

PENGURANGAN EMISI PADA KENDARAAN MENGGUNAKAN KAOLIN ALAM SEBAGAI ADSORBEN DI KOTA LHOKSEUMAWE

Alfian Putra^{1,*}, Nanang R Wijaya², Reza Fauzan³, Utari Handayani⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe

*e-mail : alfianputra@pnl.ac.id

Abstract

This study aims to utilize kaolin as a membrane to reduce CO emissions in vehicles. The study was designed with constant variables including 10% PVA, 10% TiO₂ catalyst, 8% starch adhesive, and 130 ml of distilled water, resulting in a total mixture weight of 140 grams. The membrane dimensions were 70 mm in length and 50 mm in diameter, with 19 holes of 3 mm each. Independent variables included kaolin carbon ratios (6:1, 5:1, 4:1, 3:2, 1:1) % of total mixture weight, engine rotation (1000, 2000, and 3000) rpm, and sintering temperatures (800°C, 900°C). The CO absorber is a component of the exhaust system designed to reduce carbon monoxide content in exhaust gases from internal combustion engines. CO absorbers typically consist of noble metal catalyst plates (such as platinum, palladium, and rhodium) embedded on ceramic or metal substrates. When exhaust gases pass through the CO absorber, catalytic reactions occur on the catalyst surface, converting carbon monoxide into carbon dioxide (CO₂), which is safer for the environment. The study results showed that membranes with a composition of 65.8 g kaolin and 35 g activated carbon absorbed 84.64% of CO exhaust gases, achieving a final CO concentration of 0.80% at 1000 rpm. At 2000 and 3000 rpm, membranes with a composition of 72.8 g kaolin and 28 g activated carbon absorbed 90.45% and 92.31% of CO exhaust gases, with final CO concentrations of 0.57% and 0.54%, respectively. These results comply with the Ministerial Regulation No. 05 of 2006, which sets the CO emission threshold at 1.5% for the year 2007.

Keywords: adsorbent, CO emission, membrane, kaolin,

PENDAHULUAN

Konsentrasi emisi karbon monoksida (CO) di udara dipengaruhi oleh aktivitas kendaraan bermotor, dengan peningkatan lalu lintas yang menyebabkan emisi lebih tinggi. Gas buang kendaraan bermotor merupakan kontributor utama pencemaran udara yang berdampak buruk pada kesehatan dan lingkungan. Polutan utama yang dihasilkan termasuk karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), dan timbal (Pb)[1]. CO, NO_x, CO₂, dan HC diketahui dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti penyakit menular, gangguan sistem kekebalan tubuh,

penyakit mata, serta kanker kulit. Paparan timbal juga dikaitkan dengan hipertensi, anemia, penurunan fungsi kognitif, dan gangguan hematopoiesis [2].

Emisi gas buang adalah hasil sisa pembakaran bahan bakar dalam mesin yang mencakup air (H₂O), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan hidrokarbon (HC) akibat proses pembakaran yang tidak sempurna [3]. Oleh karena itu, pengendalian emisi gas buang kendaraan bermotor perlu diupayakan melalui penggunaan bahan alami yang mudah didapat. Kaolin, material yang melimpah di Aceh, diusulkan sebagai salah satu bahan penyusun filter gas buang yang lebih terjangkau [4].

Kaolin atau kaolinit, dengan rumus kimia $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, merupakan jenis lempung primer yang dapat digunakan sebagai media filtrasi. Meskipun penggunaan lempung sebagai matriks dalam filter kurang efektif dalam menurunkan gas emisi, kombinasi alumina dan titanium oksida (TiO_2) serta karbon aktif dapat bertindak sebagai katalis yang mempercepat penyerapan gas [5].

Penelitian skala laboratorium tentang penurunan kadar timbal pada gas emisi kendaraan telah menggunakan berbagai material seperti karbon aktif, zeolit, dan TiO_2 sebagai adsorben. Penggunaan karbon aktif, seperti yang dilaporkan Murhadi dkk., menunjukkan efektivitas 100% dalam menurunkan kadar timbal menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) dengan LOD 0,001 mg/m³ [6].

