

**PENGARUH PENAMBAH ETANOL 40% DAN 45% PADA GASOLINE RON 92  
MENGUNAKAN MOTOR BAKAR 4-LANGKAH DENGAN SISTEM DUAL INJEKSI  
TERHADAP EMISI GAS BUANG**

**M. Guntur<sup>1</sup>, Riswan sepriyatno<sup>2</sup>, Akhmad Faruq Alhikami<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>program studi Teknik mesin, universitas islam malang,  
e-mail: mguntur486@gmail.com

<sup>2</sup>program studi Teknik mesin, universitas islam malang,  
e-mail: riswansepriyatno@unisma.ac.id

<sup>3</sup>program studi Teknik mesin, universitas islam malang,  
e-mail: alhikami@unisma.ac.id

Jl. MT. Haryono 193 Malang 65114, Indonesia

**ABSTRAK**

Transportasi berperan penting dalam menunjang aktivitas masyarakat dan perekonomian, tetapi penggunaan bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global, pencemaran udara, dan gangguan kesehatan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan etanol pada gasoline RON 92 menggunakan motor bakar 4-langkah sistem *dual* injeksi terhadap profil emisi gas buang. Metode eksperimen dilakukan dengan variasi etanol 0%, 40%, dan 45% pada putaran mesin *idle*, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10.000 rpm. Parameter yang dianalisis meliputi emisi CO, HC, CO<sub>2</sub>, *Air-Fuel Ratio* (AFR), dan *equivalence ratio*. Hasil menunjukkan penambahan etanol 40% dan 45% menurunkan emisi HC sebesar 44,65% dan 56,55%, serta CO sebesar 24,03% dan 47,54%, sedangkan emisi CO<sub>2</sub> meningkat 16,79% dan 35,40%. Perubahan AFR dan *equivalence ratio* menunjukkan pembakaran lebih mendekati kondisi ideal. Sistem *dual* injeksi dengan etanol efektif menurunkan emisi CO dan HC serta meningkatkan kesempurnaan pembakaran.

**Kata kunci:** Etanol, Sistem *Dual* Injeksi, Motor Bakar 4-Langkah, Emisi Gas Buang, Gasoline RON 92.

**ABSTRACT**

*Transportation plays a vital role in supporting community activities and the economy, but the use of fossil fuels produces greenhouse gas emissions that cause global warming, air pollution, and health problems. This study aims to analyze the effect of adding ethanol to RON 92 gasoline in a 4-stroke internal combustion engine with a dual-injection system on the exhaust emission profile. The experimental method involved testing ethanol concentrations of 0%, 40%, and 45% at engine speeds of idle, 5,000, 6,000, 7,000, 8,000, 9,000, and 10,000 rpm. The parameters analyzed included CO, HC, and CO<sub>2</sub> emissions, the air-fuel ratio (AFR), and the equivalence ratio. The results show that adding 40% and 45% ethanol reduced HC emissions by 44.65% and 56.55%, respectively, and CO emissions by 24.03% and 47.54%, while CO<sub>2</sub> emissions increased by 16.79% and 35.40%. Changes in the AFR and equivalence ratio indicate that combustion is closer to ideal conditions. The dual-fuel injection system with ethanol effectively reduces CO and HC emissions and improves combustion efficiency.*

**Keywords:** Ethanol, Dual Injection System, 4-Stroke Internal Combustion Engine, Exhaust Emissions, RON 92 Gasoline.

## PENDAHULUAN

Transportasi memiliki peranan yang sangat krusial dalam menunjang kegiatan masyarakat sehari-hari serta mendukung roda perekonomian global termasuk di Indonesia. Namun demikian sektor ini juga menjadi salah satu penyumbang terbesar polusi udara akibat emisi gas buang dari penggunaan bahan bakar fosil. Di Indonesia sendiri sebagian besar kendaraan bermotor masih bergantung pada bahan bakar fosil yang menghasilkan berbagai zat berbahaya seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hidrokarbon (HC) [7].

