

**“PENGARUH PENGGUNAAN SISTEM COMMON RAIL TERHADAP EMISI GAS  
BUANG KENDARAAN BERMESIN DIESEL EURO 4”**

Fajar Setyo Nugroho<sup>1</sup>, Komarudin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Dian Nusantara

Email: [511211069@mahasiswa.undira.ac.id](mailto:511211069@mahasiswa.undira.ac.id)<sup>1</sup>, [komarudin@undira.ac.id](mailto:komarudin@undira.ac.id)<sup>2</sup>

**Abstrak:** Peningkatan penggunaan kendaraan bermotor berdampak pada penurunan kualitas udara akibat emisi seperti Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), dan Partikulat (PM). Salah satu teknologi kunci untuk mengatasinya adalah sistem injeksi Common Rail pada mesin diesel modern. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh sistem Common Rail terhadap tingkat emisi gas buang pada mesin diesel Euro 4 dan membandingkannya dengan mesin konvensional Euro 2. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menguji emisi secara langsung pada dua mesin Isuzu: 4JJ1-TC (Common Rail, Euro 4) dan 4JB1-TC (konvensional, Euro 2) pada putaran 700-3500 rpm. Parameter yang diukur meliputi CO, HC, PM, dan kepekatan asap (HSU). Hasil menunjukkan bahwa mesin Euro 4 dengan Common Rail secara signifikan lebih unggul dalam menekan emisi. Rata-rata emisi CO (0,14 g/km), HC (0,23 g/km), dan PM (0,0350 g/km) pada mesin Euro 4 jauh lebih rendah dibandingkan mesin Euro 2 (CO 0,32 g/km; HC 0,31 g/km; PM 0,04580 g/km). Disimpulkan, sistem Common Rail sangat efektif mengurangi emisi gas buang melalui proses pembakaran yang lebih efisien dan sempurna, sehingga mampu memenuhi standar regulasi Euro 4 dan berkontribusi positif bagi lingkungan.

**Kata Kunci:** Emisi Gas Buang, Mesin Diesel, Common Rail, Euro 4, Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Particulate Matter (PM).

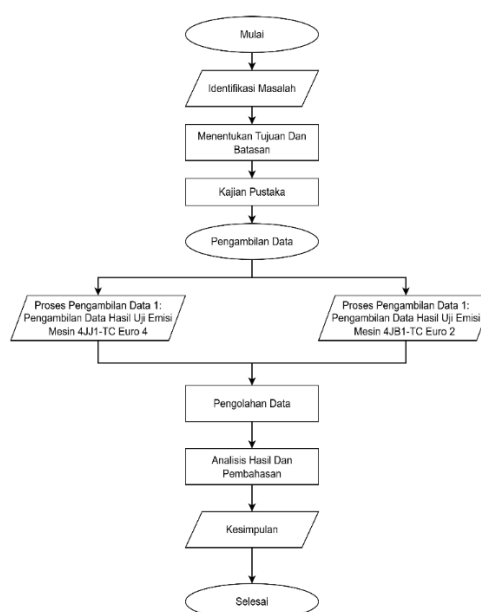
**Abstract:** The increasing use of motorized vehicles has an impact on decreasing air quality due to emissions such as Carbon Monoxide (CO), Hydrocarbons (HC), and Particulates (PM). One of the key technologies to overcome this is the Common Rail injection system in modern diesel engines. This study aims to analyze the effect of the Common Rail system on exhaust gas emission levels in Euro 4 diesel engines and compare it with conventional Euro 2 engines. The research methodology uses a quantitative approach by testing emissions directly on two Isuzu engines: 4JJ1-TC (Common Rail, Euro 4) and 4JB1-TC (conventional, Euro 2) at 700-3500 rpm. The parameters measured include CO, HC, PM, and smoke density (HSU). The results show that the Euro 4 engine with Common Rail is significantly superior in reducing emissions. Average emissions of CO (0.14 g/km), HC (0.23 g/km), and PM (0.0350 g/km) in Euro 4 engines are significantly lower than those in Euro 2 engines (CO 0.32 g/km; HC 0.31 g/km; PM 0.04580 g/km). In conclusion, the Common Rail system is highly effective in reducing exhaust emissions through a more efficient and complete combustion process, thus meeting Euro 4 regulatory standards and contributing positively to the environment.

**Keywords:** *Exhaust Emissions, Diesel Engine, Common Rail, Euro 4, Carbon Monoxide (CO), Hydrocarbons (HC), Particulate Matter (PM)*

## PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan bahan bakar minyak akan berdampak pada penurunan kualitas udara oleh proses pembakaran bahan bakar fosil, yaitu partikulat dan gas buang seperti CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S. (Van Harling, 2019). Emisi Euro 4 adalah standar emisi yang ditetapkan oleh Uni Eropa untuk mengurangi polutan berbahaya yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Standar ini mulai berlaku di Eropa pada tahun 2005 dan mencakup batasan ketat untuk emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), hidrokarbon (HC), dan partikel (PM). Standar emisi Euro 4 bertujuan untuk mengurangi jumlah polutan yang dihasilkan oleh kendaraan, termasuk karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan partikel (PM). Penerapan teknologi mesin yang lebih efisien dan sistem kontrol emisi yang canggih diharapkan dapat menurunkan emisi gas buang secara signifikan. Standar emisi Euro 4 salah satu langkah penting dalam upaya mengurangi polusi udara dari kendaraan bermotor. Menurut Badan Lingkungan Hidup (BLH) Indonesia, polusi udara di kota-kota besar telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan.

## METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir

1. Prosedur Pengambilan Data

Penelitian kuantitatif deskriptif ini menganalisis pengaruh sistem common rail terhadap emisi gas buang. Data emisi diukur dari mesin diesel Isuzu Euro 2 (konvensional 4JB1-TC) dan Euro 4 (common rail 4JJ1-TC). Perbedaan emisi kemudian dianalisis secara statistik menggunakan uji-t untuk membuktikan pengaruh sistem common rail dalam mengurangi emisi.

2. Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk semua perhitungan emisi gas buang pada kendaraan isuzu yang dilakukan menggunakan alat uji emisi dengan model TEXA SPA OPABOX Autopower dengan nomor seri GOBOT005823 bernomor sertifikasi persetujuan OM00372EST001b/NET2.

3. Spesifikasi Data kendaraan Penelitian

a) Mesin Isuzu 4JB1-TC

Mesin 4JB1-TC adalah mesin diesel turbocharger dengan intercooler yang banyak digunakan pada kendaraan komersial ringan Isuzu, terutama seri Isuzu Elf (NKR, NLR, dll.) di berbagai generasi.

b) Mesin Isuzu 4JJ1-TC

Mesin diesel **4JJ1-TC** merupakan penerus seri 4JB1 yang lebih modern, bertenaga, dan efisien. Mesin ini menggunakan teknologi **DOHC Common Rail** dengan **VGS Turbo Intercooler** untuk kontrol injeksi yang presisi. Dilengkapi sistem **EGR** dan **DOC** untuk memenuhi standar emisi **Euro 4**, mesin ini banyak ditemukan pada **Isuzu D-Max, MU-X, dan Isuzu Elf baru**

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil Pengujian Emisi Gas Buang**

Pengujian emisi gas buang dilakukan menggunakan alat uji emisi standar yang terkalibrasi, mengukur parameter Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Particulate Matter (PM), dan Hartridge Smoke Unit (HSU%).

**A. Data Hasil Uji Emisi Mesin 4JJ1-TC (Euro 4)**

Berikut adalah 10 data hasil pengecekan uji emisi simulasi untuk mesin Isuzu 4JJ1-TC (Euro 4). Data ini menggambarkan performa emisi yang diharapkan dari mesin Common Rail yang optimal dengan data batas ambang yang ditentukan sebagai berikut:

- CO (Karbon Monoksida): 0.50 g/km
- HC (Hidrokarbon): 0.30 g/km
- PM (Particulate Matter): 0.025 g/km
- HSU (Hartridge Smoke Unit): <30%

**B. Data Hasil Uji Emisi Mesin 4JJ1-TC (Euro 4)**

**Tabel 1 Hasil Uji Emisi Mesin 4JJ1-TC (Euro 4)**

Data Uji	Mesin Type	Standar Emisi	CO g/km	HC g/km	PM g/km	HSU Persen
1	4JJ1-TC	Euro 4	0.12	0,20	0,03	10
2	4JJ1-TC	Euro 4	0.15	0,25	0,04	12
3	4JJ1-TC	Euro 4	0.13	0,22	0,03	11
4	4JJ1-TC	Euro 4	0.18	0,16	0,05	15
5	4JJ1-TC	Euro 4	0.10	0,18	0,02	9
6	4JJ1-TC	Euro 4	0.16	0,27	0,04	14
7	4JJ1-TC	Euro 4	0.11	0,19	0,02	10
8	4JJ1-TC	Euro 4	0.19	0,23	0,06	16
9	4JJ1-TC	Euro 4	0.14	0,24	0,03	12
10	4JJ1-TC	Euro 4	0.12	0,21	0,03	11

**C. Statistik Hasil Emisi Gas Buang Pada Mesin Euro 4**

Pada Gambar 2 dibawah menyajikan data hasil pengujian emisi gas buang pada kendaraan Euro 4 yang menggunakan mesin Isuzu 4JJ1-TC dengan sistem injeksi *common rail*. Empat parameter utama yang diukur adalah kadar Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Particulate Matter (PM) dan tingkat kepekatan asap (*Hartridge Smoke Unit* - HSU).

Statistics		CO	HC	PM	HSU
N	Valid	10	10	10	10
	Missing	0	0	0	0
Mean		0.1400	0.2150	0.0350	12.00
Median		0.1350	0.2150	0.0300	11.50
Std. Deviation		0.02981	0.03375	0.01269	2.309
Minimum		0.10	0.16	0.02	9
Maximum		0.19	0.27	0.06	16

Gambar 2 Statistik Hasil Emisi Gas Buang Pada Mesin Euro 4

1. Analisis Kadar Karbon Monoksida (CO)

Pada Gambar 2 Kadar Karbon Monoksida (CO), sebagai indikator utama efisiensi pembakaran, tercatat sangat rendah pada level 0,14 g/km dalam uji emisi kendaraan Euro 4. Hasil ini membuktikan proses pembakaran di dalam mesin berlangsung nyaris sempurna dan berada jauh di bawah ambang batas emisi yang ditetapkan.

