

**INOVASI DESAIN KATALIS DAN VARIASI UKURAN CELAH KATUP UNTUK
MENINGKATKAN KINERJA CRACKING HIDROGEN DALAM UPAYA
MENGURANGI EMISI GAS BUANG DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR**

**CATALYST DESIGN INNOVATION AND VALVE CLEARANCE VARIATION TO
IMPROVE HYDROGEN CRACKING PERFORMANCE IN AN EFFORT TO
REDUCE EXHAUST GAS EMISSIONS**

Ikhsan Wahyudi^{1,2)}, Hadi Pranoto²⁾

¹Politenik Hasnur, Barito Kuala, Indonesia

²Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

email: ikhsanwahyudi1215k@gmail.com*, hadipranoto@umb.com

Received:
22 Juli 2025

Accepted:
28 September
2025

Published:
28 September
2025

Abstract

This study addresses the issue of high exhaust emissions from internal combustion engines, focusing on the innovation of catalyst design to improve hydrogen cracking performance. The research aims to develop a catalyst that enhances the hydrogen cracking process to reduce harmful exhaust emissions such as CO, NOx, and HC. The approach involves testing a new catalyst material for its efficiency in cracking hydrogen at lower temperatures, while considering variables such as gas flow rate, fuel composition, and engine operational conditions. The study uses experimental methods to evaluate the catalyst's impact on exhaust emissions, fuel efficiency, and engine performance. Results show that the new catalyst significantly reduces exhaust gas emissions and improves both fuel efficiency and overall engine performance. This research provides valuable insights for the development of environmentally friendly technologies in combustion engine systems.

Keywords: Hydrogen Cracking, Catalyst Design, Exhaust Emissions

Abstrak

Penelitian ini mengkaji isu emisi gas buang yang tinggi pada mesin pembakaran dalam, dengan fokus pada inovasi desain katalis untuk meningkatkan kinerja cracking hidrogen. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan katalis yang dapat meningkatkan proses cracking hidrogen untuk mengurangi emisi gas berbahaya seperti CO, NOx, dan HC. Pendekatan yang digunakan adalah pengujian material katalis baru untuk efisiensinya dalam melakukan cracking hidrogen pada suhu knalpot, dengan mempertimbangkan variabel seperti laju aliran gas, komposisi bahan bakar, dan kondisi operasi mesin. Metoda eksperimen digunakan untuk mengevaluasi pengaruh katalis terhadap emisi gas buang, efisiensi bahan bakar, dan kinerja mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis baru ini dapat secara signifikan mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan efisiensi bahan bakar serta kinerja mesin secara keseluruhan. Penelitian ini memberikan wawasan berharga untuk pengembangan teknologi ramah lingkungan pada sistem pembakaran mesin.

Kata Kunci: Cracking Hidrogen, Desain Katalis, Emisi Gas Buang

DOI: 10.20527/jtam_rotary.v7i2.16214

How to cite: Wahyudi, I., & Pranoto, H., "Inovasi Desain Katalis Dan Variasi Ukuran Celah Katup Untuk Meningkatkan Kinerja Cracking Hidrogen Dalam Upaya Mengurangi Emisi Gas Buang Dan Konsumsi Bahan Bakar". *JTAM ROTARY*, 7(2), 205-218, 2025.

PENDAHULUAN

Peningkatan kualitas udara dan pengurangan dampak lingkungan menjadi isu yang sangat penting dalam pengembangan teknologi mesin pembakaran dalam, terutama di tengah tingginya emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NOx), dan hidrokarbon (HC) yang dihasilkan dari proses pembakaran pada mesin konvensional dapat menyebabkan polusi udara, kerusakan kesehatan manusia, serta dampak negatif lainnya terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi yang dapat mengurangi emisi gas buang menjadi sangat mendesak dan penting (Smith *et al.*, 2021).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan katalis dalam proses cracking hidrogen, yang dapat mengurangi emisi gas berbahaya tersebut. Proses cracking hidrogen merupakan teknik yang dapat memecah molekul hidrokarbon pada suhu rendah untuk menghasilkan produk yang lebih ramah lingkungan, seperti hidrogen, yang dapat digunakan untuk pembakaran yang lebih bersih. Dalam penelitian ini, bahan katalis yang digunakan adalah pipa tembaga dan kuningan, yang diketahui memiliki sifat termal dan kestabilan kimia yang baik dalam meningkatkan efisiensi proses cracking hidrogen. Namun, untuk mencapai kinerja cracking hidrogen yang optimal, diperlukan desain katalis yang inovatif yang mampu berfungsi secara efektif dalam kondisi operasional mesin yang beragam (Johnson & Brown, 2020).

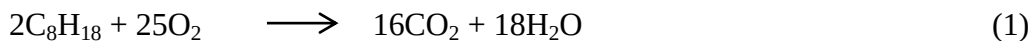
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain katalis baru yang dapat meningkatkan kinerja cracking hidrogen pada mesin pembakaran dalam, dengan fokus pada pengurangan emisi gas buang dan peningkatan efisiensi bahan bakar. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menguji material katalis baru yang memiliki kemampuan lebih baik dalam melakukan cracking hidrogen pada suhu rendah, serta menganalisis pengaruhnya terhadap emisi gas buang, efisiensi bahan bakar, dan performa mesin secara keseluruhan (Lee & Kim, 2019).

Produksi Gas Buang

Proses Pembakaran pada Motor Bensin

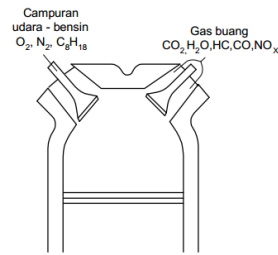
Pembakaran terjadi apabila ada tiga komponen yang bereaksi yaitu bahan bakar (bensin), udara (oksigen) dan panas. Proses pembakaran pada motor baik bensin maupun diesel ada dua macam yaitu pembakar sempurna dan pembakaran tidak sempurna (Isnanda, 2007).

