

Desain Katalisator Karbon Monoksida Pada Knalpot Kendaraan Bermotor Tipe Plug and Play dengan LCD Display

Handi Wilujeng Nugroho^{1)*}, Kurniawan Hamidi²⁾ Deri Kurniadi³⁾.

^{1,2} Universitas Universal, Kompleks Maha Vihara Duta Maitreya Bukit Beruntung, Sei. Panas Batam, Indonesia.

³ Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Jln. Prof. Dr. Hamka No. 121, Parupuk Tabing, Padang, Indonesia.

handynugroho41@gmail.com*; khmd93@gmail.com; deri.kurniadi@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan zaman yang cepat menuntut efisiensi dalam segala aktivitas, termasuk dalam penggunaan kendaraan bermotor. Tingginya kepadatan penduduk telah meningkatkan penggunaan kendaraan, yang pada gilirannya meningkatkan emisi karbon monoksida (CO) dan mengancam kualitas udara. Gas CO yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor merupakan pencemar udara berbahaya, dengan dampak langsung dan tidak langsung pada kesehatan manusia serta kualitas udara. Emisi CO, terutama dari kendaraan bermotor, telah menjadi penyebab utama penurunan kualitas udara di berbagai daerah. Standar emisi gas CO pada knalpot adalah 249.24 ppm. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk mengurangi dampak emisi gas kendaraan bermotor pada lingkungan. Salah satu solusi adalah penggunaan tembaga sebagai katalisator, yang dapat mengurangi kadar CO dalam gas buang kendaraan. Metode ini melibatkan penambahan lapisan sekat tembaga di dalam knalpot, serta plat tembaga di ujung masukan gas kendaraan ke knalpot. Saat gas kendaraan melewati knalpot, reaksi katalisis tembaga mengurangi kadar CO dalam gas buang. Penggunaan teknologi ini diharapkan dapat mengubah emisi menjadi gas yang lebih ramah lingkungan, mengendalikan polusi udara yang berasal dari kendaraan, dan meningkatkan kualitas udara. Dengan demikian, penggunaan katalisator tembaga di dalam knalpot menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi emisi CO dari kendaraan bermotor, memenuhi standar emisi, dan mendukung upaya menjaga lingkungan dan kesehatan manusia.

Kata kunci: Karbon Monoksida (CO), Transportasi, Emisi, Katalisator, Desain.

ABSTRACT

Rapid developments demand efficiency in all activities, including the use of motorized vehicles. High population density has increased vehicle use, which in turn increases carbon monoxide (CO) emissions and threatens air quality. CO gas produced by motorized vehicles is a dangerous air pollutant, with direct and indirect impacts on human health and air quality. CO emissions, especially from motorized vehicles, have become the main cause of decreasing air quality in various regions. The CO gas emission standard in the exhaust is 249.24 ppm. Therefore, a solution is needed to reduce the impact of motor vehicle gas emissions on the environment. One solution is the use of copper as a catalyst, which can reduce CO levels in vehicle exhaust gas. This method involves adding a layer of copper insulation inside the exhaust, as well as a copper plate at the end of the vehicle's gas intake to the exhaust. When vehicle gas passes through the exhaust, the copper catalysis reaction reduces CO levels in the exhaust gas. It is hoped that the use of this technology can convert emissions into more environmentally friendly gases, control air pollution originating from vehicles, and improve air quality. Thus, the use of a copper catalyst in the exhaust is an effective solution for reducing CO emissions from motorized vehicles, meeting emission standards, and supporting efforts to protect the environment and human health.

Keywords: Carbon Monoxide (CO), Transportation, Emissions, Catalysts, Design.

