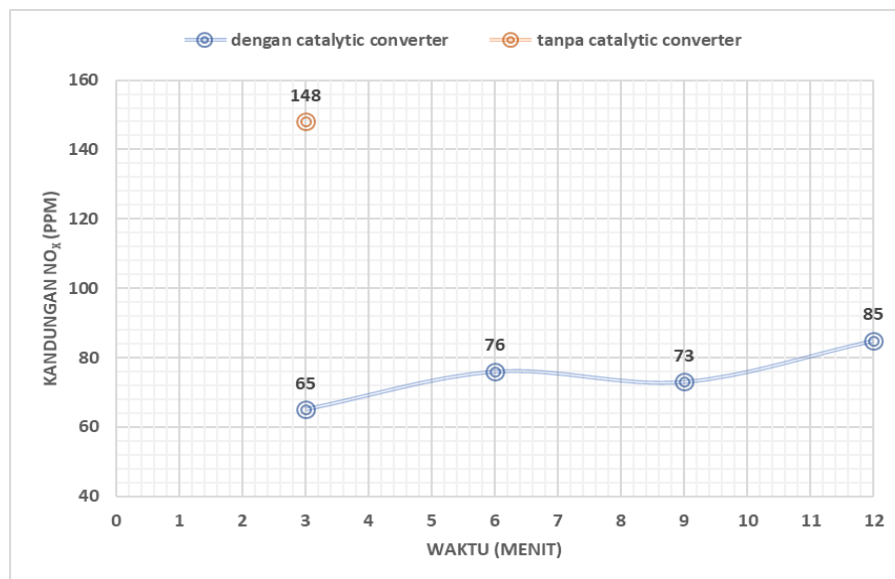
Pengaruh waktu pengujian terhadap kandungan gas CO ditunjukkan pada Gambar 8. Penggunaan *catalytic converter* dengan karbon aktif dan serbuk nikel oksida sebagai adsorben mampu menurunkan kandungan gas CO . Kandungan CO dari hasil pengujian tanpa *catalytic converter* diperoleh sebesar 707 ppm, kemudian mengalami penurunan kandungan CO seiring dengan pemasangan *catalytic converter* yang telah dibuat. Pengujian emisi dilakukan selama 12 menit dengan interval 3 menit dan diperoleh kandungan CO yaitu sebesar 307 ppm. Dari pengujian pada menit ke 3 hingga ke 12 rata-rata kandungan karbon monoksida (CO) yang diperoleh relatif mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan teori yang dijabarkan oleh Kaspar dkk [18] yang menunjukkan bahwa reaksi oksidasi CO menjadi CO_2 terjadi pada gas buang yang di pasang *catalytic converter* pada saluran gas buangnya. Hal ini terjadi karena katalis pada katalitik konverter membuat proses reaksi oksidasi gas CO menjadi CO_2 berlangsung lebih cepat dengan reaksi kimia sebagai berikut,





Gambar 8: Pengaruh waktu pengujian terhadap kandungan CO

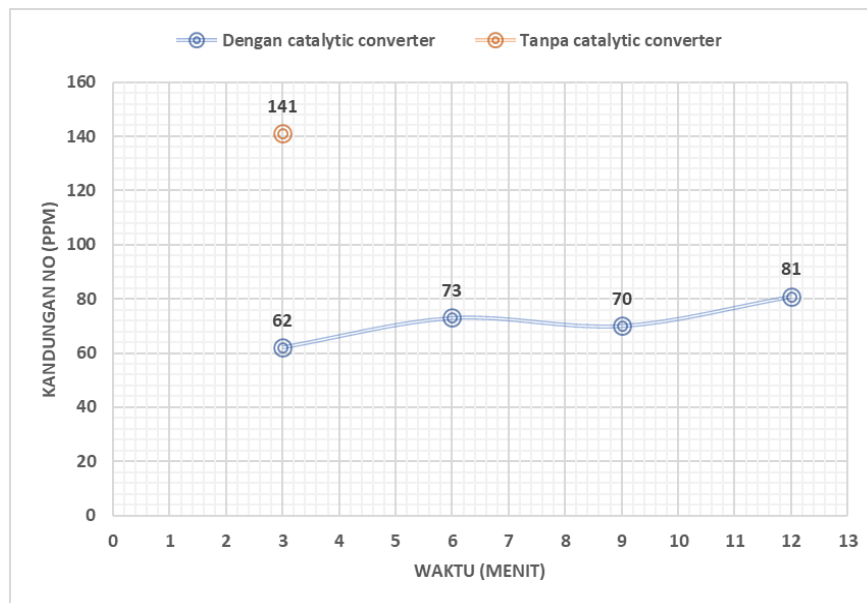
Gambar 9 menunjukkan pengaruh waktu pengujian terhadap kandungan NO_x pada saat pengujian. Kandungan NO_x dari hasil pengujian tanpa *catalytic converter* diperoleh sebesar 158,8 ppm, kemudian mengalami penurunan kandungan NO_x seiring dengan pemasangan *catalytic converter* yang telah dibuat. Pengujian emisi dilakukan selama 12 menit dan diperoleh kandungan NO_x paling rendah yaitu sebesar 65 ppm pada pengujian pada menit ke 3. Hal ini menunjukkan bahwa *catalytic converter* dengan karbon aktif dan serbuk nikel oksida sebagai filter menunjukkan kinerja dengan mengadsorpsi gas buang NO_x.



