



## Pengaruh Penambahan *Catalytic Converter* Berbahan *Ceramic Cordierite Honeycomb* dan *Sponge steel* terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan

### *The Effect of Adding a Catalytic Converter Made from Ceramic Cordierite Honeycomb and Sponge steel on Vehicle Exhaust Gas Emissions*

Andinusa Rahmandhika<sup>1, a)</sup>, Ali Mokhtar<sup>1</sup>, Etantyo Daffa Defantyan<sup>1</sup>, Vicky Thorikhotul Lutfi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Malang

<sup>a)</sup>Corresponding author: andinusa@umm.ac.id

#### Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor mengakibatkan kenaikan polusi udara akibat emisi gas buang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penambahan katalisator berbahan keramik *cordierite* berbentuk sarang lebah dan penambahan spons baja guna menghambat tingginya gas berbahaya yang dilepaskan pada knalpot. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, dimulai dari perancangan *converter*, pemilihan jenis katalis, hingga proses pembuatan *converter* berbahan keramik *cordierite* dan spons baja lebah. Selanjutnya, dilakukan pengujian untuk membandingkan emisi gas buang kendaraan yang menggunakan *converter* dengan yang tidak menggunakan atau menggunakan knalpot bawaan motor. Parameter yang diukur adalah *presentase* gas buang CO, CO<sub>2</sub>, dan HC pada knalpot dengan memvariasikan nilai putaran mesin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *converter* berbahan katalis keramik *cordierite* dapat menekan peningkatan *presentase* gas CO, CO<sub>2</sub>, dan kadar emisi HC yang dilepaskan ke lingkungan pada putaran mesin 1500 – 4500 rpm. Penambahan *sponge steel* efektif untuk mereduksi gas CO, CO<sub>2</sub>, dan kadar emisi HC pada putaran mesin rendah, namun tidak maksimal pada rpm tinggi.

**Kata Kunci:** *catalytic converter*; *ceramic cordierite honeycomb*; *sponge steel*

#### Abstract

The increase in the number of motorized vehicles results in an increase in air pollution due to exhaust emissions. This research aims to examine the addition of a honeycomb-shaped cordierite ceramic catalyst and the addition of steel sponge to inhibit the high levels of harmful gases released in the exhaust. The method used in this research is an experimental method, starting from designing the converter, selecting the type of catalyst, to the process of making the converter from cordierite ceramic and bee steel sponge. Next, tests were carried out to compare the exhaust emissions from vehicles that use a converter with those that do not use or use a motorbike exhaust. The test results show that the use of a converter made from cordierite ceramic catalyst can reduce the increase in the percentage of CO, CO<sub>2</sub> gas and HC emission levels released into the environment at engine speeds of 1500 - 4500 rpm. The addition of sponge steel is effective in reducing CO, CO<sub>2</sub> and HC emission levels at low engine speeds, but not optimally at high rpm.

**Keywords:** *catalytic converter*; *ceramic cordierite honeycomb*; *sponge steel*

#### PENDAHULUAN

Penggunaan kendaraan bermotor semakin meningkat dari waktu ke waktu. Kenaikan ini berpotensi meningkatkan tingkat pencemaran udara, mengingat kontribusi utama terhadap pencemaran udara sebesar 60-70% berasal dari kendaraan bermotor, jauh lebih tinggi daripada sektor industri yang hanya berkisar antara 10-15% [1]. Sementara itu, sumber pencemaran udara lainnya

meliputi rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan atau ladang, dan faktor-faktor lainnya [2]. Sebagian besar kendaraan bermotor menghasilkan gas buang yang berbahaya, disebabkan oleh kurangnya perawatan, usia kendaraan yang tua, dan penggunaan bahan bakar berkualitas rendah [3, 4]. Pembakaran kendaraan bermotor mengeluarkan polutan seperti Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Sulfur Oksida (SO<sub>2</sub>), dan Timah Hitam (Pb), yang umumnya disebut

sebagai polutan primer. Gas Karbon Monoksida (CO) menjadi salah satu polutan paling dominan dan berbahaya, berpotensi mengganggu sistem pernapasan manusia dan merugikan lingkungan sekitar [5]. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya penanggulangan dan pengurangan pencemaran udara. Beberapa negara sudah menerapkan langkah-langkah untuk mengurangi emisi gas berbahaya dari kendaraan bermotor dengan melakukan modifikasi pada beberapa bagian kendaraan [6].