2. Analisis Kadar Hidrokarbon (HC)

Pada Gambar 2 Analisis emisi Hidrokarbon (HC)—sisa bahan bakar yang tidak terbakar menunjukkan efisiensi pembakaran yang sangat tinggi. Dengan rata-rata emisi hanya 0,21 g/km, performa mesin ini secara signifikan melampaui standar emisi yang ketat seperti Euro 4.

3. Analisis Kadar Particulate Matter (PM)

Pada Gambar 2 Teknologi *common rail* secara signifikan mengendalikan emisi *Particulate Matter* (PM) mesin diesel (rata-rata 0,0350 g/km). Sistem ini menggunakan tekanan injeksi tinggi untuk memastikan pembakaran efisien dan menekan asap, bahkan pada putaran mesin tinggi.

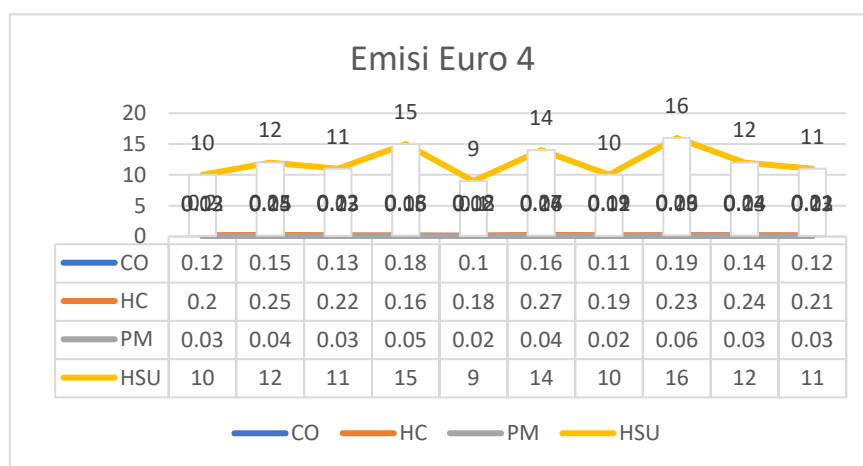
4. Analisis Kepekatan Asap (HSU)

Teknologi **common rail** pada mesin diesel **Euro 4** menggunakan injeksi bahan bakar bertekanan tinggi untuk menghasilkan pembakaran yang lebih efisien. Hasilnya

dengan rata rata 12%, emisi asap partikulat dapat ditekan secara signifikan, bahkan saat mesin berakselerasi di putaran tinggi.

**D. Hasil grafik Emisi Gas Buang Pada Mesin 4JJ1-TC Euro 4**

Pada Grafik 1 ini menyajikan data hasil pengujian emisi gas buang dari mesin diesel 4JJ1-TC yang telah memenuhi standar Euro 4. Terdapat 10 kali pengujian ini mengukur empat parameter utama pada beberapa titik uji yang berbeda.



Grafik 1 Hasil grafik Emisi Gas Buang Pada Mesin 4JJ1-TC Euro 4

Berikut adalah penjelasan untuk setiap komponen dalam grafik:

**a) Parameter yang Diukur**

Ada empat jenis emisi yang diukur, masing-masing direpresentasikan oleh warna yang berbeda:

Grafik ini mengukur empat jenis emisi dengan representasi warna yang berbeda:

- **CO (Karbon Monoksida) - Biru:** Gas beracun dari pembakaran tidak sempurna, dengan nilai 0,10-0,19.
- **HC (Hidrokarbon) - Merah:** Sisa bahan bakar yang tidak terbakar, dengan nilai 0,16-0,27.
- **PM (Partikulat) - Hijau:** Jelaga dari pembakaran diesel, dengan nilai 0,02-0,06.
- **HSU (Kepekatan Asap) - Garis Ungu:** Tingkat kegelapan asap knalpot, dengan nilai berfluktuasi antara 9-16.

b) Analisis Tren dan Data

**Analisis Hasil Uji Emisi**

- **Fluktuasi Emisi:** Tingkat emisi bervariasi karena pengujian mensimulasikan berbagai kondisi berkendara (perubahan RPM dan beban mesin), dan ini adalah hal yang wajar.
- **Puncak Emisi:** Puncak emisi tertinggi terjadi pada pengujian ke-10, di mana **HSU** (16) dan **CO** (0,19) mencapai nilai maksimum, sementara **HC** dan **PM** juga berada di level yang sangat tinggi.

**Korelasi Antar Emisi:**

- **HSU & PM:** Terdapat korelasi positif; kenaikan tingkat kepekatan asap (**HSU**) sejalan dengan kenaikan partikulat (**PM**), karena asap diesel pada intinya adalah partikel jelaga.
- **HSU & CO:** Puncak **HSU** dan **CO** yang terjadi bersamaan menandakan adanya proses pembakaran yang tidak efisien atau terlalu kaya bahan bakar.