Pada pembakaran sempurna diasumsika semua bensin terbakar dengan sempurna dengan perbandingan udara dan bahan bakar 14,7 :1 dimana reaksinya adalah sebagai berikut :



Pada motor bakar bensin maupun diesel pembakaran yang terjadi tidak pernah sempurna meskipun mesin telah dilengkapi dengan sistem *control*, hal ini disebabkan oleh :

1. Waktu pembakaran yang singkat.
2. *Over lapping* katup.
3. Udara yang masuk tidak murni oksigen.
4. Bahan bakaar yang masuk tidak murni C_8H_{18} .
5. Kompresi tidak terjamin rapat sempurna.
6. Pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan gas buang beracun (Nurahman *et al.*, 2017).



Gambar 1. Proses Pembakaran Dan Gas Buang

Carbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida ini dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna jadi dengan kata lain terbentuknya carbon monoksida ini dipengaruhi oleh perbandingan campuran bahan bakar dengan udara (*Air Fuel Ratio*) (Isnanda, 2007). Gas CO ini tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna sehingga lingkungan yang tercemar sulit dikenali (Arismunandar, 1988).

Hidrocarbon (HC)

Hidrocarbon adalah bahan bakar mentah yang tidak terbakar selama proses pembakaran didalam ruang bakar yang berasal dari bahan bakar yang tersisa pada dinding silinder setelah terjadinya pembakaran dan dikeluarkan saat langkah buang dan gas yang tidak terbakar setelah terjadinya gagal pengapian (*misfiring*) pada saat mesin diakselerasi ataupun deselerasi. Pada umumnya emisi HC disebabkan oleh beberapa hal :

1. Penyetelan campuran tidak tepat
2. Penyetelan *valve clearance* tidak tepat
3. Ring piston aus dan *seal valve* rusak
4. Karburator atau *throttle body* rusak
5. *Timing* pengapian terlalu *advance* (*voor*)
6. *Air Cleaner* tersumbat

Jadi makin tinggi kandungan emisi HC ini akan menyebabkan tenaga mesin makin berkurang dan konsumsi bahan bakar semakin meningkat (Isnanda, 2007).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji penggunaan katalis dalam proses cracking hidrogen, namun masih banyak tantangan dalam pengembangan katalis yang dapat bekerja pada suhu rendah dengan efisiensi yang tinggi. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa desain katalis berbasis material baru, seperti tembaga dan kuningan, memiliki potensi yang besar dalam meningkatkan kinerja proses cracking hidrogen. Berdasarkan tinjauan ini, hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah bahwa desain katalis baru yang lebih efisien akan menghasilkan pengurangan signifikan pada emisi gas buang serta meningkatkan efisiensi bahan bakar dan kinerja mesin (Nguyen *et al.*, 2022).

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknologi ramah lingkungan yang dapat diterapkan pada mesin pembakaran dalam, serta membantu mengatasi masalah emisi gas buang yang semakin menjadi perhatian global (Zhang *et al.*, 2021).

Katalis Gas Buang

Katalis gas buang digunakan untuk mengurangi polutan berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, seperti gas buang kendaraan bermotor dan pabrik industri. Proses ini terjadi dalam sistem catalytic converter, yang menggunakan reaksi kimia untuk mengubah polutan menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan.

Katalisis adalah proses mempercepat reaksi kimia dengan menggunakan zat yang disebut katalis tanpa mengubah katalis itu sendiri. Dalam konversi gas buang, katalis mempercepat reaksi antara gas polutan dan oksigen atau senyawa lain untuk mengubahnya menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Gas buang dari mesin pembakaran internal mengandung beberapa polutan utama, seperti:

1. Karbon monoksida (CO): Gas beracun yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna.
2. Hidrokarbon (HC): Senyawa organik yang tidak terbakar sepenuhnya.
3. Nitrogen oksida (NO_x): Senyawa yang dapat menyebabkan hujan asam dan polusi udara.

Katalis bekerja dengan mengubah polutan ini menjadi senyawa yang lebih aman:

1. Karbon monoksida (CO) → Karbon dioksida (CO₂)
2. Hidrokarbon (HC) → Karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O)
3. Nitrogen oksida (NO_x) → Nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂)

Terdapat beberapa jenis katalis yang digunakan dalam konversi gas buang, yang paling umum adalah:

1. Katalis logam mulia (Platinum, Palladium, Rhodium): Dikenal karena kemampuannya yang tinggi dalam mereduksi polutan.
2. Katalis berbasis nikel dan tembaga: Digunakan dalam beberapa aplikasi yang lebih ramah biaya, meskipun efektivitasnya tidak setinggi logam mulia.

Katalis dalam konverter gas buang bekerja dengan tiga tahap utama:

1. Reduksi: Mengurangi NO_x menjadi N₂ dan O₂.
2. Oksidasi: Mengubah CO menjadi CO₂.
3. Katalisis pembakaran: Mengubah hidrokarbon menjadi CO₂ dan H₂O.



Gambar 2. Katalis Gas Buang

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu tahap eksperimen dan tahap analisis. Tahap eksperimen melibatkan pengujian katalis berbasis pipa tembaga yang dipasang pada sistem pembakaran mesin. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi suhu dan kondisi operasional mesin untuk melihat pengaruhnya terhadap emisi gas buang, efisiensi bahan bakar, dan kinerja mesin secara keseluruhan. Pada tahap analisis, data hasil pengujian dianalisis menggunakan MATLAB untuk mengukur hubungan antara variasi suhu, emisi gas buang, dan efisiensi bahan bakar, serta untuk memodelkan kinerja katalis dalam proses cracking hidrogen.