*Catalytic converter* telah menjadi perangkat standar untuk semua kendaraan bermotor di wilayah dunia yang telah berkembang [7]. Untuk memastikan efektivitas katalisator, gas asap harus mencapai seluruh permukaan katalis dan bekerja dalam rentang suhu antara 250°C hingga 300°C. Distribusi aliran yang optimal dapat diamati saat gas asap mengalir melalui lubang horizontal katalisator tanpa adanya sekat [8]. Industri kendaraan bermotor telah berusaha keras untuk mengurangi emisi gas buang dengan menambahkan *Catalytic Converter* pada saluran knalpot [9]. Tujuannya adalah agar emisi gas buang tetap dalam tingkat yang tidak membahayakan. Beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi emisi gas buang melibatkan modifikasi bagian internal mesin, penggunaan bahan bakar dengan penambahan etanol dan pelet, serta penyesuaian pada saluran gas buang melalui penambahan *Catalytic Converter* guna mengurangi gas hasil pembakaran dari mesin.

*Catalytic converter* merupakan sebuah perangkat yang dipasang pada kendaraan guna mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan [10]. Memahami fenomena aliran di dalam saluran tersebut cukup kompleks, namun dengan menggunakan perangkat lunak Fluent atau Ansys, simulasi dapat dilakukan untuk mengidentifikasi pola aliran yang terbentuk di dalamnya [11, 12]. Semakin merata gas buang menyentuh permukaan *catalytic converter*, semakin besar pula proses reduksi emisi yang terjadi. Keberadaan *catalytic converter* pada saluran gas buang membantu mengonversi emisi gas berbahaya seperti HC, CO, dan NO<sub>x</sub> menjadi zat kimia yang tidak berbahaya [13]. Beberapa logam yang efektif sebagai katalisator oksidasi, termasuk platinum, plutonium, palladium (logam mulia), tembaga, vanadium, besi, kobalt, nikel, mangan, kromium, dan oksida dari logam-logam tersebut.

Proses katalisis reduktif pada dasarnya bertujuan untuk meningkatkan aktivitas molekul NO di dalam CO, seperti yang terjadi pada logam seperti nikel atau tembaga (namun tanpa keberadaan O<sub>2</sub>, yang dapat menyebabkan oksidasi), dengan tujuan membentuk N<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. NO dapat berinteraksi dengan molekul logam, membentuk oksida yang selanjutnya dapat bereaksi dengan CO, mengembalikan molekul logam sebagai katalis reduktif yang dapat digunakan kembali. Beberapa contoh logam tersebut meliputi besi, nikel, tembaga, paduan, dan oksida

mereka. Dalam perancangan knalpot dengan konverter katalitik berbahan keramik *cordierite* dan penambahan spons baja, pengujian emisinya dilakukan menggunakan analisis gas dengan harapan bahwa kadar emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Karbon Monoksida (CO), dan Hidrokarbon (HC) dapat berkurang [14].