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan di Indonesia, terutama sepeda motor, mengalami lonjakan pesat seiring dengan kebutuhan masyarakat akan transportasi yang cepat, terjangkau, dan efisien. Sepeda motor menjadi pilihan utama bagi banyak orang di wilayah perkotaan maupun pedesaan karena mampu menjangkau berbagai jenis medan, irit bahan bakar, dan mudah digunakan di jalanan yang padat (Acuviarta & Permana, 2023). Pada wilayah perkotaan, sepeda motor menjadi solusi bagi masyarakat untuk menghindari kemacetan yang semakin parah, sedangkan di pedesaan, sepeda motor mendukung mobilitas untuk mengakses fasilitas publik dan ekonomi yang tersebar (Cania Winni & Mataram, 2024). Namun, peningkatan jumlah kendaraan ini juga membawa tantangan, seperti kemacetan, peningkatan emisi gas buang, dan masalah lingkungan lainnya yang perlu segera diatasi untuk menciptakan transportasi yang lebih berkelanjutan di Indonesia. Jumlah sepeda motor terus mengalami pertumbuhan yang signifikan setiap tahunnya dibandingkan dengan jenis kendaraan lainnya (Zayyan & Wahyuningtyas, 2024). Korlantas Polri telah mencatat bahwa hingga tanggal 28 Agustus 2024, jumlah kendaraan bermotor yang aktif di Indonesia mencapai 164.136.793 unit. Dari jumlah tersebut, terdapat 147.153.603 kendaraan pribadi, terdiri dari 137.350.299 sepeda motor (87 persen) dan 20.122.177 mobil pribadi. Sisanya adalah kendaraan untuk angkutan barang dan orang, termasuk 6.197.110 juta unit mobil besar, 213.788 bus, dan 85.113 unit kendaraan khusus (Korlantas POLRI, 2024). Sepeda motor selalu mendominasi dalam hal jumlah kendaraan bermotor, melebihi mobil penumpang, mobil bus, dan mobil barang setiap tahunnya.

Tingginya kepadatan penduduk mengakibatkan tingginya permintaan dan penggunaan kendaraan bermotor dalam transportasi melakukan aktivitasnya, aktivitas penggunaan kendaraan bermotor akan memicu pencemaran udara yaitu karbon monoksida (CO) (Novita, 2022). Salah satu gas berbahaya yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor adalah gas karbon monoksida (CO) (Yuniati & Dwi Prasetyo, 2020). Udara adalah elemen vital bagi semua makhluk hidup, terutama manusia, yang memerlukan kualitas udara bersih untuk mendukung kesehatan dan kualitas hidup yang baik (Maula, 2024). Udara yang bersih memberikan dampak positif, seperti meningkatkan daya tahan tubuh, menjaga fungsi organ pernapasan, dan mendukung kesejahteraan secara keseluruhan (Anandari et al., 2024). Namun, kualitas udara mulai tercemar dari aktivitas manusia, seperti emisi kendaraan bermotor, industri, dan pembakaran bahan bakar fosil. Gas-gas pencemar seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), dan partikel padat lainnya dapat berdampak buruk terhadap kesehatan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung (Sitanggang et al., 2024). Dampak langsungnya meliputi gangguan pernapasan, iritasi mata, dan penurunan fungsi paru-paru, terutama pada individu yang sensitif seperti anak-anak dan lansia (Arsyad & Priyana, 2023). Sementara itu, dampak tidak langsung bisa berupa penurunan kualitas hidup jangka panjang dan peningkatan risiko penyakit kronis, seperti asma, penyakit jantung, dan gangguan pernapasan lainnya (Rambing et al., 2022).

Menjaga kebersihan udara adalah langkah penting untuk memastikan keberlangsungan hidup yang sehat dan kualitas lingkungan yang mendukung kesejahteraan bagi generasi sekarang dan yang akan datang. (Candrasari et al., 2023). Sumber pencemar dari polutan CO ini kebanyakan diakibatkan oleh emisi dari kendaraan bermotor dan gas-gas beracun dari knalpot, setiap harinya menimbulkan masalah karena berdampak pada penurunan kualitas udara (Fairuz Rofifah Arifin & Nazwa Aulia Rahman, 2024). Hal itu secara signifikan akan semakin berpengaruh buruk pada kualitas udara yang ada di bumi, sehingga diperlukan solusi yang dapat mengurangi dampak emisi pembuangan gas kendaraan bermotor ke lingkungan. Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai standar emisi gas CO pada knalpot adalah 249.24 ppm (Prasetyo & Yuniati, 2021). Gas karbon monoksida mempunyai ciri yang tidak berbau, tidak terasa, tidak berwarna, serta merupakan akibat dari

suatu pembakaran yang tidak sempurna (Septryanti et al., 2023). Permasalahan mengenai emisi kendaraan bermotor menjadi hal yang perlu diperhatikan untuk mengurangi dampaknya terhadap kualitas udara (Rahmasari et al., 2023). Salah satu teknologi rekayasa yang dapat menurunkan kadar karbon monoksida (CO) adalah dengan menggunakan tembaga sebagai katalisator (Setyo Nugroho et al., 2022).