1) Data Hasil Uji Emisi Mesin 4JB1-TC (Euro 2) - Kelompok Kontrol/Pembanding

Disajikan 10 data simulasi uji emisi dari mesin Isuzu 4JB1-TC (Euro 2). Data ini merupakan acuan performa mesin non-Common Rail untuk perbandingan dengan mesin Common Rail sesuai ambang batas berikut

- **CO** (Karbon Monoksida): 1.00 g/km
- **HC** (Hidrokarbon): 0.70 g/km
- **PM** (Particulate Matter): 0.080 g/km
- **HSU** (Hartridge Smoke Unit): <60%

2) Data Hasil Uji Emisi Mesin 4JB1-TC (Euro 2)

**Tabel 2 Hasil Uji Emisi Mesin 4JB1-TC (Euro 2)**

Data Uji	Mesin Type	Standar Emisi	CO g/km	HC g/km	PM g/km	HSU Persen
1	4JB1-TC	Euro 2	0,28	0,38	0.038	30
2	4JB1-TC	Euro 2	0,35	0,45	0.036	35

3	4JB1-TC	Euro 2	0,30	0,40	0.040	32
4	4JB1-TC	Euro 2	0,38	0,28	0.045	38
5	4JB1-TC	Euro 2	0,25	0,35	0.042	28
6	4JB1-TC	Euro 2	0,37	0,27	0.051	36
7	4JB1-TC	Euro 2	0,27	0,30	0.059	29
8	4JB1-TC	Euro 2	0,39	0,29	0.054	39
9	4JB1-TC	Euro 2	0,33	0,23	0.056	34
10	4JB1-TC	Euro 2	0,30	0,20	0,037	31

### 3) Statistik Hasil Emisi Gas Buang Pada Mesin Euro 2

Gambar 3 menyajikan data uji emisi dari mesin Isuzu 4JB1-TC (Euro 4) dengan injeksi konvensional. Pengujian mencakup empat parameter: Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Partikulat (PM), dan kepekatan asap (HSU).

Statistics		CO	HC	PM	HSU
N	Valid	10	10	10	10
	Missing	0	0	0	0
Mean		0.3220	0.3150	0.04580	33.20
Median		0.3150	0.2950	0.04350	33.00
Std. Deviation		0.04917	0.07849	0.008535	3.795
Minimum		0.25	0.20	0.036	28
Maximum		0.39	0.45	0.059	39

**Gambar 3 Statistik Hasil Emisi Gas Buang Pada Mesin Euro 2**

#### 1. Analisis Kadar Karbon Monoksida (CO)

Pada Gambar 3 Uji emisi CO, sebagai indikator efisiensi pembakaran, menunjukkan bahwa kendaraan Euro 2 memiliki kadar emisi rata-rata 0,32 g/km, yang menurun seiring kenaikan putaran mesin. Angka ini jauh lebih tinggi dari rata-rata emisi Euro 4 sebesar 0,14 g/km, yang menyoroti keberhasilan implementasi teknologi **common rail** dalam mengurangi emisi.



2. Analisis Kadar Hidrokarbon (HC)

Pada Gambar 3 Hidrokarbon (HC) adalah indikator efisiensi pembakaran dari sisa bahan bakar yang tidak terbakar. Hasil pengukuran menunjukkan emisi HC sebesar **0,31 g/km**. Nilai ini lebih tinggi dari standar Euro 4 yaitu 0,23 g/km, yang membuktikan bahwa efisiensi pembakaran pada teknologi *common rail* Euro 4 jauh lebih superior dalam menekan emisi HC.

3. Analisis Kadar Particulate Matter (PM)

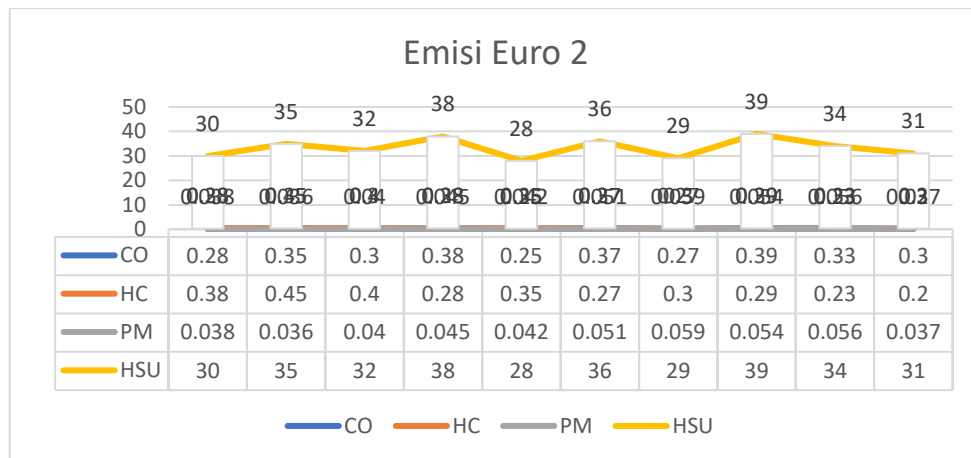
Penelitian ini mengukur emisi Particulate Matter (PM) atau jelaga dari mesin diesel, dengan hasil rata-rata **0,04580 g/km**. Tingkat emisi ini melampaui mesin standar Euro 4 (0,0350 g/km) dan menjadi masalah utama pada mesin Euro 2 berinjeksi konvensional, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.