Penelitian Hasibuan R.A. terkait modifikasi zeolit dengan TiO_2 menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimal dengan penambahan 20% TiO_2 , yang mampu mengurangi kadar NiO_2 sebesar 45-49%. TiO_2 dan zeolit efektif sebagai adsorben gas emisi kendaraan [7].

Seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia, emisi gas buang terus bertambah, sehingga diperlukan solusi efektif untuk mengurangi pencemaran udara [8]. Salah satu pendekatan yang dieksplorasi adalah penggunaan kaolin sebagai membran penyerap emisi karbon monoksida (CO) dari kendaraan bermotor. Penelitian ini berfokus pada pengembangan membran yang dimodifikasi dengan karbon aktif untuk menentukan komposisi yang paling efektif dalam menyerap emisi kendaraan bermotor [9].

METODE

Penelitian ini menggunakan berbagai peralatan pendukung, seperti timbangan analitik, jangka sorong, mesin press, furnace, cetakan, ayakan 100 mesh, mixer, knalpot uji, *gas analyzer*, *X-ray Diffraction*

(XRD), serta *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)*. Bahan utama yang digunakan meliputi kaolin, karbon aktif, titanium dioksida (TiO_2), *polyvinyl alcohol (PVA)*, kanji, dan aquades. Material berbentuk silinder dengan panjang 70 mm, diameter 50 mm, dan 19 lubang berdiameter 3 mm. PVA dan TiO_2 masing-masing digunakan sebanyak 10% dari total campuran, sementara kanji sebagai perekat digunakan sebesar 8%, dengan tambahan 130 mL aquades.

Ukuran partikel mencapai 100 mesh, dengan waktu kontak adsorben terhadap gas emisi selama 1 menit. Komposisi kaolin dan karbon aktif dalam campuran bervariasi dari 58,8% hingga 86,8%. Mesin beroperasi pada kecepatan 1000, 2000, dan 3000 rpm, dengan suhu sintering 800°C dan 900°C. Pengukuran emisi gas buang dilakukan sebelum dan sesudah proses adsorpsi menggunakan *gas analyzer*. Untuk karakterisasi membran, digunakan uji FT-IR dan XRD

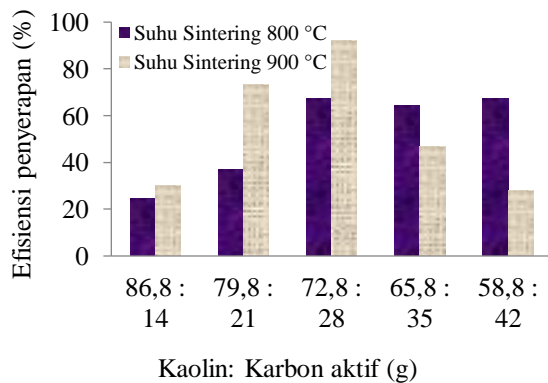
HASIL DAN PEMBAHASAN

Membran dibuat menggunakan kaolin yang telah dihaluskan. Material yang digunakan berukuran 100 mesh, dengan variasi massa kaolin sebesar 86,8; 79,8; 72,8; 65,8; dan 58,8 gram. Karbon aktif ditambahkan untuk meningkatkan luas permukaan kontak dan pembentukan pori, dengan variasi massa 14; 21; 28; 35; dan 42 gram. *Polyvinyl Alcohol (PVA)* sebanyak 14 gram berfungsi sebagai agen pembuih, sementara titanium dioksida (TiO_2) digunakan sebagai katalis dengan massa 14 gram. Kanji sebesar 11,2 gram digunakan sebagai perekat, dan campuran tersebut ditambahkan dengan 130 mL air. Pengujian dilakukan menggunakan mobil pribadi tipe CRV tahun 2007

Pengaruh Suhu Sintering terhadap Efisiensi Penyerapan Gas CO pada Kendaraan Bermotor.