Gambar 9: Pengaruh waktu pengujian terhadap kandungan NO_x

Pengaruh waktu pengujian terhadap kandungan NO (nitrogen monoksida) dari mesin diesel ditunjukkan pada gambar 10. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya *catalytic converter* maka kandungan emisi dari mesin diesel menjadi berkurang. Kandungan gas NO terendah dengan adanya *catalytic converter* diperoleh pada pengujian menit ke 3, sedangkan kandungan tertinggi diperoleh pada menit ke 12. Dengan adanya pemasangan *catalytic converter* pada mesin diesel, kandungan emisi gas NO dari hasil pengukuran dengan beberapa variasi waktu relatif tidak mengalami kenaikan yang sangat signifikan dibandingkan tanpa menggunakan *catalytic converter*. Secara keseluruhan *catalytic converter* dengan katalis karbon aktif dan serbuk nikel mampu mengadsorpsi polutan yang dihasilkan dari emisi mesin diesel. Dari pengujian emisi diperoleh efisiensi penurunan kandungan CO yaitu sebesar 57 % ketika

pengujian emisi pada menit ke 12. Untuk kandungan NO_x dan NO_2 diperoleh efisiensi penurunan sebesar 43 %. Hal ini terjadi dikarenakan material karbon aktif mempunyai kemampuan sebagai adsorben serta mempunyai luas permukaan dan pori-pori yang cukup besar untuk menyerap polutan CO, NO_x dan NO_2 .



Gambar 10: Pengaruh waktu pengujian terhadap kandungan NO

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa *catalytic converter* dengan campuran karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan NaOH dan campuran serbuk nikel oksida berhasil menurunkan kandungan emisi dari mesin diesel. Efisiensi penurunan kandungan CO yang diperoleh yaitu sebesar 57 % ketika pengujian emisi pada menit ke 12. Sedangkan untuk kandungan NO_x dan NO diperoleh efisiensi penurunannya sebesar 43 %.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan pendanaan penelitian Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2020.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ARUNKUMAR, S., KANKEYAN, M., MUNESWARAN, V., ARAVIND, M. R., "Exhaust emission reduction in si engine using catalytic converter with silicon dioxide & alumina with silica as catalysts", *International Journal of Research in Mechanical, Mechatronic and Automobile Engineering*, v. 2, n. 1, pp. 72–78, 2016.
- [2] DEY, S., CHANDRA DHAL, G., "Controlling carbon monoxide emissions from automobile vehicle exhaust using copper oxide catalysts in a catalytic converter", *Mater. Today Chem.*, v. 17, 2020.
- [3] INDRAWATI, A., TANTI, D.A., BUDIWATI, T., SUMARYATI, "Perhitungan konsentrasi nitrogen oksida (no , no_x) ambien dengan menggunakan konsentrasi no_2 dan o_3 dari passive sampler (studi kasus: cipedes, bandung) (calculation of ambient nitrogen oxides (no , no_x) concentrations using no_2 and o_3 concentrations from passive sampler (case study: cipedes, bandung))", *Jurnal Sains Dirgantara*, v. 16, n. 2, pp. 91–104, 2019.
- [4] GHOFUR, A., SOEMARNO, HADI, A., PUTRA, M.D., "Potential fly ash waste as catalytic converter for reduction of HC and CO emissions", *Sustainable Environment Research*, v. 28, n. 6, pp. 357–362, 2018.
- [5] KUMAR, J.P., SIVAKUMAR, S., BALAJI, R., SATHISH, S., NADARAJAN, M., "Effective utilization of banana plant waste materials for catalytic converter filter in kirloskar diesel engine", *Mater. Today Proc.*, v. 24, n. 4, pp. 2174–2184, 2019.
- [6] AZAMAN, S.A.H., AFANDI, A., HAMEED, B.H., MOHD DIN, A.T., "Removal of malachite green