Metode penggunaan katalisator berbahan dasar tembaga menjadi solusi potensial untuk mengurangi emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan oleh knalpot kendaraan. Material tembaga bekerja secara efektif sebagai katalis untuk mengoksidasi karbon monoksida menjadi karbon dioksida (CO_2), gas yang lebih ramah lingkungan dan lebih mudah diserap oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis (Pujiriansyah & Hadi, 2024). Emisi gas berbahaya dari kendaraan dapat diubah menjadi senyawa yang kurang berbahaya, membantu menurunkan tingkat polusi udara (Dey & Mehta, 2020). Metode ini menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan memperbaiki kualitas udara, terutama di wilayah perkotaan yang padat kendaraan (Sunaryanto & Situmorang, 2020). Alat ini dirancang dengan merangkai beberapa lapisan sekat tembaga di ruang bagian dalam knalpot dengan penambahan sebuah plat tembaga di bagian ujung masuknya gas kendaraan di knalpot. Ketika gas kendaraan bermotor akan keluar melewati knalpot, maka gas tersebut akan langsung terkatalisasi oleh tembaga dan keluar dengan kadar karbon monoksida yang sudah lebih menurun dari sebelumnya (Rina Ayu Astuti et al., 2018). Dengan modifikasi tembaga pada ruang dalam knalpot sebagai katalisator, maka diharapkan akan berpengaruh pada penurunan emisi gas buang sehingga kualitas udara yang dihasilkan menjadi semakin baik serta berdampak positif bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Penggunaan desain alat pengurang kadar emisi kendaraan bermotor ini menggunakan metode katalisator tembaga yang akan menurunkan kadar emisi kendaraan (Akbar Ramadhan Firman Al Abrari & Listiyono Listiyono, 2024). Sehingga kadar karbon monoksida pada kendaraan bermotor, akan berada di bawah nilai ambang batas emisi CO yang ditentukan oleh pemerintah dan aman untuk lingkungan (Permen LHK No.8 Tahun 2023, 2023). Hasil interpretasi dari katalisator, akan ditampilkan secara langsung ke LCD *display* untuk memantau tingkatan kadar CO yang keluar. *Display* yang dirancang menggunakan mikrokontroler model *Raspberry Pi*, yang bertujuan untuk memudahkan pembacaan kadar pada tingkatan baku mutu (Wright et al., 2022).

Tingginya kepadatan penduduk di suatu wilayah mengakibatkan peningkatan penggunaan kendaraan bermotor dalam aktivitas transportasi. Hal ini menyebabkan peningkatan emisi gas karbon monoksida (CO) ke udara. Emisi yang tidak terkontrol tersebut dapat mengurangi kelayakan udara, pencemaran lingkungan dan Kesehatan manusia, sebagaimana dalam penelitian Prasetyo & Yuniati menyebutkan bahwa kadar aman CO adalah sebesar 249.24 ppm (Prasetyo & Yuniati, 2021). Berdasarkan hal itu perlu adanya alat untuk mereduksi kadar CO tersebut dan untuk mengontrolnya diperlukan deteksi secara langsung pada alat tersebut agar memudahkan pengguna untuk berkontribusi dalam pencegahan pencemaran lingkungan. Penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan desain dari katalisator dengan model *plug and play* tanpa ada pemasangan khusus pada sistem *tail pipe* knalpot, dengan tampilan kadar yang tertera pada display alat secara langsung. Dengan adanya tampilan dan pemasangan yang mudah, maka setiap pengguna dapat memantau emisi gas CO yang keluar dari kendaraannya setiap saat ketika dibutuhkan.