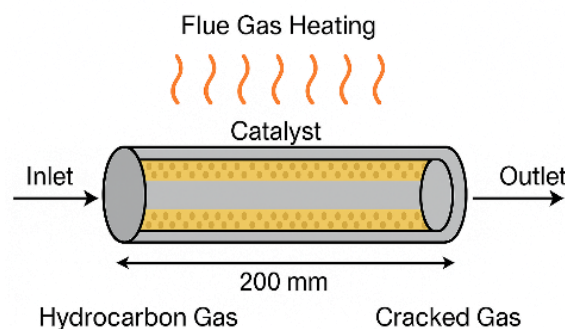
Bahan dan Alat Utama

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa tembaga yang digunakan sebagai katalis dalam sistem cracking hidrogen. Pipa tembaga dipilih karena sifat termalnya yang baik dan kestabilan kimianya yang mendukung efisiensi dalam proses

cracking pada suhu yang lebih rendah. Selain itu, bahan bakar yang digunakan adalah bensin jenis pertalite yang umum digunakan pada mesin pembakaran konvensional. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mesin pembakaran dalam (motor bensin injeksi)
2. Sistem Hydrocarbon Crack System (HCS) dengan katalis berbasis pipa tembaga
3. Gas Analyzer Qrotech untuk mengukur emisi (CO, NO_x, HC)
4. Gelas ukur dan stopwatch Perangkat untuk mengukur efisiensi bahan bakar
5. MATLAB sebagai alat analisis data dan pemodelan

Pipa tembaga yang dipilih kemudian dibentuk sesuai dengan rancangan untuk menjadi sebuah katalis dengan dimensi, diameter dalam 15 mm serta panjang pipa 200 mm, pada bagian pipa katalis dimasukan kawat tembaga berdiameter 1,5 mm dengan panjang 10 cm yang dililit menyerupai bentuk pegas yang bertujuan agar proses cracking lebih cepat terjadi seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Desain Katalis

Katalis ini dipasang/ditempelkan pada pipa exhaust agar terkonduksi panas dengan baik, pada ujung inlet dipasangkan pada sebuah nipple yang dipasang pada exhaust agar terjadi hembusan udara dari dalam dan dihubungkan kedalam sebuah tabung yang berisi dengan bahan bakar RON 90 atau 92, katalis yang telah terkonduksi panas akan menyebabkan terjadinya panas kemudian memecah molekul-molekul.

Tahap Simulasi

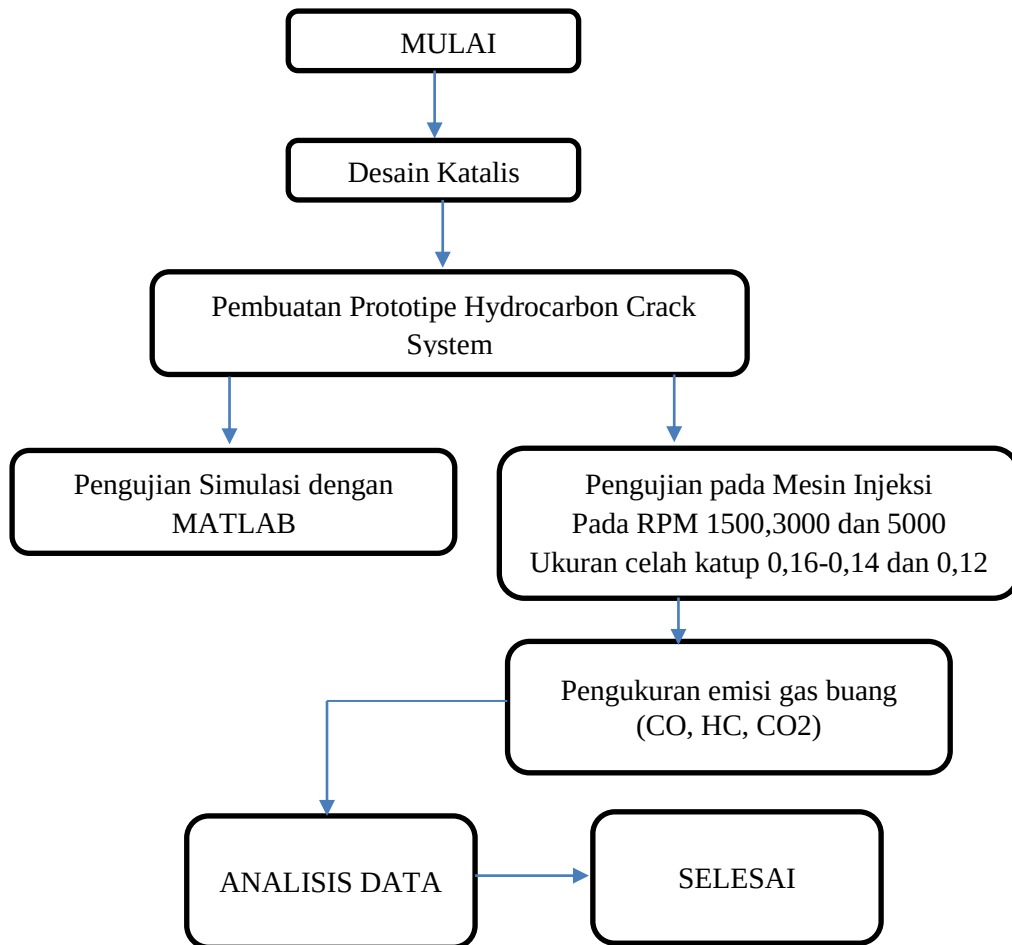
Simulasi sistem dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer dengan software MATLAB untuk mengetahui bentuk grafik dari hasil katalis yang dibuat.