Bahan bakar hidrokarbon RON 92 adalah bensin yang diperoleh dari minyak mentah melalui proses distilasi fraksional, yaitu minyak mentah yang dicampur dengan katalis yang tepat lalu dipanaskan pada suhu tertentu. BBM ini ideal untuk mesin dengan kompresi 10:1–11:1 karena memiliki ketahanan tinggi terhadap *knocking*, sehingga mendukung pembakaran yang stabil, efisien, dan optimal, terutama pada mesin modern yang menggunakan sistem EFI [3].

Etanol merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berpotensi menjadi bahan bakar kendaraan bermotor. Salah satu jenis zat aditif yang banyak dimanfaatkan dalam campuran bahan bakar adalah etanol, yaitu senyawa kimia yang termasuk dalam golongan etil alkohol atau alkohol murni. Etanol memiliki sejumlah keunggulan, di antaranya nilai oktan yang tinggi sekitar 106. Selain itu, etanol bersifat mudah menguap dan mudah terbakar, sehingga dapat mempercepat proses pengapian, namun tetap tidak berwarna dan ramah lingkungan, karena hasil pembakarannya menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil konvensional [2]. Penambahan etanol pada saat ini banyak sekali menimbulkan permasalahan pada kendaraan yang menyebabkan mesin tersendat, mesin beroperasi tidak normal disebabkan bahan bakar etanol dan gasoline mengalami pemisahan fase.

Pencampuran bahan bakar etanol dengan gasoline RON 92 dilakukan secara manual di dalam tangki bahan bakar (*blending upstream*), namun terdapat kendala terkait stabilitas campuran dan terjadinya pemisahan fase akibat perbedaan sifat polaritas kedua bahan bakar tersebut. Etanol memiliki sifat polar karena adanya gugus hidroksil (OH) dalam strukturnya, sementara bensin memiliki sifat nonpolar. Perbedaan sifat polaritas ini menyebabkan kedua bahan bakar tersebut tidak tercampur secara merata,

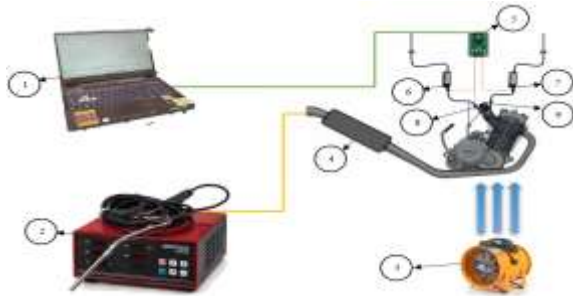
mengurangi kinerja mesin yang menggunakan bahan bakar bensin yang di campur etanol [4].

Sistem *dual* injeksi adalah sistem Penggabungan bahan bakar menggunakan metode *Port Fuel Injection* (PFI) dengan memodifikasi intake *manifold* dan sistem bahan bakar. Sistem *dual* injeksi merupakan metode pencampuran bahan bakar dengan pasokan terpisah tetapi dengan waktu yang serupa, dengan PFI, volume yang diberikan dapat diatur melalui mekanisme *Electric Control Unit* (ECU). ECU berfungsi sebagai pengontrol terhadap jumlah volume yang diinjeksi ke dalam ruang bakar. pendekatan ini lebih efisien dari pada dicampurkan langsung di tangki bahan bakar yang memerlukan volume tinggi dari bahan bakar yang disediakan [8].

Oleh sebab itu, diperlukan penelitian sumber bahan bakar alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan terbarukan, disertai upaya peningkatan efisiensi dalam proses konversi energinya [1]. Penelitian ini selaras, dalam upaya mengatasi permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor. Melalui studi ini, diharapkan diperoleh pemahaman baru mengenai potensi campuran etanol dan Gasoline Ron 92 menggunakan sistem *dual* injeksi sebagai alternatif bahan bakar yang dapat menekan emisi gas buang seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), *air-fuel ratio* (AFR), dan *equivalence ratio*. Selain berperan dalam pengurangan emisi, penggunaan etanol juga berkontribusi terhadap menurunkan ketergantungan pada bahan bakar fosil, meningkatkan nilai oktan, serta meminimalkan kemungkinan terjadinya *knocking* pada mesin. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah berupa wawasan baru terkait pengembangan bahan bakar alternatif dan dampaknya terhadap penurunan emisi serta keberlanjutan lingkungan.