Pembakaran yang tidak optimal menghasilkan emisi gas polutan seperti HC, CO, dan NO<sub>x</sub> dari kendaraan bermotor [15]. Faktanya, pembakaran yang sepenuhnya sempurna sebesar 100% tidak mungkin terjadi. Oleh karena itu, pemasangan katalis konverter pada semua kendaraan bermotor diperlukan. Prinsip dasar dari reaksi reduksi katalitik adalah meningkatkan tempat kegiatan molekul NO, misalnya dengan menggunakan nikel atau tembaga dalam keberadaan CO (tanpa keberadaan O<sub>2</sub>, yang dapat menyebabkan oksidasi) [16]. Hal ini bertujuan membentuk N<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. NO dapat bereaksi dengan molekul logam untuk membentuk oksida yang kemudian dapat berinteraksi dengan CO, sehingga mengembalikan molekul logam yang dapat digunakan sebagai katalis reduksi. Jenis logam yang umumnya digunakan meliputi besi, nikel, tembaga, paduan, dan oksida dari logam-logam tersebut [17]. Penambahan *Catalytic Converter* sudah banyak dilakukan oleh para peneliti dengan berbagai variasi bentuk, material, dan besar putaran mesin. Beberapa peneliti membandingkan jenis material seperti tembaga dan kuningan dengan bentuk CC berupa sarang laba-laba [7] dan sarang lebah [8]. Walaupun demikian, variasi jenis material dan bentuk CC tersebut perlu dioptimalkan sehingga mendapatkan penurunan emisi gas buang paling tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor standar, serta membandingkannya dengan dampak penambahan *catalytic converter* yang menggunakan bahan katalis dari keramik *cordierite* dan *sponge steel*. Dengan demikian, penambahan *catalytic converter* dianggap sebagai tindakan strategis untuk mengurangi emisi, yang berpotensi memberikan manfaat positif bagi lingkungan sekitar. Walaupun tidak dapat menghilangkan emisi sepenuhnya, penambahan ini diharapkan dapat mengurangi tingkat emisi secara signifikan.

## METODE PENELITIAN

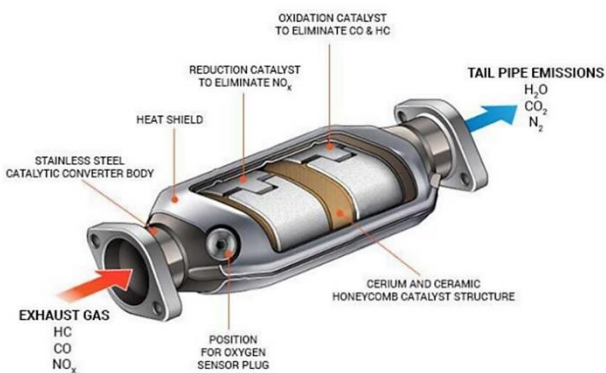
*Catalytic Converter* (CC) adalah salah satu alat untuk mempercepat terjadinya proses pembakaran sisa-sisa Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Oksid (NO<sub>x</sub>) yang masih terdapat pada gas buang kendaraan bermotor. Sewaktu melewati *catalytic converter* gas tersebut akan mengalami proses kimia secara oksidasi dan reduksi akibat adanya penambahan oksigen dan temperatur tinggi, proses pembakaran sisa hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan

nitrogen oksid ( $\text{NO}_x$ ) yang masih terdapat pada gas buang sewaktu melewati katalisator, yang semula berbahaya berupa HC, CO dan  $\text{NO}_x$  akan berubah menjadi senyawa yang stabil berupa  $\text{CO}_2$ , senyawa air  $\text{H}_2\text{O}$ , senyawa  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$ .