Pengujian Emisi Gas Buang

Pengujian emisi gas buang dilakukan dengan menggunakan mesin uji emisi yang sudah dilengkapi dengan unsur – unsur gas emisi seperti CO, CO₂, HC dan O₂. Hasil dari pengukuran akan langsung cetak dengan printer yang ada pada mesin tersebut. Pada penelitian ini menggunakan mesin motor honda beat injeksi 110 cc. Data yang diambil berdasarkan pada RPM 1500, 3000 dan 5000 serta pengukuran konsumsi bahan bakar dengan volumemetri per menit.

Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat di lihat dalam Gambar 4.



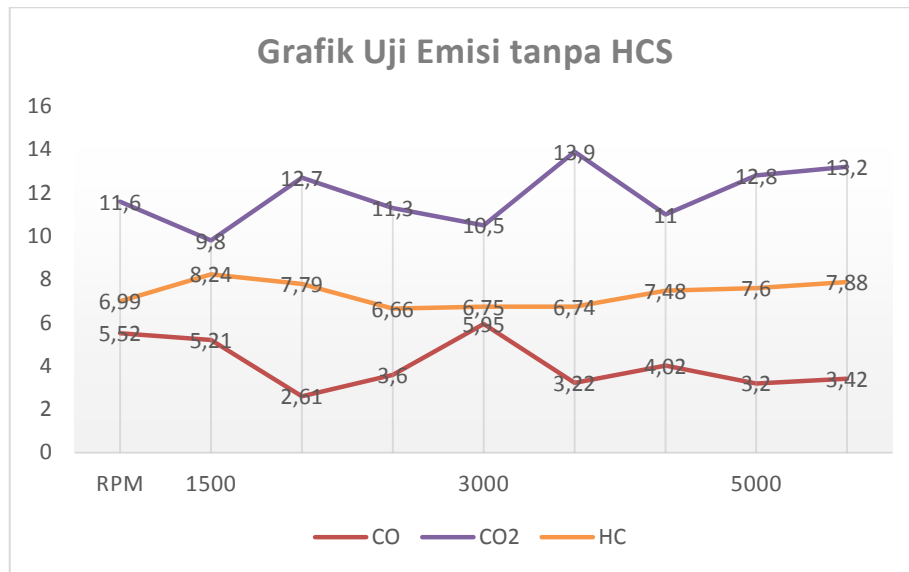
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar yang dilakukan di Workshop teknik otomotif Politeknik Hasnur terdapatlah sebuah data yang dihasilkan dari emisi gas buang yang dihasilkan serta konsumsi bahan bakar yang digunakan.

Pengujian Emisi

Hasil dari pengujian emisi menggunakan gas analyzer qrotech serta variasi ukuran celah katup dan RPM dimasukkan dalam tabulasi data. Data dari hasil uji emisi kemudian diolah menjadi grafik yang ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6.

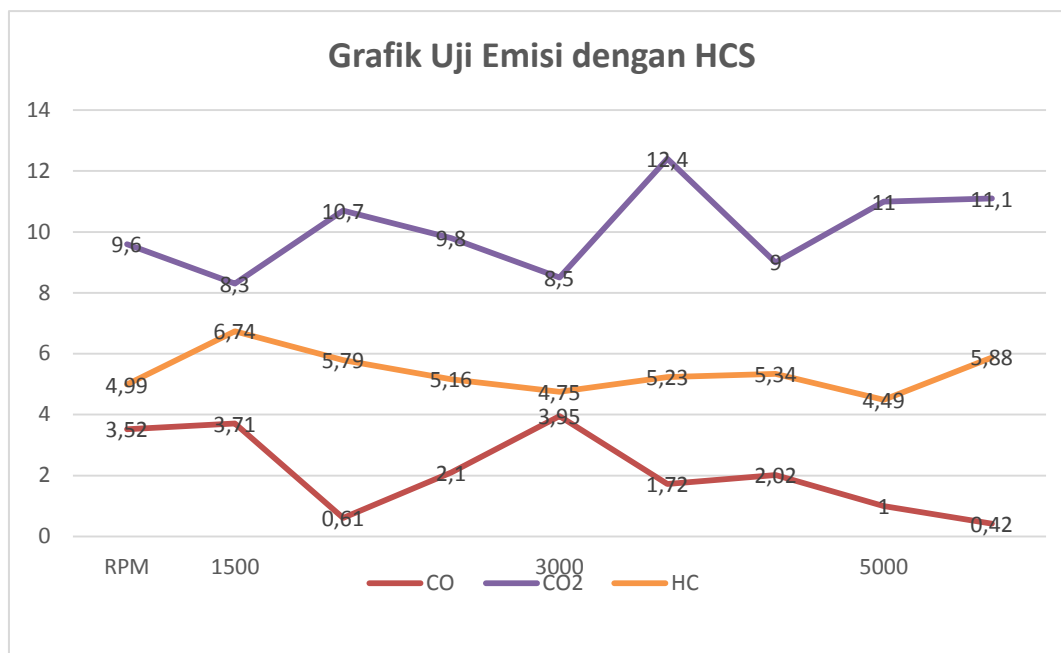


Gambar 5. Grafik Uji Emisi Tanpa HCS

Gambar 5. menunjukkan hasil uji emisi gas buang mesin bensin tanpa menggunakan sistem Hydrocarbon Crack System (HCS) pada berbagai variasi putaran mesin (RPM). Sumbu X merepresentasikan tingkat RPM yang diuji, yaitu 1500, 3000, dan 5000, serta ukuran celah katup 0,16 0,14 dan 0,12 mm, sedangkan sumbu Y menunjukkan nilai emisi CO, CO₂, dan HC dalam satuan umum (persentase volume untuk CO dan CO₂, serta ppm untuk HC). Hasil pengujian menunjukkan bahwa emisi karbon monoksida (CO) cenderung berfluktuasi. Nilai CO relatif tinggi pada RPM rendah, yakni sebesar 5,52% pada 1000 RPM dan 5,21% pada 1500 RPM, kemudian mengalami penurunan signifikan hingga 2,61% pada 2000 RPM. Setelah itu, terjadi lonjakan tajam hingga mencapai 5,95% pada 3000 RPM, lalu kembali menurun dan stabil di kisaran 3,4% pada 5000 RPM. Fluktuasi ini mencerminkan ketidakteraturan proses pembakaran, di mana peningkatan CO dapat mengindikasikan campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya atau pembakaran yang tidak sempurna.