4. Analisis Kepekatan Asap (HSU)

Pada Gambar 3 Penelitian ini mengukur **kepekatan asap** dalam *Hartridge Smoke Unit* (HSU) sebagai indikator emisi partikulat (jelaga). Hasil pengujian menunjukkan emisi HSU pada mesin Euro 2 sangat tinggi (rata-rata **33,2%**), jauh melampaui mesin Euro 4 (rata-rata **12%**). Peningkatan HSU yang signifikan seiring naiknya putaran mesin membuktikan bahwa emisi partikulat adalah masalah utama pada mesin Euro 2, yang disebabkan oleh ketidakefektifan sistem injeksi konvensional.

4) Hasil grafik Emisi Gas Buang Pada Mesin Euro 2

Pada Grafik 2 ini menampilkan hasil pengujian emisi dari mesin diesel model 4JB1-TC yang telah memenuhi standar emisi Euro 2. Terdapat 10 kali pengujian yang ditampilkan, dengan empat parameter yang diukur pada setiap pengujian.



**Grafik 2 Grafik Hasil Uji Emisi Mesin 4JB1-TC Euro 2**

Parameter yang Diukur:

1. CO (Karbon Monoksida): Diwakili oleh balok biru. Gas dari pembakaran tidak sempurna, diukur dalam g/km
2. HC (Hidrokarbon): Diwakili oleh balok merah. Sisa bahan bakar yang tidak terbakar.
3. PM (Particulate Matter / Partikulat): Diwakili oleh balok hijau. Jelaga atau partikel padat kecil dari mesin diesel.
4. HSU (Hartridge Smoke Unit): Diwakili oleh garis ungu. Satuan untuk mengukur kepekatan asap knalpot.

Analisis Data pada Grafik:

- Kepekatan Asap (HSU):  
Nilai *Hartridge Smoke Unit* (HSU) berfluktuasi antara 28 dan 39, dan menunjukkan korelasi positif dengan emisi Karbon Monoksida (CO). Saat HSU berada di titik terendah (28), emisi CO juga minimal (0,25), begitu pula sebaliknya saat HSU mencapai puncak (39), emisi CO juga maksimal (0,39).
- Emisi Karbon Monoksida (CO):  
Emisi CO (balok biru) bervariasi, dengan nilai terendah 0,25 dan tertinggi 0,39. Variasi ini menunjukkan bahwa efisiensi pembakaran mesin sedikit berubah-ubah selama pengujian.
- Emisi Hidrokarbon (HC):

Emisi HC (balok merah) juga menunjukkan variasi yang signifikan. Nilai tertinggi tercatat sebesar 0,45 pada pengujian kedua, dan nilai terendah sebesar 0,2 pada pengujian terakhir.

- Emisi Partikulat (PM):

Emisi PM (balok hijau) secara konsisten sangat rendah (berkisar 0,036-0,059) pada semua pengujian, menunjukkan hasil yang sangat baik dan telah memenuhi standar Euro 2.

### Pembahasan Hasil Analisis Kuantitatif

Pembahasan ini akan menganalisis perbedaan emisi gas buang antara mesin 4JJ1-TC (Common Rail Euro 4) dan 4JB1-TC (Euro 2) menggunakan data dari tabel di atas. Analisis kuantitatif akan fokus pada perbandingan rata-rata.

- Perbandingan Emisi CO dan HC

One-Sample Statistics				
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CO_E2	10	0.3220	0.04917	0.01555
CO_E4	10	0.1400	0.02981	0.00943
HC_E2	10	0.3150	0.07849	0.02482
HC_E4	10	0.2150	0.03375	0.01067

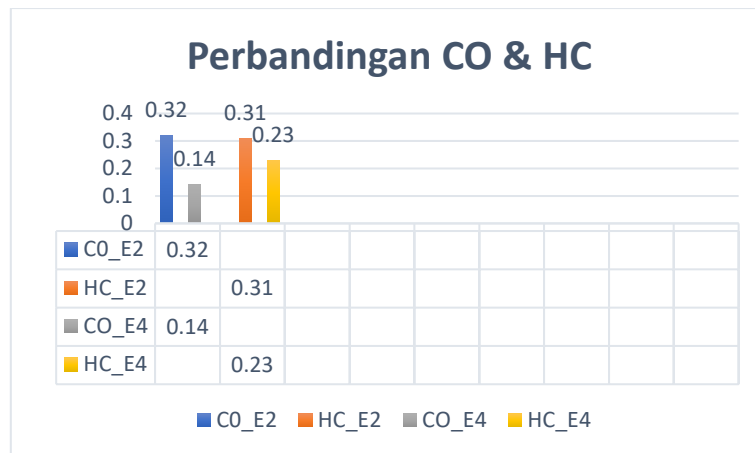
Gambar 4 Perbandingan Emisi CO dan HC

a) Mesin 4JJ1-TC (Common Rail Euro 4):

Mesin **4JJ1-TC (Euro 4)** menghasilkan emisi CO (0.14 g/km) dan HC (0.21 g/km) yang sangat rendah. Ini berkat sistem *common rail* bertekanan tinggi yang menyempurnakan atomisasi bahan bakar, sehingga pembakaran menjadi sangat efisien dan meminimalkan emisi.

b) Mesin 4JB1-TC (Euro 2):

Emisi CO (~0,32 g/km) dan HC (~0,31 g/km) mesin 4JB1-TC lebih tinggi dari mesin menjadi penyebabnya, meskipun perawatan rutin dapat mengoptimalkan kinerjanya. Common Rail Euro 4. Keterbatasan teknologi pada sistem injeksi mekanis.