- from aqueous phase using coconut shell activated carbon: adsorption, desorption, and reusability studies”, *J. Appl. Sci. Eng.*, v. 21, n. 3, pp. 317–330, 2018.
- [7] SUNDAY, N.J., OKECHUKWU, N.S., *et al.*, “Quantitative characterization of activated carbon from cow, donkey, chicken and horse bones from ezzangbo in ebonyi state, nigeria” *Am. J. Appl. Chem.*, v. 6, no. 5, pp. 169-174, 2018.
- [8] NAVEENKUMAR, R., KUMAR, S.R., PUSHYANTHKUMAR, G., KUMARAN, S.S., “NO_x, CO & HC control by adopting activated charcoal enriched filter in catalytic converter of diesel engine”, *Mater. Today Proc.*, v. 22, n. 4, pp. 2283–2290, 2020.
- [9] AMIN, M., SUBRI, M., “Uji performa filter gas emisi kendaraan bermotor berbasis keramik porous dengan aditif tembaga, TiO₂ dan karbon aktif dalam penurunan kadar gas carbon monoksida,” *Mekanika*, v. 15, n. 2, pp. 24–30, 2016.
- [10] DARMAYANTI, D., RAHMAN, N., SUPRIADI, S., “Adsorpsi timbal (Pb) dan zink (Zn) dari larutannya menggunakan arang hayati (biocharcoal) kulit pisang kepok berdasarkan variasi ph (adsorption of plumbum (Pb) and zinc (Zn) from its the Solution by using biological charcoal (biocharcoal) of kepok banana)”, *Jurnal Akademi Kimia*, v. 1, n. 4, pp. 159-165, 2012.
- [11] LANTANG, A.C., ABIDJULU, J., ARITONANG, H. F., “Pemanfaatan karbon aktif dari limbah kulit pisang goroho (musa acuminata) sebagai adsorben zat pewarna tekstil methylene blue”, *Jurnal MIPA*, v. 6, n. 2, pp. 55-58, 2017.
- [12] REDHA, F., JUNAIIDY, R., HASMITA, I., “Penyerapan Emisi CO Dan NO_x Pada Gas Buang Kendaraan Menggunakan Karbon Aktif Dari Kulit Cangkang Biji Kopi”, *Biopropal Industri*, v. 9, n. 1, pp. 37–47, 2018.
- [13] PURNAMI., WARDANA, I., “Perbandingan Interaksi Karbon Aktif dengan Polaritas Minyak Nabati terhadap Karakteristik Pembakaran *Premixed*, *Rekayasa Mesin*, v. 12, n. 1, pp. 79–86, 2021.
- [14] WANGSA, H., NEGARA, D.N.K.P., NINDHIA, T.T., “Penyerapan CO₂ dengan karbon aktif bambu swat dengan variasi ukuran butiran”, *Teknik Desain Mekanika*, v. 8, n. 1, pp. 440–444, 2019.
- [15] HARTANTO, S., RATNAWATI, “Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan metode aktivasi kimia”, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, v. 12, n. 1, pp. 12–16, 2010.
- [16] SONG, X., MA, X., LI, Y., DING, L., JIANG, R., “Tea waste derived microporous active carbon with enhanced double-layer supercapacitor behaviors,” *Applied. Surface Science*, v. 487, pp. 189–197, 2019.
- [17] KURNIATI, E., “Pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai arang aktif”, *Jurnal Penelitian. Ilmu Teknik.*, v. 8, n. 2, pp. 96–103, 2008.
- [18] KAŠPAR, J., FORNASIERO, P., HICKEY, N., “Automotive: catalytic converters current status: current status and some perspectives”, *Catalysis Today*, v. 77, n. 4, pp. 419–449, 2003.