Sintering adalah proses pemadatan serbuk pada suhu tinggi mendekati titik leburnya, yang mengakibatkan perubahan struktur mikro, seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir, peningkatan densitas, serta penyusutan volume. Fungsi utama sintering adalah membentuk ikatan yang kuat antar partikel melalui mekanisme fisik dan kimia [10]. Setelah proses pembakaran, partikel-partikel tersebut akan menyatu dan terikat secara kuat, baik secara kimia maupun fisika. Namun, tanpa sintering, partikel membran tidak akan terikat dengan baik, sehingga mudah terlepas. Proses sintering pada suhu tertentu, yang bergantung pada jenis material, diperlukan untuk memastikan ikatan yang kuat. Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme sintering meliputi jenis bahan, komposisi, bahan pengotor, dan ukuran partikel

Efisiensi penyerapan CO pada berbagai suhu sintering diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Efisiensi penyerapan CO terhadap suhu sintering

Gambar 1 menunjukkan bahwa kaolin memiliki kemampuan adsorpsi yang sangat baik terhadap emisi gas CO. Hal ini dikarenakan dominasi kandungan SiO₂ dalam kaolin sekitar 70%, yang berbentuk amorf, berpori, serta memiliki sifat inert dan luas permukaan yang besar, sehingga meningkatkan daya adsorpsi. Semakin tinggi rasio Si terhadap Al, adsorben menjadi lebih hidrofobik, yang berarti pori-porinya cenderung tidak menyerap air,

meningkatkan efektivitasnya dalam menyerap senyawa karbon. Rasio Si atau Al yang tinggi juga meningkatkan jumlah pusat aktif dengan keasaman tinggi, yang memperkuat kemampuan adsorpsi.

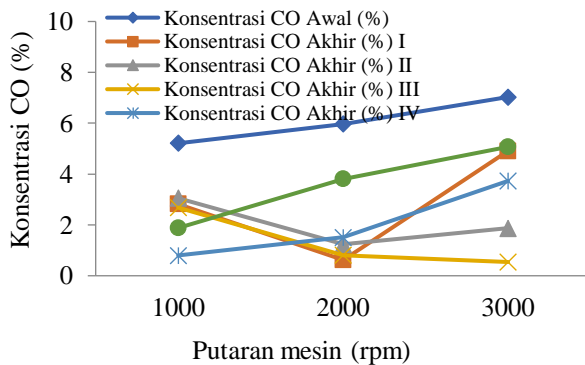
Kaolin disintering pada suhu 800°C dan 900°C. Pada awal proses sintering, peningkatan suhu mempercepat pertumbuhan butir dan menyebabkan penyusutan akibat penghalusan permukaan pori. Penyusutan yang tidak merata dapat menyebabkan retakan pada sampel. Pada tahap lanjutan, butiran kecil bergabung dengan butiran besar, menghasilkan padatan yang lebih solid dan mengurangi porositas. Proses ini juga menciptakan porositas yang saling terhubung, yang penting untuk kemampuan adsorpsi [11].

Tujuan sintering pada suhu 800°C dan 900°C adalah menguapkan kandungan air dalam kaolin sehingga memperbesar pori-pori untuk menyerap CO. Sintering juga menyebabkan perubahan struktur padatan yang mempengaruhi sifat kimia dan fisika kaolin. Kaolin memiliki struktur rangka yang mengandung ruang kosong yang dapat ditempati kation dan molekul air bebas, memungkinkan pertukaran ion dan penyerapan senyawa kimia (13). Saat kandungan air menguap selama aktivasi fisik, ruang kosong tersebut memberikan lebih banyak kapasitas bagi kaolin untuk menyerap gas emisi CO.

Pengaruh Putaran Mesin (Rpm) terhadap Konsentrasi CO pada Kendaraan Bermotor.

Pengujian membran dengan menggunakan gas analyser bertujuan untuk mengetahui penurunan gas buang CO setelah menggunakan membran. Hasil analisa gas CO akibat putaran mesin dapat dilihat pada Gambar 2. Karbon monoksida (CO) terbentuk akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna, umumnya disebabkan oleh campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya (kekurangan udara). Konsentrasi CO dalam gas buang

dipengaruhi oleh rasio bahan bakar dan udara yang terbakar dalam ruang bakar. Pada Gambar 2 terlihat bahwa pada putaran mesin 1000 rpm, konsentrasi CO yang dihasilkan relatif tinggi. Hal ini terjadi karena suhu ruang bakar pada putaran ini tidak cukup tinggi untuk menguapkan bensin secara optimal, sehingga pembakaran menjadi tidak stabil dan tidak sempurna, meningkatkan konsentrasi CO dalam gas buang.