**Grafik 3 Grafik Perbandingan CO & HC**

Pada Grafik 3 membandingkan emisi Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) antara kondisi pengujian E2 dan E4.

1. Data Emisi pada Kondisi E2:
  - Kadar CO (CO\_E2): Bar biru menunjukkan nilai emisi CO sebesar 0,32.
  - Kadar HC (HC\_E2): Bar merah menunjukkan nilai emisi HC sebesar 0,31.
  - *Observasi:* Pada kondisi E2, tingkat emisi CO dan HC hampir sama tinggi.
2. Data Emisi pada Kondisi E4:
  - Kadar CO (CO\_E4): Bar hijau menunjukkan nilai emisi CO sebesar 0,14.
  - Kadar HC (HC\_E4): Bar ungu menunjukkan nilai emisi HC sebesar 0,23.
  - *Observasi:* Pada kondisi E4, tingkat emisi HC lebih tinggi daripada emisi CO.

Dari perbandingan kedua kondisi tersebut, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting:

- **Penurunan Emisi CO:** Terjadi penurunan emisi CO yang sangat signifikan saat beralih dari kondisi E2 ke E4, yaitu dari 0,32 menjadi 0,14. Ini menunjukkan penurunan lebih dari 50%.
- **Penurunan Emisi HC:** Emisi HC juga mengalami penurunan dari kondisi E2 ke E4, yaitu dari 0,31 menjadi 0,23. Meskipun terjadi penurunan, persentasenya tidak sebesar penurunan pada emisi CO.

Kondisi E4 secara signifikan lebih unggul dalam menekan emisi CO dan HC dibanding E2, khususnya pada penurunan drastis emisi Karbon Monoksida (CO).

- Perbandingan Emisi PM dan HSU%

**One-Sample Statistics**

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
PM_E2	10	0.04580	0.008535	0.002699
PM_E4	10	0.0350	0.01269	0.00401
HSU_E2	10	33.20	3.795	1.200
HSU_E4	10	12.00	2.309	0.730

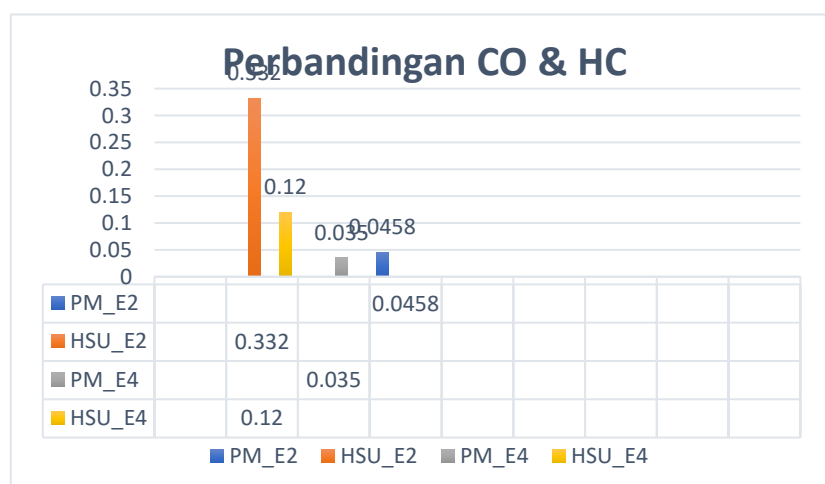
**Gambar 5 Perbandingan Emisi PM dan HSU%**

- Mesin 4JJ1-TC (Common Rail Euro 4):

Sistem **Common Rail** dan **DOC** berhasil menekan emisi secara drastis, dengan rata-rata Particulate Matter (PM) hanya **0,0350 g/km** dan opasitas asap (HSU) **12%**. Keberhasilan ini dicapai berkat kemampuan Common Rail dalam **mengabutkan bahan bakar** menjadi partikel super halus dan **strategi injeksi presisi** yang mencegah pembentukan jelaga.

- Mesin 4JB1-TC (Euro 2):

Meskipun membaik pasca-servis, emisi PM (~0,046 g/km) dan HSU (33,2%) masih jauh lebih tinggi dibanding mesin Common Rail. Ini karena injeksi mekanis kurang presisi dalam pengabutan bahan bakar untuk menekan partikulat.



**Grafik 4 Grafik Perbandingan CO & HC**

Pada Grafik 4 ini menyajikan perbandingan empat nilai yang berbeda, yang kemungkinan besar merepresentasikan kadar emisi Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) dalam kondisi atau pengujian yang berbeda. Keempat kondisi tersebut diberi label PM\_E2, HSU\_E2, PM\_E4, dan HSU\_E4.