**Gambar 1.** Bentuk *ceramic cordierite catalytic converter*

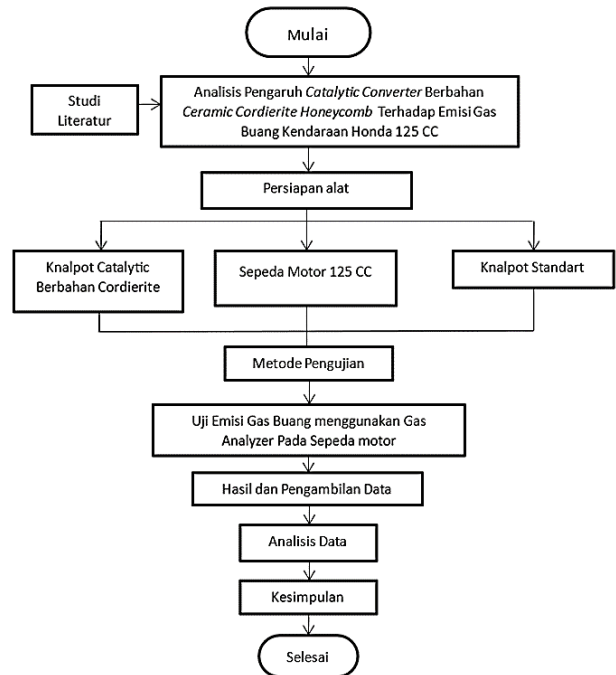
Dengan adanya *converter* katalitik seperti pada **Gambar 1** pada saluran gas buang, zat kimia berbahaya dalam emisi gas buang, seperti HC, CO, dan  $\text{CO}_2$ , akan diubah menjadi zat kimia yang tidak berbahaya. Beberapa logam yang efektif sebagai katalisator oksidasi, termasuk platinum, plutonium, palladium (logam mulia), tembaga, vanadium, besi, kobalt, nikel, mangan, chromium, dan oksida dari logam-logam tersebut, digunakan sebagai bahan katalis dalam *converter* katalitik [18]. Desain katalisator pada *converter* katalitik (**Gambar 2**) memerlukan presisi agar hasil maksimal tercapai, terutama saat aliran gas dalam katalisator merata. Semakin merata aliran gas dalam katalisator, semakin optimal proses reduksi berlangsung, mengurangi emisi yang dihasilkan.



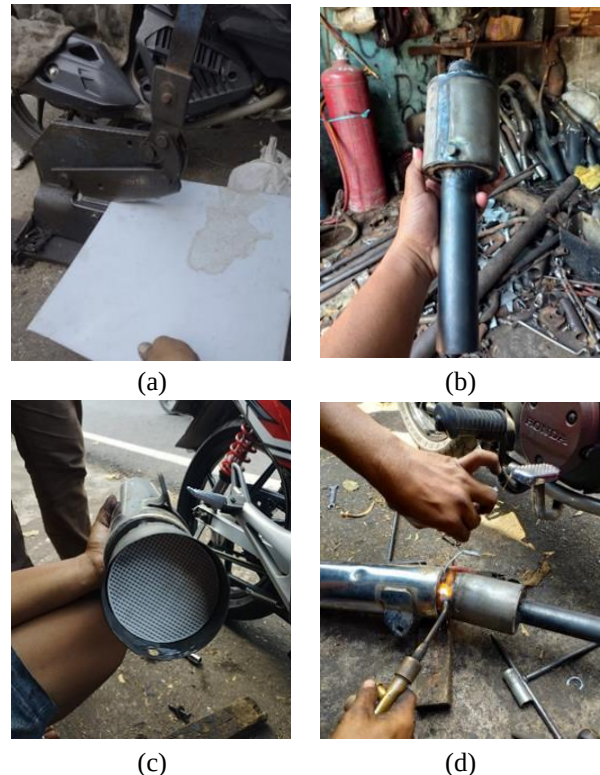
**Gambar 2.** Skema konstruksi *catalytic converter*

Metode penelitian yang diterapkan adalah metode eksperimental. Tahap pertama melibatkan pengujian emisi kendaraan bermotor tanpa menggunakan katalisator konverter, diikuti oleh pengujian emisi kendaraan bermotor yang menggunakan katalisator konverter berbahan keramik

*cordierite* dengan penambahan spons baja untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 3** [19].



**Gambar 3.** Diagram alur penelitian



**Gambar 4.** Proses attachment *catalytic converter* ke dalam knalpot (a) perhitungan posisi katalis, (b) pemotongan knalpot, (c) penempelan silinder katalis ke luas penampang knalpot, dan (d) pengelasan sambung potongan knalpot

Sebelum penyusunan katalisator, desainnya harus dibuat terlebih dahulu, dan kemudian bentuk asli katalisator dibuat sesuai dengan desain tersebut. Katalisator yang telah dibuat kemudian diuji secara presisi dengan menggunakan desain knalpot yang telah ada. Prinsip uji presisi ini bertujuan untuk menunjukkan kesesuaian dan kecocokan katalisator dengan desain knalpot yang digunakan. Setelah berhasil melewati uji presisi, katalisator konverter dipasang pada kendaraan, dan selanjutnya dilakukan pengujian emisi. Proses penelitian dapat dilihat pada flowchart di [Gambar 3](#).