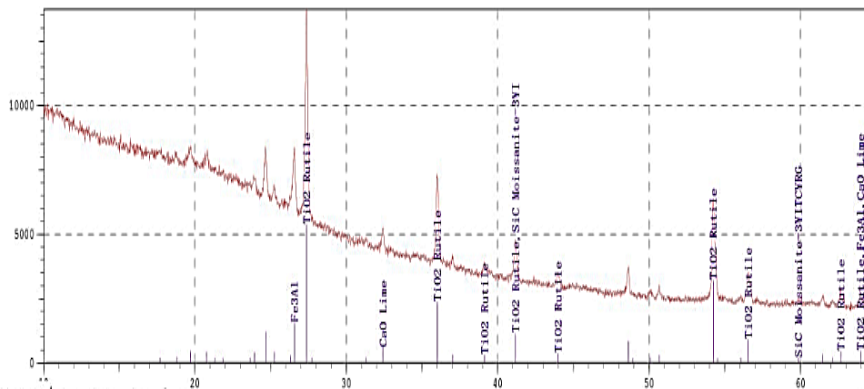
Gambar 2. Pengaruh putaran mesin terhadap konsentrasi CO

Sebaliknya, pada putaran mesin 2000 rpm, konsentrasi CO cenderung lebih rendah. Ini disebabkan oleh campuran bahan bakar dan udara yang lebih miskin, yang meningkatkan suhu ruang bakar dan mengurangi emisi CO. Namun, pada putaran mesin 3000 rpm, konsentrasi CO kembali meningkat. Kondisi ini terjadi karena putaran mesin yang tinggi menghasilkan tenaga besar, namun menyebabkan campuran bahan bakar yang lebih kaya, sehingga suplai oksigen berkurang dan emisi CO meningkat.

Peningkatan emisi CO juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti karburator yang tidak berfungsi dengan baik, filter udara yang kotor, atau kerusakan pada sistem karburator, yang mengakibatkan pembakaran tidak sempurna.

Hasil Pengujian X-Ray Diffraction

Hasil pengujian XRD diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian XRD

Semakin besar rasio Si/Al dalam suatu adsorben, maka sifat hidrofobiknya meningkat, yang berarti pori-pori adsorben cenderung tidak menyerap air (bersifat kering), sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap senyawa karbon. Selain itu, rasio Al/Si yang tinggi berkontribusi pada peningkatan jumlah pusat aktif dengan keasaman tinggi, yang mendukung proses adsorpsi. Oleh karena itu, keberadaan SiO₂ dalam adsorben

memungkinkan pengikatan karbon monoksida (CO), yang dapat ditandai dengan terbentuknya senyawa baru seperti silikon karbida (SiC).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa oksigen teradsorpsi pada permukaan katalis, sementara karbon monoksida berinteraksi dengan oksigen yang teradsorpsi selama kontak, membentuk CO₂ sebagai hasil reaksi. Hal ini menegaskan bahwa katalis TiO₂ dapat mempercepat

reaksi penyerapan CO dengan hanya mengadsorpsi oksigen pada permukaan katalis, sedangkan karbon monoksida bereaksi dengan oksigen tersebut untuk menghasilkan CO₂, sehingga terjadi penurunan signifikan pada emisi CO.