METODE

Metode penelitian dilakukan dengan tahapan-tahapan sistematis yang disusun dan ditetapkan sebelum melakukan pemecahan masalah. Tahapan penelitian awal dilakukan perancangan desain dan bahan dari katalisator yang dilakukan dengan pengumpulan studi pustaka mengenai bahan dan komposisi dari katalisator, serta dilakukan pencocokan ukuran

dan dimensi desain dengan kondisi nyata ukuran knalpot kendaraan bermotor roda 4 bertipe diesel, lalu dilanjutkan dengan penggambaran desain dari rancangan katalisator. Setelah bahan katalisator ditentukan dan penggambaran rancangan desain 2D dilakukan, maka akan masuk ke tahapan pembuatan coding menggunakan *Python* untuk pendekripsi kadar dari senyawa karbon monoksida dari hasil buangan knalpot. Tahapan selanjutnya adalah pengujian dari *coding* yang disusun menggunakan simulasi dari *software Protheus* untuk membuktikan apakah *coding* berjalan sesuai yang diinginkan. Setelah *coding* berjalan sempurna maka dilakukan perancangan alternatif *prototype* dengan cara mensimulasikan hasil desain eksperimen dari katalisator dan rangkaian *coding*. Metode analisis menggunakan analisis kesesuaian desain 2D dan *coding* untuk melihat bagaimana kadar dari CO sebelum menggunakan katalisator, yang di dapatkan dari studi literatur dan sesudah di pasangkan alat dengan menggunakan *software* simulasi dan pemodelan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

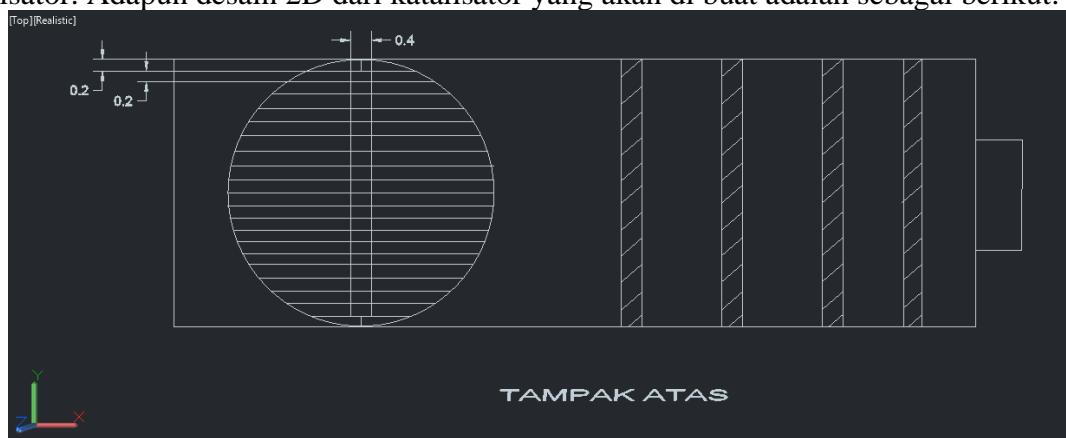
Hasil Penelitian

Fokus utama pada rancangan katalisator yang efektif memberikan wawasan mendalam terhadap upaya mengurangi emisi karbon monoksida yang umumnya berasal dari kendaraan bermotor. Desain ini berdasarkan kemungkinan dari penggunaan bahan atau katalis yang optimal, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dalam proses konversi karbon monoksida menjadi senyawa yang lebih bersahabat dengan lingkungan (Irawan et al., 2023). Rancangan katalisator yang lebih efisien dengan penambahan lempengan tembaga, diharapkan emisi karbon monoksida dapat ditekan secara signifikan, yang pada akhirnya berkontribusi pada pengurangan polusi udara di perkotaan.