## METODE PENELITIAN

penelitian ini menggunakan metode eksperimental, di laboratorium yang bertujuan untuk menguji pengaruh penambahan etanol dan gasoline RON 92 terhadap emisi gas buang pada motor bakar 4-langkah dengan sistem dual injeksi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sepeda motor Suzuki Satria FU 150cc tahun 2013 sebagai objek uji.



**Gambar 1.** Skema Instalasi Penelitian

## Metode Analisis

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Perbandingan Eksperimental. Metode ini melibatkan proses perbandingan data hasil pengujian emisi gas buang yang diperoleh dari dua kondisi yang berbeda, yaitu penggunaan bahan bakar Gasoline RON 92 dan penambahan etanol sebanyak 0%, 40% dan 45%. Parameter yang dibandingkan meliputi AFR aktual, AFR stoikiometri, *Equivalence Ratio*, serta kandungan emisi seperti CO, CO<sub>2</sub>, dan HC.

Data hasil penelitian diolah dengan menghitung nilai *equivalence ratio* dengan rumus untuk melihat perbandingan udara dan bahan bakar termasuk ideal, *fuel lean* dan *fuel risc*. Menghitung nilai AFR stoikiometri dipakai sebagai patokan pembakaran ideal untuk menetapkan rasio udara-bahan bakar yang dibutuhkan untuk pembakaran yang sempurna.

### 1. *Equivalence Ratio*

Rasio Kesetaraan udara-Bahan Bakar, nilai *Equivalence Rasio* ( $\phi$ ) menunjukkan kandungan gabungan antara udara dan bahan bakar. Jika  $\phi > 1$ , maka termasuk campuran kaya di mana proporsi bahan bakar lebih tinggi dibandingkan udara. Apabila  $\phi = 1$ , maka dikatakan campuran stoikiometri atau campuran udara-bakar yang ideal [6]. Rasio ini dirumuskan:

$$\phi = \frac{AFR \text{ Stoikiometri}}{AFR \text{ Aktual}}$$

### 2. Air-Fuel Ratio

Merupakan perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam mesin. Perbandingan ini berperan penting dalam menentukan seberapa optimal proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar [5]. Rumus AFR sebagai berikut:

$$AFR = \frac{ma}{mf} = \frac{ma}{mf}$$

Dimana:

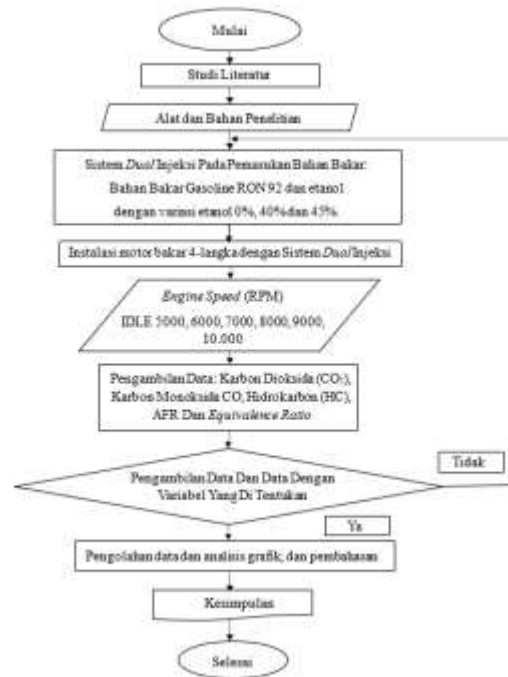
ma = massa udara

mf = massa bahan bakar

ma= massa alir udara

mf= massa alir bahan bakar

## DIAGRAM ALIR PENELITIAN



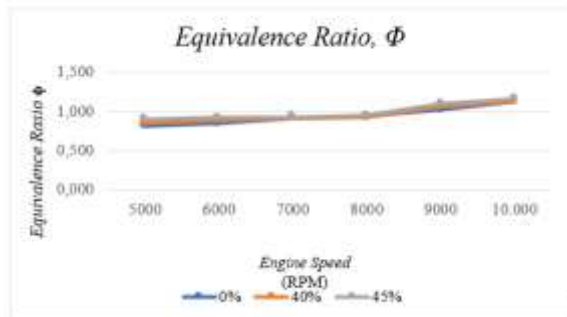
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. *Equivalence Ratio* $\phi$