Salah satu komponen dalam kaolin yang berperan dalam penyerapan CO adalah Fe₂O₃. Sebagai bagian dari kelompok logam transisi, Fe₂O₃ memiliki kecenderungan untuk menunjukkan berbagai keadaan oksidasi. Besi (Fe) dalam kaolin dapat direduksi oleh karbon monoksida, menghasilkan Fe₃O₄ dan CO₂. Dengan demikian, Fe₂O₃ berkontribusi pada penurunan emisi gas CO melalui mekanisme reaksi reduksi-oksidasi yang terjadi

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi berat kaolin dan karbon aktif berpengaruh terhadap penyerapan gas buang CO. Variasi berat kaolin sebesar 72,8 gram dan karbon aktif sebesar 28 gram mampu menyerap 91,89% gas buang CO.
2. Putaran mesin mempengaruhi konsentrasi gas buang CO yang dikeluarkan. Pada putaran mesin 2000 rpm, konsentrasi CO yang dikeluarkan cenderung rendah, yaitu 0,54%, dibandingkan dengan putaran mesin 1000 rpm sebesar 0,80% dan 3000 rpm sebesar 0,57%.
3. Suhu sintering berpengaruh terhadap penyerapan gas buang CO. Semakin tinggi suhu sintering, semakin banyak CO yang terserap. Pada suhu sintering 900°C, penyerapan gas CO mencapai 90,98%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Irfan, S. and Purnomo, H., 2018. *Studi komparasi emisi gas buang mesin diesel menggunakan bahan bakar solar dan minyak kelapa (virgin coconut oil)*. Jurnal 7 Samudra, Vol. 3, No. 1, pp. 18-25.
- [2]. Soelistyoningsih, D., 2017. *Pengaruh paparan kronis timbal (Pb) terhadap tekanan darah petugas parkir di pasar besar Kota Malang*. Jurnal Ilmiah Kesehatan Media Husada, Vol. 6, No. 2, pp. 295-301.
- [3]. Mara, I. et al., 2019. *Analisis emisi gas buang kendaraan berbahan bakar etanol*. Dinamika Teknik Mesin, Vol. 9, No. 1, pp. 45-57.
- [4]. Prasetyo, A. and Ghofur, A., 2020. *Pengaruh penggunaan catalytic converter berbahan kaolin aditif tembaga (Cu) terhadap performa dan emisi gas buang pada kendaraan bermotor Satria F 150*. JTAM ROTARY, Vol. 2, No. 1, pp. 93-108.
- [5]. Amin, M. and Subri, M., 2016. *Uji performa filter gas emisi kendaraan bermotor berbasis keramik porous dengan aditif tembaga, TiO₂ dan karbon aktif dalam penurunan kadar gas carbon monoksida*. Mekanika, Vol. 15, No. 2
- [6]. Murhadi., Suyitno., Vistha, F, M., Khasanah, F., Murtinah, S., 2013. *Absorpsi timbal (Pb) dalam gas buang kendaraan bermotor bensin dengan karbon aktif. program studi teknik otomotif*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta. Jurnal Teknik Lingkungan.
- [7]. Hasibuan, R, A., 2019. *Modifikasi zeolit alam dengan TiO₂ untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor*. Skripsi. Program Studi Teknik Kimia. Universitas Indonesia. Depok.
- [8]. Rahmadania, N., 2022. *Pemanasan global penyebab efek rumah kaca dan penanggulangannya*. Jurnal Ilmu Teknik, 2(3).
- [9]. Redha, F., Junaidy, R. and 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), pp.37-47*
- [10]. Kumar, N.; Soren, S.; Prasad, R.; Singh, Y.; Nautiyal, H.; Sharma, A.; Tian, SS; Lim, WH., 2023. *Optimalisasi parameter proses sintering dengan metode taguchi untuk pengembangan komposit serbuk bertulang Al-CNT. Kristal 13, 1352.*
- [11]. Mustapa, NB; Ahmad, R.; Ibrahim, WMW; Abdullah, MMAB; Wattanasakulpong, N.; Nemeş, O.; Sandu, AV; Vizureanu, P.; Sandu, IG; Kartikowati, CW., 2023. *Pengaruh mekanisme sintering terhadap kristalisasi keramik geopolimer—sebuah tinjauan. Materi, 16, 4103*
- [12]. Sari, T.I.W., Muhsin, M. and Wijayanti, H., 2016. *Pengaruh metode aktivasi pada kemampuan kaolin sebagai adsorben besi (Fe) air sumur garuda. Konversi, 5(2), pp.20-25*