Desain katalisator pada *catalytic converter* memerlukan presisi khusus untuk mencapai hasil optimal, terutama saat aliran gas terjadi di dalam katalisator. Semakin merata aliran gas di dalam katalisator, semakin efektif proses reduksi berlangsung, yang pada gilirannya mengurangi emisi yang dihasilkan. Ketika memesan, bentuk katalisator harus sesuai, sehingga tidak perlu melakukan desain untuk katalisator itu sendiri. Sebaliknya, fokusnya adalah merancang chasing *Catalytic Converter* sebagai tempat katalis, yang setelah selesai sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan, akan memuat *Ceramic Cordierite* sebagai katalis ke dalam housing *Catalytic Converter* [20]. Setelah dipasang dengan rapi, *Catalytic Converter* tersebut dapat dipasang pada kendaraan, dan uji emisi dapat dilakukan. Proses pembuatan *Catalytic Converter* dimulai dengan memotong potong plat besi sesuai ukuran, menyambungkannya menggunakan las asitelin sesuai dengan ukuran yang telah ditetapkan, dan kemudian menyusun katalis ke dalam *Catalytic Converter* seperti yang diilustrasikan dalam urutan di [Gambar 4](#).

Proses penyusunan katalis pada knalpot melibatkan langkah-langkah seperti memasukkan katalis *cordierite* dengan hati-hati untuk mencapai presisi, diikuti dengan penambahan spons baja.

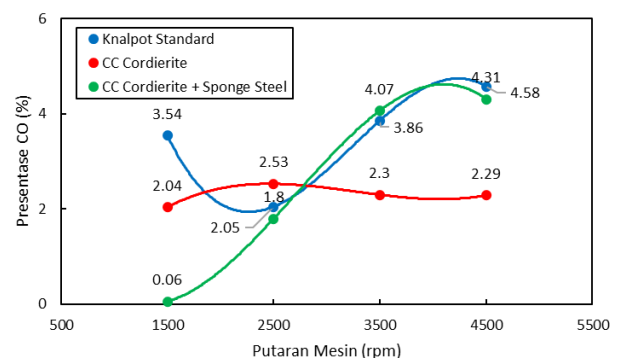
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran emisi dilakukan dengan menggunakan perangkat pengukur emisi yang disebut sebagai Gas Analyzer. Alat ini berperan dalam menentukan kadar emisi gas buang dengan cara memasukkan pipa detektor gas ke dalam lubang knalpot. Pipa tersebut akan menyerap gas buang dan mentransfernya dalam bentuk angka-angka analog yang mencerminkan jumlah emisi dari gas tersebut. Data tersebut kemudian dicetak sesuai kebutuhan. Dari hasil pengujian, diperoleh data awal untuk katalis konverter yang menggunakan bahan katalis keramik *cordierite* dan spons baja. Selanjutnya, data hasil pengujian tanpa menggunakan katalis konverter atau standar juga dicatat.

Pengumpulan data dilakukan sebanyak lima kali pada setiap putaran, lalu dihitung rata-ratanya dan disusun dalam tabel serta dibuat grafik. Putaran diambil pada 1500, 2500, 3500, dan 4500 rpm. Pengambilan data pada putaran ini

didasarkan pada asumsi bahwa kendaraan beroperasi secara stasioner pada putaran 1500 rpm, sementara putaran mendekati maksimum terjadi pada 4500 rpm.