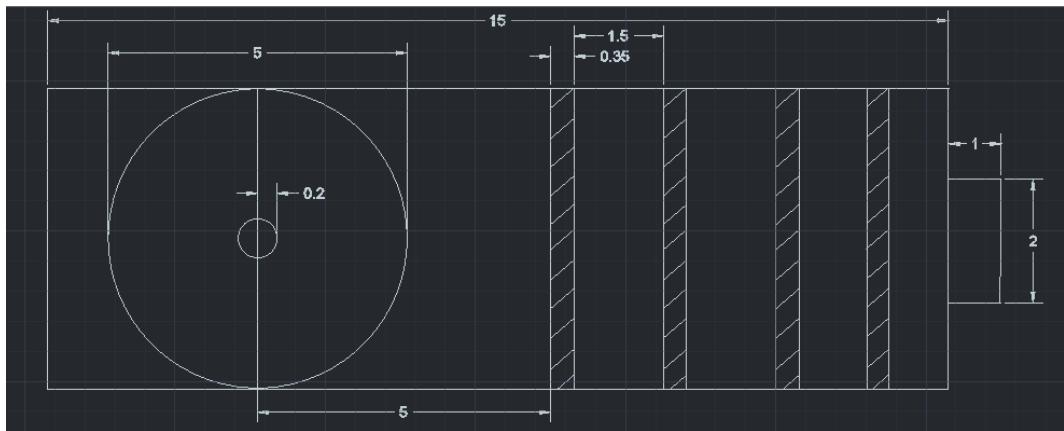
Lebih dari sekadar efisiensi dalam mengurangi emisi, penggunaan bahan atau katalis yang optimal juga menunjukkan pendekatan holistik terhadap desain katalisator. Pendekatan ini tidak hanya memperhitungkan efektivitas dalam menurunkan kadar karbon monoksida, tetapi juga mempertimbangkan dampaknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan secara menyeluruh. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peluang besar dalam menciptakan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan, dengan katalisator yang ramah lingkungan, sekaligus menjawab tantangan utama dalam industri otomotif untuk menuju masa depan yang lebih bersih dan sehat bagi semua.

Desain 2D Katalisator

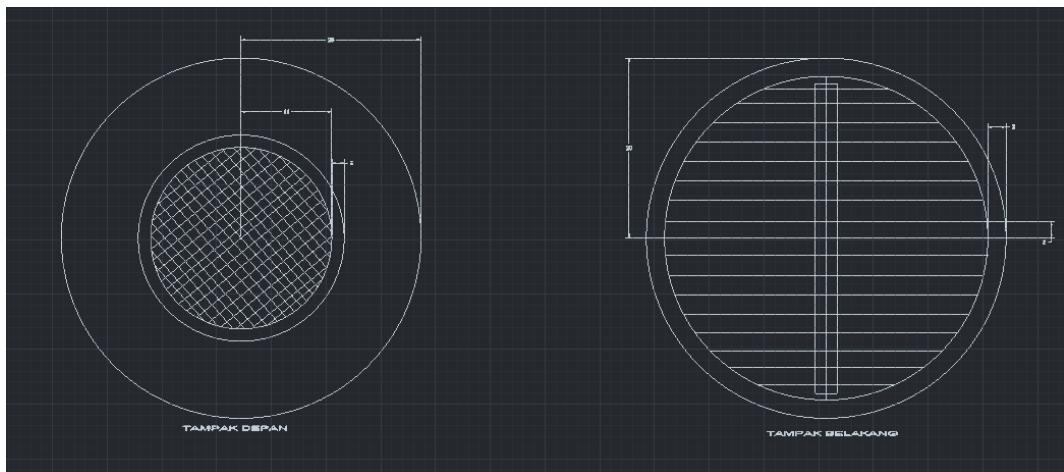
Dalam perancangan atau desain yang digunakan, peneliti terlebih dahulu membuat desain dalam bentuk 2 dimensi untuk memudahkan penyusunan dalam part yang akan di satukan di katalisator. Adapun desain 2D dari katalisator yang akan di buat adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Tampak 2D Atas Desain Katalisator