Emisi karbon dioksida (CO₂) menunjukkan tren yang cenderung meningkat dengan puncak tertinggi di 3000 RPM sebesar 13,9%, yang menandakan bahwa pada titik ini pembakaran lebih sempurna. Pola naik-turun yang tajam pada CO₂ ini juga menunjukkan adanya perbedaan efisiensi pembakaran di tiap tingkat RPM. Secara umum, emisi CO₂ yang tinggi berbanding terbalik dengan CO yang rendah, sesuai dengan prinsip bahwa pembakaran sempurna akan menghasilkan lebih banyak CO₂ dan lebih sedikit CO. Sementara itu, emisi hidrokarbon (HC) menunjukkan fluktuasi yang tidak terlalu signifikan, berada di kisaran 6,66–7,88 ppm, dengan nilai tertinggi tercatat pada 5000 RPM. Nilai HC yang relatif stabil menunjukkan bahwa sisa bahan bakar yang tidak terbakar tidak terlalu terpengaruh oleh variasi RPM dalam kondisi tanpa HCS.

Mesin menghasilkan lebih banyak CO₂ pada RPM tinggi, yang merupakan hal yang biasa karena pembakaran bahan bakar yang lebih banyak (Heywood, 1988). Emisi CO, di sisi lain, lebih rendah pada RPM tinggi, yang menunjukkan pembakaran yang lebih lengkap (Stone, 1999). Emisi HC tampaknya relatif stabil tetapi menurun seiring dengan peningkatan kecepatan mesin.



Gambar 6. Grafik Uji Emisi Dengan HCS

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan HCS secara signifikan menurunkan emisi CO. Tanpa HCS, emisi CO menunjukkan fluktuasi dengan nilai tertinggi sebesar 5,95% pada 3000 RPM dan terendah 2,61% pada 2000 RPM. Setelah penerapan HCS, nilai CO turun secara drastis ke rentang 0,91% hingga 3,52%, dengan nilai terendah dicapai pada 1500 RPM. Penurunan ini mengindikasikan bahwa sistem HCS berhasil meningkatkan efisiensi pembakaran dengan cara memecah hidrokarbon berat menjadi senyawa yang lebih mudah terbakar. Seiring dengan meningkatnya RPM, emisi CO menurun, juga mengindikasikan peningkatan efisiensi pembakaran pada RPM yang lebih tinggi (Turgut *et al.*, 2015).

Emisi CO₂ cenderung menunjukkan korelasi berbanding terbalik dengan CO. Pada kondisi tanpa HCS, emisi CO₂ tertinggi tercatat sebesar 13,9% pada 3000 RPM. Setelah pemasangan HCS, nilai tertinggi CO₂ turun menjadi 12,4% pada RPM yang sama. Meskipun terdapat sedikit penurunan nilai CO₂, grafik menunjukkan bahwa distribusi emisi CO₂ dengan HCS menjadi lebih stabil, berkisar antara 8,5% hingga 12,4%, dibandingkan dengan fluktuasi tajam pada kondisi tanpa HCS. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakaran tetap berlangsung secara efisien meskipun sebagian bahan bakar mengalami rekayasa kimia melalui sistem HCS. Pada RPM 1500, emisi CO₂ sedikit lebih rendah, dikarenakan pembakaran yang belum sempurna.

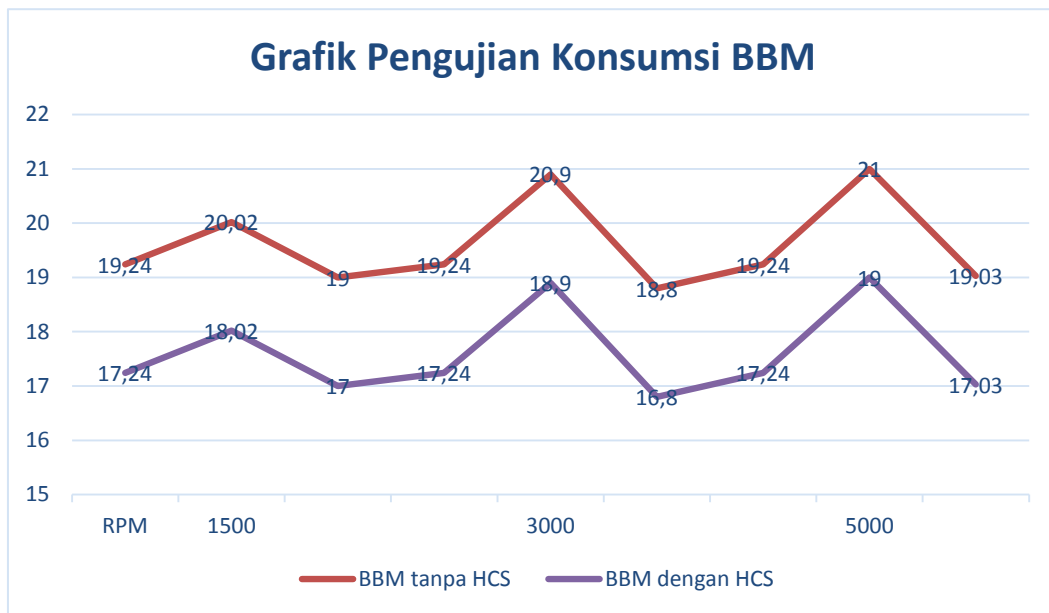
Adapun emisi HC juga mengalami penurunan setelah penggunaan HCS. Tanpa HCS, nilai HC berada dalam rentang 6,66–7,88 ppm. Sementara dengan HCS, nilai HC menurun menjadi 4,49–6,74 ppm. Penurunan emisi HC ini menunjukkan bahwa jumlah bahan bakar yang tidak terbakar sempurna telah berkurang secara signifikan, yang menegaskan efektivitas HCS dalam mendukung pembakaran yang lebih lengkap. Pada RPM 5000, emisi HC jauh lebih rendah, yang menunjukkan bahwa pembakaran menjadi lebih efisien pada RPM yang lebih tinggi (Reitz *et al.*, 2020).