[Gambar 5](#) menunjukkan perbandingan antara gas karbon monoksida yang keluar dari knalpot standard maupun modifikasi dengan penambahan *catalytic converter* tipe *ceramic cordierite* dan penambahan *sponge steel*. Terlihat bahwa pada putaran mesin yang rendah, efek penambahan *sponge steel* sangat terlihat dengan minimnya *presentase* gas CO yang keluar pada knalpot, yaitu sebesar 0,06%. Hal tersebut lebih rendah dibandingkan hanya dengan penambahan CC *cordierite* saja (2,04%). Walaupun demikian, peningkatan putaran mesin ke 2500 rpm tidak banyak berpengaruh pada penambahan *sponge steel*. Nilai yang didapatkan pada rpm yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa *sponge steel* justru mengakibatkan *presentase* keluaran CO sama dengan yang terjadi pada knalpot standard. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan *sponge steel* hanya cocok digunakan pada putaran mesin yang rendah (di bawah 2000 rpm). Sebaliknya, penambahan *catalytic converter cordierite* saja justru menekan penambahan *presentase* gas CO pada exhaust gas. Nilai *presentasenya* dapat dijaga konstan pada kisaran 2 – 2,5% pada variasi putaran mesin 1500 – 4500 rpm. Penambahan *presentase* gas CO cukup berbahaya, karena mengindikasikan pembakaran yang tidak sempurna pada mesin kendaraan, dimana kurangnya rasio udara terhadap bahan bakar. Gas CO yang dilepaskan ke lingkungan juga berbahaya bila dihirup oleh manusia, karena dengan cepat akan mengikat hemoglobin dan mengakibatkan kerusakan paru-paru.

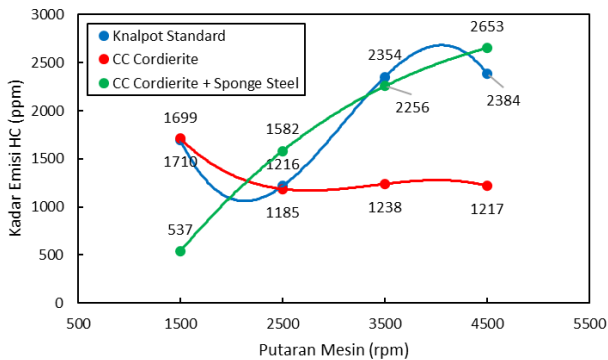


**Gambar 5.** Perbandingan *presentase* CO keluaran exhaust gas pada knalpot standard, penambahan *Catalytic converter Cordierite*, dan penambahan *Sponge steel*

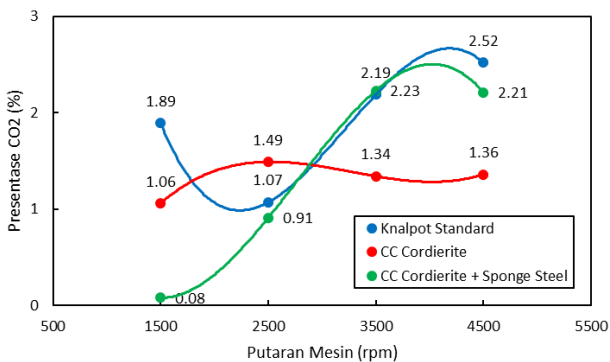
Kondisi serupa juga ditunjukkan pada perbandingan kadar hidrokarbon (HC) yang keluar pada exhaust gas di [Gambar 6](#). Mula-mula, nilai HC yang keluar pada modifikasi CC *Cordierite* dan penambahan *sponge steel* hanya 537 ppm, namun peningkatan hamper linear terjadi, bahkan pada putaran mesin 4500 rpm, nilai kadar HC yang dilepaskan ke lingkungan justru melebihi knalpot standard.



Berkebalikan dengan hanya penambahan CC *cordierite* saja, nilai kadar HC tergolong konstan, bahkan mengalami penurunan walaupun tidak signifikan. Kadar HC yang dikeluarkan pada CC *cordierite* untuk 1500 rpm bernilai 1700 ppm, namun menurun hingga 1217 ppm pada rpm paling tinggi (4500 rpm). Peningkatan kadar HC ini juga berbahaya bagi lingkungan, karena mengandung partikel solid yang dapat dihirup oleh hidung. Nilai PM (particulate matter) dari HC yang lebih kecil namun pekat justru tidak dapat tersaring oleh bulu hidung. Akibatnya, unsur tersebut akan lebih mudah masuk ke dalam paru-paru.