Gambar 2 Tampak 2D Kiri dan Kanan Desain Katalisator



Gambar 3 Tampak 2D Depan dan Belakang Desain Katalisator

Coding Pembacaan Karbon Monoksida

Sebelum melakukan pembacaan karbon monoksida (CO) melalui pemrograman komputer, langkah pertama adalah memastikan bahwa sensor karbon monoksida yang ada dapat terhubung dengan perangkat komputer, seperti mikrokontroler atau perangkat lain yang mendukung komunikasi data (Ruwahida et al., 2023). Sensor ini akan mengukur kadar karbon monoksida yang nantinya akan dikeluarkan oleh knalpot kendaraan bermotor dan mengirimkan informasi tersebut ke *layer displayer*. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam menjalankan perintah untuk pembacaan mikrokontroler adalah *python*, Bahasa pemrograman ini bertujuan untuk mengakses dan membaca data yang dikirimkan oleh sensor tersebut. Dalam skenario penggunaan ini, peneliti menggunakan *Raspberry Pi* sebagai perangkat komputasi dan sensor MQ-7 sebagai representasi. Dalam kode *Python* yang disediakan, akan digunakan tipe *library RPi.GPIO* untuk mengontrol dan membaca data dari sensor MQ-7 yang terhubung ke pin *GPIO Raspberry Pi*. Berdasarkan hal tersebut, pengguna dapat secara terus-menerus memantau tingkat karbon monoksida yang dikeluarkan knalpot kendaraan bermotor dan mengambil tindakan yang sesuai jika terdeteksi tingkat yang berbahaya yakni diluar batas aman kadar CO tersebut. Berikut adalah *coding* pemrograman menggunakan bahasa *python* untuk pembacaan sensor tersebut.

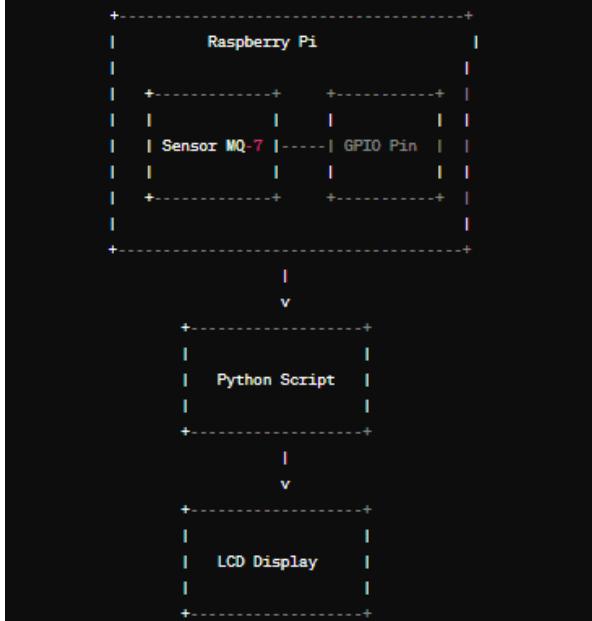
```

File Edit Format Run Options Window Help
import RPi.GPIO as GPIO
import time
channel = 4
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(channel, GPIO.IN)
def read_mq7(channel):
    reading = 0
    GPIO.setup(channel, GPIO.OUT)
    GPIO.output(channel, GPIO.LOW)
    time.sleep(0.1)
    GPIO.setup(channel, GPIO.IN)
    while (GPIO.input(channel) == GPIO.LOW):
        reading += 1
    return reading
try:
    while True:
        value = read_mq7(channel)
        print("Nilai sensor MQ-7: {}".format(value))
        time.sleep(1)
except KeyboardInterrupt:
    GPIO.cleanup()

```

Gambar 4 Pemrograman *python* untuk pembacaan sensor CO

Berikut adalah skematik diagram dari proses pembacaan karbon monoksida (CO) menggunakan sensor MQ-7 yang terhubung ke *Raspberry Pi*:



Gambar 5 Diagram Skematik

Sensor MQ-7 terhubung ke *Raspberry Pi* melalui pin GPIO, melakukan fasilitasi pengiriman data dari sensor ke perangkat komputasi. Di dalam *Raspberry Pi*, sebuah skrip *Python* dijalankan untuk mengambil dan membaca data yang diterima dari sensor MQ-7. Data yang telah dibaca kemudian diproses dan ditampilkan pada *LCD Display*. Proses ini memberikan kemampuan bagi pengguna atau sistem lainnya untuk secara terus-menerus memantau tingkat karbon monoksida yang dihasilkan oleh knalpot kendaraan bermotor. Dengan pemantauan ini, tindakan pencegahan dapat segera diambil jika terdeteksi adanya tingkat emisi yang membahayakan kesehatan atau lingkungan.

SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan katalisator yang efektif dalam mengurangi emisi karbon monoksida (CO) dari kendaraan bermotor, dengan fokus pada beberapa aspek utama. Meningkatkan kualitas udara dengan mengurangi emisi CO, dengan

upaya menciptakan sistem katalisator yang mudah dipasang (*Plug and Play*) agar pemilik kendaraan dapat mengadopsi teknologi ini tanpa perlu melakukan modifikasi besar pada knalpot kendaraan. Penelitian ini mencari cara terbaik untuk mengintegrasikan LCD *Display* ke dalam knalpot sebagai bagian dari sistem katalisator, dengan tujuan memberikan informasi *real-time* kepada pengemudi tentang kinerja katalisator dan parameter lain yang relevan. Serta meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan dengan memastikan bahwa katalisator tidak hanya mengurangi emisi, tetapi juga berkontribusi pada performa dan efisiensi keseluruhan kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acuviarta, A., & Permana, A. M. P. (2023). Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Permintaan Sepeda Motor di Kota-Kota Besar Jawa Barat. *Jurnal Riset Ilmu Ekonomi*, 2(3), 171–180. <https://doi.org/10.23969/jrie.v2i3.41>
- Akbar Ramadhan Firman Al Abrari, & Listiyono Listiyono. (2024). Analisa Pengaruh Katalis Terhadap Gas Buang Pada Kendaraan Roda 2. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(4), 01–13. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i4.375>
- Anandari, A. A., Farid Wadjdi, A., & Harsono, G. (2024). Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan dan Kesiapan Pertahanan Negara di Provinsi DKI Jakarta. *Journal on Education*, 06(02).
- Arsyad, K., & Priyana, Y. (2023). Studi Kausalitas antara Polusi Udara dan Kejadian Penyakit Saluran Pernapasan pada Penduduk Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 6.
- Candrasari, S., Eleane,);, Clarissa, C., Fadilla Kusumawardani,);, Cristabel, G., Pattymahu, H., Janice,);, Eugenia, F., Larissa,);, Cahyadi, B., Nasya,);, Syabanera, D., & Silvian, V. (2023). Pemulihian Dampak Pencemaran Udara Bagi Kesehatan Masyarakat Indonesia. In *Jurnal Professional* (Vol. 10, Issue 2).
- Cania Winni, Z., & Mataram, S. (2024). Perancangan Zine Penggunaan Transportasi Umum Guna Mengurangi Polusi Udara Bagi Dewasa di Jakarta. *Jurnal Desain Komunikasi Visual Dan Media Baru*, 6(2).
- Dey, S., & Mehta, N. S. (2020). Automobile pollution control using catalysis. *Resources, Environment and Sustainability*, 2, 100006. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resenv.2020.100006>
- Fairuz Rofifah Arifin, & Nazwa Aulia Rahman. (2024). Analisis Pengaruh Emisi Zat Karbon terhadap Kerusakan Kualitas Udara dan Pencemaran Lingkungan. *Journal Innovation In Education*, 2(1), 278–287. <https://doi.org/10.59841/inoved.v2i1.1043>
- Irawan, B., Pratiwi, N., & Diterima, N. (2023). *Mengurangi Karbon Monoksida dari Emisi Kendaraan untuk Melindungi Lingkungan dan Meningkatkan Efisiensi Energi Informasi Artikel Abstract*. 06(01), 29–36. <https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/JETM>
- Korlantas POLRI. (2024, August 28). *Jumlah Data Kendaraan Indonesia*. <Http://Rc.Korlantas.Polri.Go.Id :8900/Eri2017/Laprekappulau.Php>.
- Maula, G. M. (2024). Efektivitas Implementasi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara di Indonesia. *Savana: Indonesian Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 1(2).
- Novita, D. (2022). Analisis Permasalahan Transportasi Berkelanjutan di Kota Metropolitan Surabaya: Studi Kasus Perkotaan Padat Penduduk. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi Dan Logistik*, 8(1). <https://journal.itlrisakti.ac.id/index.php/jmtbl>
- Permen LHK No.8 Tahun 2023, Pub. L. No. Nomor 8 Tahun 2023, KLHK RI (2023).