Secara keseluruhan, penggunaan HCS memberikan kontribusi positif terhadap kualitas emisi gas buang, khususnya dalam menurunkan CO dan HC tanpa mengorbankan efisiensi pembakaran yang tercermin dari nilai CO₂. Hal ini membuktikan bahwa sistem

HCS layak dipertimbangkan sebagai salah satu metode peningkatan efisiensi pembakaran dan pengurangan emisi pada mesin bensin konvensional.

Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengukuran bahan bakar pada gelas ukur yang diisi dengan bahan bakar Ron 90 sebanyak 500 ml, kemudian mesin dihidupkan dengan berbagai RPM serta variasi celah katup, dilakukan 2 kali pengujian pada mesin tanpa hcs dan mesin dengan hcs. Hasil tersebut dimasukkan kedalam tabel dan diolah menjadi grafik seperti yang terlihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Grafik Konsumsi Bahan Bakar

Gambar 7 memperlihatkan grafik perbandingan konsumsi bahan bakar mesin bensin pada berbagai tingkat putaran mesin (RPM), baik tanpa maupun dengan penerapan Hydrocarbon Crack System (HCS). Konsumsi bahan bakar dinyatakan dalam satuan mililiter per menit (ml/menit), di mana nilai yang lebih rendah menunjukkan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat.

Dari hasil pengujian, konsumsi bahan bakar tanpa HCS berada pada kisaran 18,94–20,94 ml/menit, sedangkan dengan HCS berada pada kisaran yang lebih rendah, yaitu 16,84–19,1 ml/menit. Pada 1000 RPM, konsumsi tanpa HCS tercatat 19,24 ml/menit dan menurun menjadi 17,24 ml/menit dengan HCS. Efisiensi terbesar terjadi pada 4000 RPM, di mana konsumsi dengan HCS hanya sebesar 16,84 ml/menit dibandingkan 18,94 ml/menit tanpa HCS.

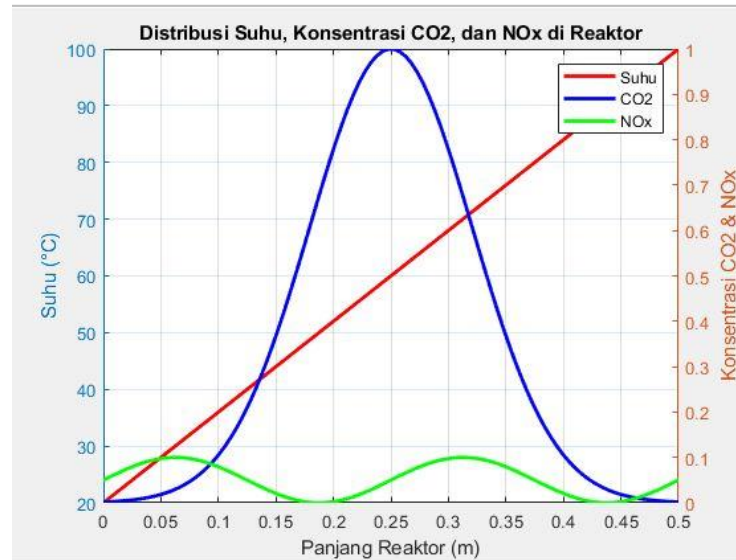
Perbandingan ini mengindikasikan bahwa penerapan HCS memberikan penghematan konsumsi bahan bakar pada seluruh rentang putaran mesin. Hal ini disebabkan oleh kemampuan HCS dalam memecah molekul hidrokarbon berat menjadi senyawa yang lebih ringan dan mudah terbakar, sehingga proses pembakaran menjadi lebih sempurna dan efisien. Akibatnya, energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan tenaga pada mesin tercapai dengan volume bahan bakar yang lebih kecil.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan Hydrocarbon Crack System secara signifikan meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar mesin bensin, dengan penurunan konsumsi hingga lebih dari 2 ml/menit pada titik-titik RPM tertentu,

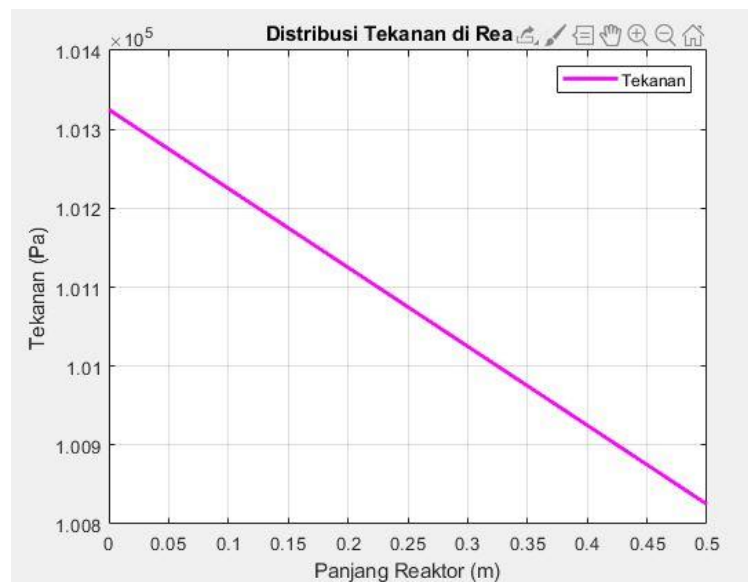
menjadikannya solusi potensial untuk efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional (Arif *et al.*, 2024).