**Tabel 1.** Hasil perhitungan *Equivalence Ratio*  $\phi$

| Engine<br>Speed<br>(RPM) | <i>Equivalence Ratio</i> $\phi$ |            |            |
|--------------------------|---------------------------------|------------|------------|
|                          | Gasoline                        | Penambahan | Penambahan |
|                          | Murni                           | 40%        | 45%        |
|                          | 0%                              |            |            |
| 5000                     | 0,814                           | 0,843      | 0,891      |
| 6000                     | 0,841                           | 0,885      | 0,920      |
| 7000                     | 0,912                           | 0,908      | 0,926      |
| 8000                     | 0,935                           | 0,920      | 0,944      |
| 9000                     | 1,017                           | 1,058      | 1,089      |
| 10.000                   | 1,115                           | 1,117      | 1,159      |

Dari tabel hasil perhitungan rasio kesetaraan udara dan bahan bakar (*Equivalence Ratio*), dapat dilihat bahwa memperoleh grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *Equivalence Ratio* berkaitan dengan putaran mesin di berbagai kondisi RPM. Grafik ini akan mendukung memperjelas pola variasi rasio kesetaraan, sehingga memudahkan analisis terhadap dampak dan rotasi mesin pada campuran udara dan bahan bakar yang dimanfaatkan dalam proses pembakaran.



**Gambar 2.** Grafik *Equivalence Ratio*

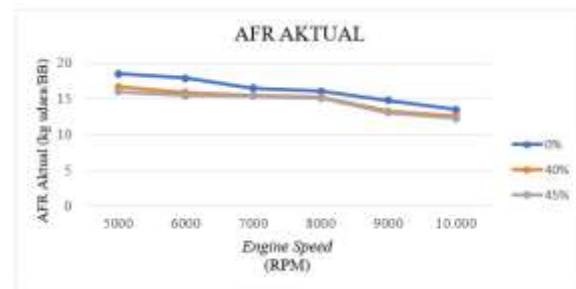
Berdasarkan Grafik *Equivalen Rasio* pada bahan bakar 0%, 40% dan 45% berada di bawah 1, dari RPM (5000-8000) yang menunjukkan bahwa paduan udara-bahan bakar cenderung ramping atau lebih banyak udara di bandingkan dengan bahan bakar. Namun pada RPM tinggi seperti (9000 dan 10.000) mendekati stoikiometri atau pembakaran ideal Pada bahan bakar yang terdiri dari campuran 0%, 40%, 45% etanol, Nilai *Equivalen Rasio* lebih mendekati stoikiometri, khususnya pada RPM tinggi. Pada 5000 RPM, *Equivalen Rasio* pada bahan bakar gasoline murni lebih rendah dibandingkan dengan kombinasi etanol. Pada 9000 dan 10.000 RPM, setiap variasi persentase rasio kesetaraan cenderung sedikit kenaikan melebihi 1. Hal Ini menunjukkan bahwa meskipun durasi pembakaran lebih pendek pada RPM tinggi, etanol masih berkontribusi meningkatkan efisiensi proses pembakaran dengan menambahkan oksigen lebih.