1. Rincian Nilai Data

Grafik menunjukkan nilai kuantitatif untuk setiap kategori sebagai berikut:

- HSU\_E2 (batang merah): 0,332
- HSU\_E4 (batang ungu): 0,12
- PM\_E2 (batang biru): 0,0458
- PM\_E4 (batang hijau): 0,035

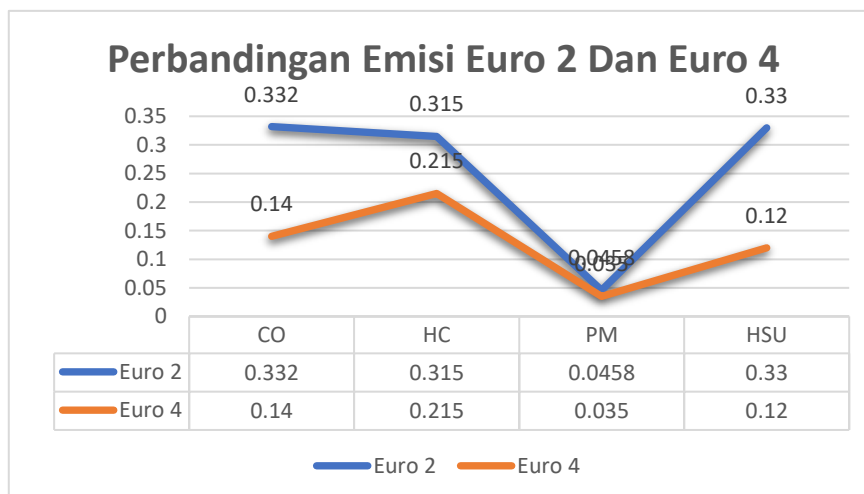
2. Observasi dan Perbandingan Utama

- Nilai Tertinggi dan Terendah:
  - Nilai tertinggi secara signifikan ditunjukkan oleh HSU\_E2 dengan angka 0,332.
  - Nilai terendah adalah PM\_E4 dengan angka 0,035.
- Perbandingan antara Kondisi "HSU" dan "PM":
  - Untuk kategori "E2", nilai HSU\_E2 (0,332) jauh lebih tinggi (sekitar 7 kali lipat) dibandingkan PM\_E2 (0,0458).
  - Untuk kategori "E4", nilai HSU\_E4 (0,12) juga jauh lebih tinggi (sekitar 3,4 kali lipat) dibandingkan PM\_E4 (0,035).
  - Ini menunjukkan bahwa dalam kedua set pengujian (E2 dan E4), kondisi "HSU" menghasilkan emisi yang jauh lebih besar daripada kondisi "PM".
- Perbandingan antara Kondisi "E2" dan "E4":
  - Saat membandingkan kondisi "HSU", nilai pada HSU\_E2 (0,332) hampir tiga kali lebih tinggi daripada HSU\_E4 (0,12).
  - Saat membandingkan kondisi "PM", nilai pada PM\_E2 (0,0458) sedikit lebih tinggi daripada PM\_E4 (0,035).

- Ini mengindikasikan bahwa kondisi pengujian "E4" menghasilkan tingkat emisi yang lebih rendah dibandingkan "E2", baik untuk "HSU" maupun "PM".

Berdasarkan hasil grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi HSU secara konsisten menghasilkan tingkat emisi (CO & HC) yang jauh lebih tinggi daripada kondisi PM.
  2. Kondisi E4 tampaknya lebih efektif dalam mengurangi emisi dibandingkan kondisi E2 pada kedua skenario (HSU dan PM).
  3. Kombinasi PM\_E4 menghasilkan tingkat emisi paling rendah, menjadikannya kondisi yang paling optimal di antara keempat pilihan jika tujuannya adalah untuk meminimalkan emisi CO & HC. Sebaliknya, kondisi HSU\_E2 adalah yang paling buruk karena menghasilkan emisi tertinggi
- Pengaruh Sistem Common Rail terhadap Standar Euro 4  
Sistem Common Rail terbukti esensial untuk memenuhi standar emisi Euro 4. Berdasarkan Grafik 5, emisi mesin 4JJ1-TC (dengan Common Rail) jauh di bawah ambang batas. Sementara itu, mesin konvensional 4JB1-TC tidak mampu mencapai standar tersebut, dengan emisi PM dan HSU% yang sangat tinggi. Ini menegaskan Common Rail bukan sekadar peningkatan, melainkan sebuah keharusan teknologi.



**Grafik 5 Grafik Perbandingan Emisi Euro 2 dan Euro 4**

Garis biru merepresentasikan emisi dari standar Euro 2, sedangkan garis merah merepresentasikan emisi dari standar Euro 4.

Poin-Poin Utama dari Grafik:

1. Emisi Karbon Monoksida (CO)
  - Euro 2: Menghasilkan emisi CO sebesar 0,332.
  - Euro 4: Menghasilkan emisi CO sebesar 0,14.
  - Analisis: Terlihat penurunan emisi CO yang sangat signifikan pada standar Euro 4, yaitu lebih dari setengahnya dibandingkan Euro 2. Ini menunjukkan bahwa teknologi pada standar Euro 4 jauh lebih efektif dalam mengurangi gas CO yang beracun.
2. Emisi Hidrokarbon (HC)
  - Euro 2: Menghasilkan emisi HC sebesar 0,315.
  - Euro 4: Menghasilkan emisi HC sebesar 0,215.
  - Analisis: Standar Euro 4 juga berhasil menurunkan emisi HC (sisa bahan bakar yang tidak terbakar sempurna) secara cukup besar dibandingkan dengan Euro 2.
3. Emisi Materi Partikulat (PM)
  - Euro 2: Menghasilkan emisi PM sebesar 0,0458.
  - Euro 4: Menghasilkan emisi PM sebesar 0,035.
  - Analisis: Terdapat penurunan emisi partikel debu halus (PM) pada standar Euro 4. Meskipun penurunannya tidak sedrastis CO, ini tetap menunjukkan adanya perbaikan dalam teknologi pembakaran atau penyaringan gas buang.
4. Tingkat Kepekatan Asap (HSU)
  - Euro 2: Memiliki tingkat kepekatan asap sebesar 0,33.
  - Euro 4: Memiliki tingkat kepekatan asap sebesar 0,12.
  - Analisis: Sama seperti CO, terjadi penurunan yang sangat drastis pada tingkat kepekatan asap. Kendaraan berstandar Euro 4 menghasilkan asap yang jauh lebih tipis dan bersih dibandingkan Euro 2.