Simulasi Dengan MATLAB

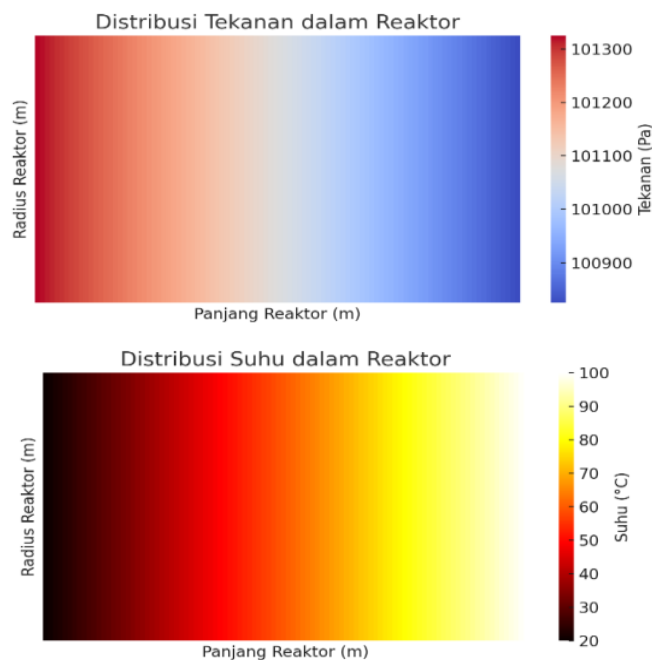
Simulasi dilakukan dengan perangkat keras komputer serta perangkat lunak MATLAB untuk mengetahui distribusi suhu, distribusi tekanan dan countour atau bentuk dari distribusi tersebut. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada gambar 8, 9 dan 10 dibawah ini.



Gambar 8. Distribusi Suhu



Gambar 9. Distribusi Tekanan



Gambar 10. Kontur Tekanan Dan Suhu Dalam Reaktor

Gambar di atas menunjukkan distribusi suhu, distribusi tekanan dan kontur di dalam reaktor konsentrasi CO_2 , dan NO_x sepanjang panjang reaktor dalam sistem Hydrocarbon Crack System (HCS) yang dipanaskan hingga 100°C . Kurva suhu menunjukkan peningkatan linier dari 20°C di inlet hingga mencapai suhu maksimum di outlet reaktor, yang menandakan sistem pemanasan bekerja secara konduktif merata. Konsentrasi CO_2 membentuk pola lonceng (Gaussian) dengan puncak tertinggi di tengah reaktor ($\pm 0,25$ m), bertepatan dengan titik suhu tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi oksidasi hidrokarbon atau proses perengkahan menghasilkan CO_2 paling efisien pada suhu mendekati 100°C , sehingga suhu ini dapat dianggap sebagai titik kerja optimal reaktor untuk dekomposisi bahan bakar. Sebaliknya, distribusi NO_x menunjukkan dua puncak konsentrasi kecil sebelum dan sesudah titik tengah, yang mencerminkan bahwa pembentukan NO_x lebih sensitif terhadap fluktuasi suhu dan konsentrasi oksigen lokal dibandingkan CO_2 . Pola ini menunjukkan bahwa meskipun suhu tinggi dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan konversi CO_2 , kondisi tersebut juga berisiko meningkatkan emisi NO_x jika tidak dikontrol dengan baik (Wulan, 2023).

Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa desain reaktor HCS yang dibuat mampu menghasilkan peningkatan efisiensi pembakaran melalui produksi CO_2 yang tinggi di zona suhu optimal, tanpa secara signifikan meningkatkan kadar NO_x . Dengan demikian, penerapan sistem HCS berpotensi memperbaiki kualitas emisi gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar bensin, terutama jika dikombinasikan dengan pengaturan suhu dan laju alir bahan bakar yang tepat. Efisiensi konversi yang tinggi pada zona suhu puncak juga menegaskan efektivitas reaktor katalitik dalam mendukung reaksi pembentukan CO_2 dan pemecahan hidrokarbon jenuh menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian menunjukkan bahwa penggunaan Hydrocarbon Crack System (HCS) dengan desain katalis yang dibuat pada mesin bensin injeksi mampu menurunkan emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) secara signifikan, serta membuat emisi karbon dioksida (CO₂) menjadi lebih stabil tanpa mengurangi efisiensi pembakaran. Selain itu, HCS juga mengurangi konsumsi bahan bakar hingga lebih dari 2 ml/menit pada beberapa tingkat putaran mesin (RPM). Dengan demikian, HCS efektif meningkatkan efisiensi pembakaran dan menghemat bahan bakar pada mesin bensin konvensional.
2. Distribusi suhu dalam reaktor meningkat secara linier dari 20°C hingga 100°C sepanjang panjang reaktor (0–0,5 m). Hal ini menunjukkan bahwa sistem pemanas bekerja secara efektif, menciptakan gradien suhu yang stabil dan mendukung terjadinya reaksi perengkahan hidrokarbon secara termokatalitik.
3. Konsentrasi CO₂ tertinggi tercapai di tengah reaktor, bertepatan dengan suhu maksimum. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi konversi hidrokarbon menjadi CO₂ paling tinggi terjadi pada suhu sekitar 100°C, menjadikan titik tengah reaktor sebagai zona reaktif paling optimal.
4. Konsentrasi NO_x menunjukkan dua puncak kecil sebelum dan sesudah titik suhu maksimum, dengan nilai relatif rendah. Ini menandakan bahwa sistem reaktor mampu mengontrol pembentukan NO_x, walaupun suhu tinggi dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.
5. Distribusi tekanan menunjukkan penurunan linier dari inlet hingga outlet reaktor, dari sekitar 101300 Pa menjadi 100800 Pa. Hal ini menunjukkan adanya pressure drop akibat hambatan aliran fluida dan proses reaksi yang berlangsung, namun nilainya masih dalam kisaran tekanan atmosfer sehingga aman untuk sistem terbuka.
6. Peta kontur tekanan menunjukkan gradien tekanan secara radial maupun aksial, dengan tekanan tertinggi di inlet bagian tengah dan terendah di outlet dekat dinding reaktor. Distribusi ini mengonfirmasi adanya ekspansi fluida dan efek gesekan internal yang normal dalam reaktor tabung.
7. Distribusi suhu secara kontur memperlihatkan gradasi yang merata dari pusat ke pinggir dan dari inlet ke outlet. Penyebaran suhu yang homogen ini menunjukkan efisiensi perpindahan panas konduktif yang baik dalam reaktor, serta mendukung terjadinya reaksi kimia secara menyeluruh di seluruh volume reaktor.

REFERENSI

- Ahmed, A. M., & Hassan, M. I. (2023). Performance, emissions and thermodynamic analysis of hydrogen-CNG dual fuel engine. *Energy Reports*, 9, 875–889. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.01.027>.
- Aleiferis, P. G., & Caton, J. A. (2020). Hydrogen internal combustion engines for commercial vehicle applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(55), 31222–31240. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.056>.
- Arif, A., Kurniawan, O. A., Fernandez, D., Setiawan, M. Y., Wagino, W., Milana, M., & Saputra, H. D. (2024). Analysis of Gasoline Engine Exhaust Emissions Using a Hydrocarbon Crack System. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 500, p. 03029). EDP Sciences.
- Awal, S. (2006). Analisa Kinerja Mesin Bensin Berdasarkan Hasil Uji Emisi. *SMARTek*, 260-266.
- Chen, T., & Sun, J. (2020). Thermal Responses of Connected HEVs Engine and Aftertreatment Systems to Eco-Driving. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/1905.13180>.
- Daryanto. (2003). *Motor Bensin Pada Mobil*. Bandung: Penerbit Yrama Widya.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill.
- Kim, D., & Lee, H. (2023). A new robust regenerative turbo-reactor concept for clean hydrocarbon cracking. *GPPS Journal*, 6(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/gpps2023-034>.
- Lee, C. Y., & Kim, M. (2019). Emission behavior of gasoline engine under lean-burn operation with hydrocarbon conversion system. *Energy*, 169, 625–633.
- Liu, Z., Wang, J., & Zhang, Y. (2022). Research on combustion and emissions of heavy-duty diesel engine fueled with alternative fuels. *Frontiers in Energy Research*, 10, 992340. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.992340>
- Mehta, R. N., & Anand, K. (2024). Recent advancements, applications, and technical challenges in fuel additives for internal combustion engines. *Energy Conversion and Management*, 293, 117519. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.117519>.
- Nasir, M., & Khan, M. A. (2021). Influence of valve clearance variation on engine performance and emission. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35(4), 1465–1473.
- Nugroho, H. A., & Utomo, B. S. (2024). Analysis of Gasoline Engine Exhaust Emissions Using a Hydrocarbon Crack System. *E3S Web of Conferences*, 500, 03029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450003029>.
- Prasetyo, D. H., & Rachman, A. (2021). Uji eksperimental sistem hidrokarbon cracking untuk menurunkan emisi gas buang pada motor bensin. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 16(2), 109–118.
- Reitz, R. D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y., ... & Zhao, H. (2020). *IJER editorial: The future of the internal combustion engine*. *International Journal of Engine Research*, 21(1), 3-10.
- Singh, R. K., & Kumar, A. (2023). Experimental investigation of catalytic converter design using copper for emission control. *International Journal of Automotive Technology*, 24(1), 87–95.
- Stone, R. (1999). *Introduction to Internal Combustion Engines*. Society of Automotive Engineers.
- Turgut, E. T., Cavcar, M., Yay, O. D., Ucarsu, M., Yilmaz, E., Usanmaz, O., ... & Dogeroglu, T. (2015). A gaseous emissions analysis of commercial aircraft engines during test-cell run. *Atmospheric Environment*, 116, 102-111.

- Voronov, S., & Litvinov, D. (2023). Hydrogen-containing fuel influence on compression-ignition engine emissions. *Energies*, 18(7), 1722. <https://doi.org/10.3390/en18071722>.
- Wulan, S. (2023). Optimasi Proses Pembakaran Dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Pembakaran Internal Dengan Penambahan Aditif Biofuel Berbasis Biomassa Lokal. *TATAL*, 2(01).
- Yildiz, A., & Koç, M. (2020). Emission reduction in gasoline engines using catalytic hydrocarbon cracking chamber. *Fuel*, 264, 116776.
- Zhang, T., & Wang, F. (2022). Optimization of valve timing and clearance to reduce emissions in SI engines. *Applied Thermal Engineering*, 205, 117958.