## 2. Nilai AFR Aktual terhadap stoikiometri

**Tabel 2.** AFR Aktual terhadap stoikiometri

| Engine Speed<br>(RPM) | AFR Aktual (Kg udara/kg bahan bakar) |                   |                   |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                       | Gasoline Murni<br>0%                 | Penambahan<br>40% | Penambahan<br>45% |
| 5000                  | 18,5                                 | 16,7              | 16,0              |
| 6000                  | 17,9                                 | 15,9              | 15,5              |
| 7000                  | 16,5                                 | 15,5              | 15,4              |
| 8000                  | 16,1                                 | 15,3              | 15,1              |
| 9000                  | 14,8                                 | 13,3              | 13,1              |
| 10.000                | 13,5                                 | 12,6              | 12,3              |
| Stoikiometri          | 15,05                                | 14,07             | 14,26             |

Dari tabel hasil perhitungan nilai AFR aktual di atas, dapat dihasilkan grafik hubungan antara nilai AFR aktual terhadap AFR Stoikiometri dengan berbagai putaran mesin menggunakan sistem dual injeksi sebagai Solusi pemisahan fase dan meningkatkan homogenitas (etanol & gasoline RON 92).

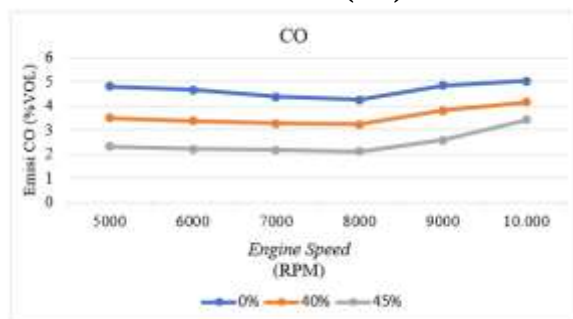


**Gambar 3.** AFR Aktual

Berdasarkan grafik AFR aktual, untuk bahan bakar yang tidak mengandung campuran etanol, nilai AFR cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar yang mengandung 40% ,45% etanol pada seluruh kisaran RPM. Pada 5000 RPM, AFR yang sebenarnya tanpa campuran ada di atas nilai stoikiometri etanol, sedangkan pada campuran gasoline, nilai AFR lebih rendah dan lebih mendekati stoikiometri untuk bahan bakar etanol. Tren penyusutan AFR saat ini terlihat sejalan dengan meningkatnya kecepatan mesin, baik pada jenis bahan bakar tanpa pencampuran maupun dengan pencampuran etanol. Pada putaran tinggi seperti 9000 dan 10.000 RPM, nilai AFR cenderung menurun di bawah nilai stoikiometri pada setiap persentase. Namun AFR tanpa campuran tetap tinggi, sedangkan pada campuran etanol, angkanya lebih rendah dan semakin boros bahan bakar. Penurunan AFR pada

bahan bakar dengan kombinasi etanol menunjukkan bahwa etanol berpengaruh pada perbandingan udara-bahan bakar dengan memberikan oksigen ekstra dalam proses pembakaran yang di karenakan oleh putaran mesin pada RPM tinggi membuat proses pembakaran lebih singkat sehingga bahan bakar yang di keluarkan lebih banyak yang belum teroksidasi secara sempurna. Selain itu, nilai AFR yang lebih rendah pada bahan bakar dengan campuran etanol menunjukkan bahwa campuran bahan bakar lebih berlimpah dibandingkan dengan bensin murni, yang berperan dalam meningkatkan pembakaran yang lebih ideal.