- Prasetyo, A. D., & Yuniati, E. (2021). Perancangan Alat Penurun Emisi Gas Karbonmonoksida Menggunakan Material Tembaga Sebagai Katalisator Pada Motor Honda Beat. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(2), 372–385. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i2.5139>
- Pujiriansyah, I., & Hadi, S. (2024). Pengaruh Katalis Pelat Tembaga Untuk Mengurangi Emisi Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) Pada Kendaraan Roda Dua. *Journal of Creative Student Research*, 2(4), 146–153. <https://doi.org/10.55606/jcsrpolitama.v2i4.4031>
- Rahmasari, R. N., Jati, D. R., & Jumiati, J. (2023). Inventarisasi Emisi dari Sektor Transportasi Darat di Kota Pontianak. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 627–635. <https://doi.org/10.14710/jil.21.3.627-635>
- Rambing, V. V., Umboh, J. M. L., Warouw, F., Kesehatan, F., Universitas, M., Ratulangi, S., Abstrak, M., Kunci, K., Monoksida, K., Kesehatan, R., & Kesehatan, K. (2022). Literature Review: Gambaran Risiko Kesehatan pada Masyarakat akibat Paparan Gas Karbon Monoksida (CO). In *Jurnal KESMAS* (Vol. 11, Issue 4).
- Rina Ayu Astuti, A., Fathurrahman, I., Yani, S., Nurjannah, N., & Sabara, Z. (2018). Alat Penyaring Karbon Monoksida Pada Knalpot Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Adsorben Alami Ekstrak Daun Trembesi. *Journal of Chemical Process Engineering*, 03(01).
- Ruwahida, D. R. R., Rachman, I., Widodo, H. A., Adhitya, R. Y., & Irawan, Y. (2023). Sistem Komunikasi Mikrokontroler dan PLC Berbasis Komunikasi Serial Host Link dan Protokol C-Command RS232. *Infotekmesin*, 14(2), 354–361. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v14i2.1924>
- Septryanti, A., Sari, L. I., & Probonegoro, W. A. (2023). Pendekripsi Kadar Gas Karbon Monoksida Pada Ruangan Berbasis Arduino ATMega 328. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 12(1), 331–338.
- Setyo Nugroho, A., Yulianto Kristiawan, Y., Mesin, T., & Tinggi Teknologi Warga Surakarta, S. (2022). JREEC Journal Renewable Energy Electronics and Control Upaya Mengurangi Kadar Karbon Monoksida (CO) Gas Buang Kendaraan. *Jurnal Renewable Energy Electronics and Control*, 2(2), 35–40. <https://doi.org/10.31284/j.JREEC.2022.v2i1>
- Sitanggang, J., Sunarsih, E., Hasyim, H., Windusari, Y., Zulkarnain, M., & Novrikasari. (2024). Literature Review: Gambaran Risiko Paparan Karbon Monoksida Dan Nitrogen Dioksida Pada Masyarakat. *Jurnal Mitra Rafflesia*, 16(1).
- Sunaryanto, R., & Situmorang, C. (2020). Perbandingan Emisi Gas Buang Antara Motor Bahan Bakar Empat Tak Berbahan Bakar Premium, Pertalite, dan Pertamax. *Jurnal TechLINK*, 4(2).
- Wright, H. C., Cameron, D. D., & Ryan, A. J. (2022). FoamPi: An open-source raspberry Pi based apparatus for monitoring polyurethane foam reactions. *HardwareX*, 12. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/U3295>
- Yuniati, E., & Dwi Prasetyo, A. (2020). Perancangan Alat Penurun Emisi Gas Karbonmonoksida Menggunakan Material Tembaga Sebagai Katalisator Pada Motor Honda Beat. *Jurnal Simetris*, 11(2).
- Zayyan, M. F., & Wahyuningtyas, Y. F. (2024). Pengaruh Customer Experience Dan Customer Satisfaction Terhadap Repurchase Intention Pada SPBU Self Service Pertamina DIY. *Jurnal Ilman: Jurnal Ilmu Manajemen*, 12.