**Gambar 6.** Perbandingan kadar emisi HC keluaran exhaust gas pada knalpot standard, penambahan *Catalytic converter Cordierite*, dan penambahan *Sponge steel*



**Gambar 7.** Perbandingan *presentase* CO<sub>2</sub> keluaran exhaust gas pada knalpot standard, penambahan *Catalytic converter Cordierite*, dan penambahan *Sponge steel*

Pada nilai kadar CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke lingkungan (**Gambar 7**), tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan *presentase* pelepasan CO. Padahal penambahan *presentase* gas CO<sub>2</sub> sebenarnya menunjukkan bahwa pembakaran mesin berlangsung lebih stoikiometrik. Walaupun demikian, proses pembakaran terjadi di hulu, bukan di hilir (gas buang). Sehingga trend *presentase* unsur CO, CO<sub>2</sub>, dan HC pada gas buang dipengaruhi oleh putaran mesin atau berapa jumlah bahan bakar yang digunakan.

Pada beberapa kondisi, seperti perbedaan besar putaran mesin, *catalytic converter* seringkali tidak bekerja secara optimal. Hal tersebut juga dipengaruhi banyak factor, seperti kerusakan katalis itu sendiri, kinerja mesin yang

buruk, serta pengaruh lingkungan seperti temperature kerja katalis yang optimal. Pada penelitian ini, kemungkinan faktor yang dominan adalah pada kerusakan fisik katalis karena bahannya yang terbuat dari keramik, sehingga rawan retak ketika terjadi getaran. Selain itu, campuran bakar yang tidak tepat dan suhu operasi yang tidak sesuai pada rpm tertentu juga berpengaruh pada performa penyerapan emisi gas buang di area exhaust.

## Simpulan

Berdasarkan penelitian mengenai efek penambahan *catalytic converter* tipe *ceramic cordierite* serta *sponge steel*, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Penambahan *sponge steel* dapat mereduksi nilai *presentase* gas CO, CO<sub>2</sub>, dan HC hanya pada putaran mesin rendah (1500 rpm), namun performanya berkurang dan tidak terlihat pada rpm yang lebih tinggi. Putaran mesin yang tinggi mempengaruhi kinerja *sponge steel* yang menghambat penyerapan emisi gas buang oleh CC *Cordierite* akibat adanya peningkatan getaran mesin maupun suhu knalpot. Sebaliknya, penambahan *catalytic converter cordierite* saja justru menstabilkan *presentase* gas CO, CO<sub>2</sub>, dan HC yang keluar pada exhaust pada putaran mesin rendah hingga ke tinggi. Kecenderungannya justru menurun untuk kadar emisi HC yang dilepaskan ke lingkungan pada rpm yang lebih tinggi. Dapat disimpulkan bahwa penambahan *catalytic converter cordierite* dapat menekan peningkatan *presentase* gas buang berbahaya yang dilepaskan ke lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Haruna, L. Lahming, F. Amir, and A. R. J. P. U. A. G. B. K. B. D. D. T. K. Asrib, "Pencemaran Udara Akibat Gas Buang Kendaraan Bermotor Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan," vol. 2, no. 2, pp. 57-61, 2019.
- [2] I. Ismiyati, D. Marlita, D. J. J. M. T. Saidah, and Logistik, "Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor," vol. 1, no. 3, pp. 241-248, 2014.
- [3] D. Campagnolo *et al.*, "Factors affecting in-vehicle exposure to traffic-related air pollutants: A review," vol. 295, p. 119560, 2023.
- [4] V. Franco, M. Kousoulidou, M. Muntean, L. Ntziachristos, S. Hausberger, and P. J. A. E. Dilara, "Road vehicle emission factors development: A review," vol. 70, pp. 84-97, 2013.
- [5] J. A. Mott *et al.*, "National vehicle emissions policies and practices and declining US carbon monoxide-related mortality," vol. 288, no. 8, pp. 988-995, 2002.
- [6] B. Kvaløy, H. Finseraas, and O. J. J. o. P. R. Listhaug, "The publics' concern for global