### 3. Emisi Karbon Monoksida (CO)

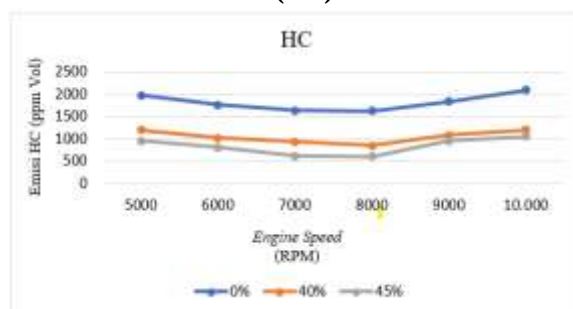


**Gambar 4.** Grafik Emisi Karbon Monoksida (CO)

Grafik di atas memperlihatkan bahwa pada campuran etanol 40% dan 45%, emisi CO mengalami penurunan seiring kenaikan putaran mesin dari kondisi idle hingga 8000 RPM, kemudian meningkat kembali pada RPM yang lebih tinggi (9000-10.000) yang telah diuji. Pada RPM 5000, emisi CO pada bahan bakar gasoline murni lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan etanol 40% dan 45%. Penurunan emisi CO ini terjadi karena adanya tambahan oksigen dalam etanol yang meningkatkan proses pembakaran, sehingga lebih banyak karbon yang terkonversi menjadi  $\text{CO}_2$  dibandingkan CO. Pada 6000 RPM, selisih antara ketiga tipe bahan bakar masih tampak, menunjukkan bahwa pemanfaatan etanol berperan dalam menekan pembentukan karbon monoksida. Saat kecepatan putaran mesin bertambah ke 5000 RPM sampai 8000 RPM, CO cenderung menurun dibanding 0% etanol, pada penambahan 40% etanol, CO turun sebanyak 26,15% sedangkan pada penambahan 45% CO turun 51,45%, emisi CO pada 9000 RPM sampai 10.000 RPM setiap tipe, CO mengalami peningkatan. Peningkatan emisi CO pada 9000 RPM sampai 10.000 RPM, yang di sebabkan oleh durasi pembukaan katup yang singkat dan bahan bakar yang di keluarkan

semakin cepat sehingga mengakibatkan proses pembakaran di dalam mesin yang tidak sempurna (incomplete combustion) saat putaran mesin sangat tinggi. Namun, peningkatan CO pada masih dibawah gasoline murni, penambahan etanol 40% sebesar 12,62% dan 45% sebesar 29,68%. Etanol sebagai bahan bakar yang mempunyai sifat pembakaran yang lebih unggul dibandingkan gasoline murni berkontribusi pada pencapaian pembakaran yang lebih konsisten. Selain itu, karakteristik etanol yang mudah terbakar dan mengandung oksigen yang membantu proses pembakaran berlangsung lebih optimal, produksi CO bisa diminimalkan lebih lanjut.

### 4. Emisi Hidrokarbon (HC)

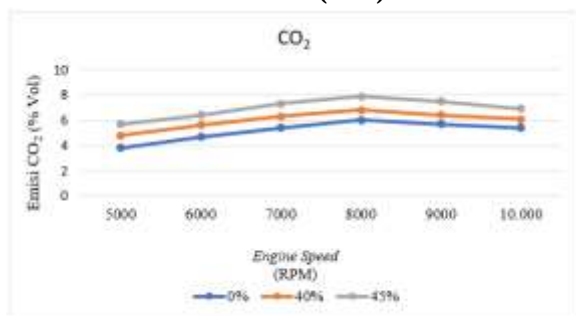


**Gambar 5.** Grafik Emisi Hidrokarbon (HC)

Grafik di atas memperlihatkan bahwa pada campuran etanol 40% dan 45%, emisi CO mengalami penurunan seiring kenaikan putaran mesin dari 5000 RPM hingga 8000 RPM, kemudian meningkat pada RPM yang lebih tinggi (9000-10.000) yang telah diuji. Pada posisi 5000 RPM, emisi hidrokarbon (HC) pada bahan bakar gasoline murni lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar yang memiliki kandungan etanol 40% dan 45%. Penurunan emisi hidrokarbon (HC) ini terjadi karena adanya tambahan oksigen dalam etanol yang menyediakan oksigen tambahan dalam ruang bakar. Dengan tambahan oksigen, proses pembakaran dapat terjadi lebih ideal, sehingga jumlah hidrokarbon yang tidak terbakar bisa diminimalkan. Pada 6000 RPM, selisih antara ketiga tipe bahan bakar masih tampak, menunjukkan bahwa etanol berperan positif dalam memperbaiki proses pembakaran. Saat kecepatan putaran mesin bertambah ke 5000 RPM sampai 8000 RPM, HC cenderung menurun dibanding 0% etanol, pada penambahan 40% etanol, HC turun sebanyak 42,69% sedangkan pada penambahan 45% HC turun 57,49%, pada 9000 RPM sampai 10.000 RPM setiap tipe, hidrokarbon (HC) mengalami peningkatan. Namun, peningkatan hidrokarbon (HC)