- **Implikasi Penelitian**

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting:

1. **Validasi Hipotesis:**

Pada studi kuantitatif ini menunjukkan sistem *Common Rail* berhasil menurunkan emisi diesel (CO, HC, PM, HSU%) untuk mencapai standar Euro 4.

2. **Peran Teknologi Injeksi:**

jenis sistem injeksi (*Common Rail* vs. Mekanis) secara dominan menentukan profil emisi mesin diesel, terlepas dari kualitas perawatannya.

3. **Prioritas Kebijakan:**

Untuk kualitas udara yang lebih baik, kebijakan harus mendorong adopsi diesel *Common Rail* dengan standar emisi tinggi.

4. **Pentingnya Servis:**

Meskipun ada teknologi yang lebih unggul, perawatan rutin pada mesin 4JB1-TC terbukti vital untuk menekan emisi dan dampak lingkungannya.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Berdasarkan analisis data, mesin diesel Isuzu Euro 4 dengan sistem *Common Rail* terbukti secara signifikan lebih unggul dalam mengurangi emisi gas buang dibandingkan mesin Euro 2 konvensional. Sistem ini berhasil menekan emisi Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Partikulat (PM), dan terutama mengurangi kepekatan asap secara drastis. Keunggulan ini disebabkan oleh kemampuan *Common Rail* menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna melalui injeksi bahan bakar bertekanan tinggi yang terkontrol secara elektronik.

### **Saran**

1. Untuk Industri Otomotif dan Pemerintah: Percepat adopsi teknologi *Common Rail* pada kendaraan diesel melalui regulasi emisi yang ketat (standar Euro 4 atau lebih tinggi) serta insentif bagi produsen dan konsumen.

2. Untuk Pengguna Kendaraan: Lakukan perawatan rutin pada sistem injeksi Common Rail dan selalu gunakan bahan bakar diesel berkualitas tinggi (rendah sulfur) untuk menjaga performa mesin dan menekan emisi.
3. Untuk Penelitian Selanjutnya:
  - Analisis dampak penggunaan variasi bahan bakar (seperti Biodiesel) terhadap emisi.
  - Ukur emisi pada kondisi nyata (uji jalan/beban penuh), tidak hanya dalam kondisi stasioner.
  - Kaji perbandingan biaya perawatan jangka panjang antara sistem.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Azky, Rohman. 2019. Analisis Emisi Gas Buang Terhadap Tahun Pembuatan dan Merk Mobil Barang Bak Terbuka di UPT Pengelola Prasarana Perhubungan Kota Malang, Laporan Tugas Akhir. Tegal : Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
- Dewan Energi Nasional. (2019). Indonesia Energy Outlook 2019. Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), pp. 1689–1699
- Haryono, I., Uttariyani, I., dan Yubaidah, S. (2016). Emisi Smoke dan Keausan Logam pada Pelumas Kendaraan Truk Berbahan Bakar Biodiesel Duapuluh Persen.
- Hidayat, W. (2015). Rancang Bangun Alat Uji Emisi Portabel Gas CO, Nox, Dan HC Pada Kendaraan Bermotor: Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Indonesia, S. N., dan Nasional, B. (2005). Emisi gas buang-Sumber bergerak-Bagian 2: Cara uji kendaraan bermotor kategori M, N, dan O berpenggerak penyalan kompresi pada kondisi akselerasi bebas.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1407/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Pedoman Pengendalian Dampak Pencemaran Udara.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-15/MENLH/4/1996 TENTANG PROGRAM LANGIT BIRU.
- MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA.
2023. Tentang Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, Kategori N, Kategori O, Dan Kategori L. July, 1–23.
- Tugaswati, A. T., 2008, Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Dampaknya Terhadap Kesehatan

- Winarno, Joko. 2014, Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin pada Berbagai Merk Kendaraan dan Tahun Pembuatan, Jurnal Teknik
- Denso Corporation. 2009. *Common Rail System for Heavy-Duty Vehicles*. Jepang: DENSO Techno Co., Ltd.
- Hino Motors, Ltd. 2012. *Common Rail System (CRS) Service Manual: Operation*. Hino Motors, Ltd ["What are the Euro Emissions Standards?"](#). Stratstone. Retrieved 4 October 2021 ["Euro 6 Guide to Emission Standards \(2022 Update\) | Motorway \(2022\)"](#). Unbate. 28 April 2022. Retrieved 25 July 2022.
- ["Emission Standards » European Union » Cars and Light Trucks"](#). DieselNet. January 2015. Retrieved 23 September 2015