- warming: A cross-national study of 47 countries," vol. 49, no. 1, pp. 11-22, 2012.
- [7] A. Mokhtar, A. Rahmandhika, S. Suwignyo, and F. Wijayanto, "The utilization of *catalytic converter* in reducing motorized vehicles emissions with copper and brass wire combined catalyst in the spiderwebs-shape," in *AIP Conference Proceedings*, 2022, vol. 2453, no. 1: AIP Publishing.
- [8] A. Mokhtar, A. Saifullah, and A. J. J. Rahmandhika, "A *Honeycomb*-Shaped Brass Plate Catalyst to Reduce Motor Vehicle Emissions," vol. 6, no. 1, pp. 25-32, 2021.
- [9] A. J. J. G. Mokhtar, "Catalytic *converter* jenis katalis plat tembaga berbentuk sarang lebah untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor," vol. 10, no. 1, 2014.
- [10] S. Sharma, P. Goyal, S. Maheshwari, and A. J. S. T. o. C. E. I.-A. S. A. Chandra, "A technical review of automobile *catalytic converter*: current status and perspectives," vol. 1, pp. 171-179, 2015.
- [11] H. Weltens, H. Bressler, F. Terres, H. Neumaier, and D. Rammoser, "Optimisation of *catalytic converter* gas flow distribution by CFD prediction," SAE Technical Paper0148-7191, 1993.
- [12] G. Pontikakis, G. Konstantas, and A. J. J. E. G. T. P. Stamatelos, "Three-way *catalytic converter* modeling as a modern engineering design tool," vol. 126, no. 4, pp. 906-923, 2004.
- [13] J. Gao, G. Tian, A. Sornioti, A. E. Karci, and R. J. A. T. E. Di Palo, "Review of thermal management of *catalytic converters* to decrease engine emissions during cold start and warm up," vol. 147, pp. 177-187, 2019.
- [14] A. D. Lesmana and P. J. M. Kristanto, "Perancangan Diesel Particulate Trap Untuk Menurunkan Opasitas Gas Buang," vol. 4, 2015.
- [15] R. G. Burns and V. M. J. J. o. G. R. S. E. Burns, "Crystal chemistry of meteoritic hibonites," vol. 89, no. S01, pp. C313-C321, 1984.
- [16] R. Alfanaar, M. H. J. R. J. O. N. Afthoni, and A. SCIENCES, "Reduksi Katalitik 4-Nitrofenol dengan Katalis Nanopartikel Perak Terkonjugasi L-Lisine," vol. 1, no. 2, pp. 83-89, 2021.
- [17] A. Hidayat and S. J. T. Sutarno, "Sintesis Katalis Cuo-zeolit Alam Untuk Reaksi Reduksi Gas No2 Menggunakan Reduktor Senyawa Hidrokarbon," vol. 19, no. 1, 2013.
- [18] E. Ewais, Y. Ahmed, and A. J. J. o. C. P. R. Ameen, "Preparation of porous *cordierite ceramic* using a silica secondary resource (silica fumes) for dust filtration purposes," vol. 10, no. 6, pp. 721-728, 2009.
- [19] M. Martín, F. López, M. Rabanal, and J. Torralba, "Production of Sponge Iron Powder by Reduction of a By-product of the Steelmaking Industry," in *PM 2010 World Congress–Water Atomized Powders*, 2010, vol. 1, p. 2010.
- [20] A. Dey *et al.*, "Permeability and nanoparticle filtration assessment of *cordierite*-bonded porous SiC *ceramics*," vol. 52, no. 51, pp. 18362-18372, 2013.