pada kandungan etanol 40% dan 45% masih dibawah gasoline murni. Peningkatan emisi hidrokarbon (HC) pada 9000 RPM sampai 10.000 RPM di akibatkan waktu pembakaran menjadi sangat singkat sehingga bahan bakar tidak terbakar secara keseluruhan. Namun, karakteristik etanol yang mudah menguap dan memiliki angka oktan tinggi membuat bahan bakar dapat terbakar lebih efektif, sehingga mengurangi pembentukan hidrokarbon yang belum terbakar.

## 5. Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)



**Gambar 6.** Garfik Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Grafik menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) lebih sedikit pada bahan bakar tanpa adanya campuran etanol dibandingkan dengan adanya campuran 40% dan 45% etanol. CO<sub>2</sub> meningkat seiring dengan bertambahnya putaran mesin dari RPM 5000, 6000, 7000, 8000, kemudian sedikit menurun pada RPM yang lebih tinggi (9000-10.000). Pada 5000 RPM sampai 8000 RPM, keluaran Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) mengalami peningkatan dibandingkan dengan 0% etanol, pada campuran 45% mencapai 38,25% dan diikuti campuran 40% sebesar 18,86%. Campuran etanol memberikan oksigen penambahan dalam komposisi bahan bakarnya, yang mempercepat reaksi oksidasi karbon di dalam ruang bakar. Akibatnya, lebih banyak karbon yang terbakar secara sempurna menjadi CO<sub>2</sub> dapat dibandingkan dengan emisi karbon monoksida (CO) atau hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar. Pada RPM tinggi (9000 dan 10.000) kandungan emisi CO<sub>2</sub> setiap presentase mengalami kenaikan dengan campuran bahan bakar yang kaya, Hal ini di sebabkan oleh waktu pembakaran lebih singkat, yang sering mengurangi efektivitas pembakaran. Namun, penurunan CO<sub>2</sub> pada campuran 40% dan 45% tidak melebihi gasoline ron 92 murni, yang artinya penambahan etanol pada bahan bakar dapat menghasilkan proses pembakaran yang mendekati ideal. Fenomena ini memperlihatkan bahwa meskipun kenaikan RPM awalnya

meningkatkan proses pembakaran, pada RPM yang terlalu tinggi terjadi penurunan. Oleh karena itu, hubungan antara RPM dan emisi CO<sub>2</sub> tidak selalu bersifat linier, tetapi memiliki titik optimal di mana proses pembakaran menghasilkan CO<sub>2</sub> maksimum.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini yang menggunakan penambahan etanol pada gasoline RON 92 dengan menggunakan sistem dual injeksi pada motor bakar 4-langkah terhadap profit emisi gas buang yang dihasilkan pada mesin satria FU 150cc, pada berbagai putaran mesin bahwa;

1. Penggunaan sistem dual injeksi mampu menjadi solusi pencampuran bahan bakar etanol dan Gasoline RON 92 tanpa mengalami permasalahan pemisahan fase (*phase separation*) yang biasanya terjadi pada metode pencampuran langsung di dalam tangki bahan bakar. Pencampuran terjadi di intake manifold sehingga homogenitas campuran bahan bakar lebih terjaga, sehingga dapat menurunkan kandungan emisi gas buang.
2. Hidrokarbon (HC), pada penambahan 40% etanol menurun 44,65%, penambahan 45% etanol menurun 56,55%, penurunan ini yang disebabkan homogenitas bahan bakar yang terjaga dan etanol dengan penggunaan sistem *dual* injeksi yang menyeprotkan bahan bakar dalam bentuk partikel-partikel kesil, membantu proses pembakaran mendekati ideal sehingga bahan bakar lebih banyak terbakar dibandingkan dengan yang di keluarkan ke knalpot.
3. Karbon monoksida (CO), pada penambahan 40% etanol menurun sebesar 24,03%, penambahan 45% menurun 47,54%, penurunan ini disebabkan Etanol sebagai bahan bakar yang mempunyai sifat pembakaran yang lebih unggul dibandingkan gasoline murni berkontribusi pada pencapaian pembakaran yang lebih konsisten dan didukung oleh sistem *dual* injeksi yang mempertahankan homogenitas campuran bahan bakar. Selain itu, karakteristik etanol yang mudah terbakar dan mengandung oksigen yang membantu proses pembakaran berlangsung lebih optimal, produksi CO bisa diminimalkan lebih lanjut.
4. Kenaikan pada emisi Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), pada penambahan 40% etanol naik sebesar



16,79%, dengan penambahan 45% etanol sebesar 35,40%, yang diakibatkan oleh homogenitas bahan bakar etanol dan gasoline dengan penggunaan sistem *dual* injeksi, oksigen yang terkandung di dalam etanol yang memungkinkan pengoksidasian bahan bakar di dalam ruang bakar lebih banyak terkonversi menjadi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

5. Nilai *Air-Fuel Ratio* (AFR) dan *Equivalence Ratio* menunjukkan perubahan seiring peningkatan persentase etanol. Kandungan oksigen yang terdapat pada etanol menyebabkan campuran udara-bahan bakar menjadi lebih mendekati kondisi pembakaran ideal.

## SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penambahan etanol 0%, 40% dan 45% dengan sistem dual injeksi sebagai Solusi pemisahan fase campuran etanol dan gasoline RON 92, untuk mengurangi emisi gas buang, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian jangka panjang mengenai pengaruh penggunaan etanol terhadap komponen sistem dual injeksi bahan bakar, seperti injector dan pompa bahan bakar untuk mengetahui tingkat ketahanan material terhadap penggunaan etanol berkadar tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwisari, V., Sudarti, & Yushardi. (2023). Pemanfaatan energi matahari: masa depan energi terbarukan. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 376–384.  
<https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3322>
- [2] Fahmiy, M. I., Wardana, I., & Udjito. (2022). Permodelan Etanol Sebagai Ron Booster Untuk Campuran Bahan Bakar Pertalite. *Seminar Nasional Teknologi Industri*, 9(1), 272–277.  
<https://journal.atim.ac.id/index.php/prosiding/article/view/338/258>
- [3] Jati, P. L., Siahaan, B., & Sukahir. (2022). Analisis Pengaruh Campuran Toluene Octane Booster Dengan Bahan Bakar Ron 92 Terhadap Daya Dan Emisi. *Prosiding SNITP*, 6(1), 1–7.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.46491/snitp.v6i1.1336>
- [4] Martin, A., & O'Malley, J. (2021). Kompatibilitas Campuran Bahan Bakar Etanol Pada Kendaraan Dan Mesin Berbahan Bakar Bensin Di Indonesia. In *ICCT WHITE PAPER*(pp.5–6).  
<https://theicct.org/sites/default/files/publications/Methanol-Indonesia-BH-dec21.pdf>
- [5] Naryanto, R. F. (2021). Teknik Pembakaran. In M. K. Delimayanti (Ed.), *Literasi Nusantara* (litera, pp. 71–75). Literasi Nusantara.  
<https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/4923/1/cover+TEKNIK+PEMBAKARAN.pdf>
- [6] Riwu, D. B. N., Tobe, A. Y., Adoe, D. G. H., Pah, J. C. A., & Metrisno, C. K. (2022). Karakteristik Pembakaran Premixed Campuran Bioetanol Dan Premium ( Gasoline ). *Lontar Jurnal Teknik Mesin Undana*, 09(01), 77–83.  
<http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU>
- [7] Royyan, M. A. D., Margianto, & Raharjo, A. (2025). Pengaruh Penambahan Metanol Pada Gasoline Ron 95 Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bakar 4-Langkah. *Jurnal Teknik Mesin*, 22(2).  
<https://jim.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/26747>
- [8] Yohana, E., Fatkhurrozak, F., & Sanjaya, F. L. (2024). Perancangan Skema Dual Port Injection Sistem Electric Control Unit Motor Spark Ignition. *Infotekmesi*, 15(01), 205–210.  
<https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v15i1.2157>