

# The Influence of Spark Plug and Fuel Types Variations to Exhaust Gas Emissions in 150 CC Four Stroke Motorcycles

## [Pengaruh Variasi Jenis Busi dan Variasi Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor 4 Tak 150 CC]

M.Ady Setiawan<sup>1)</sup>, A'rasy Fahrudin<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: arasy.fahrudin@umsida.ac.id

**Abstract.** The transportation sector is one of the major contributors to exhaust emissions that impact public health and the environment therefore, efforts to improve combustion quality are necessary. This study aims to analyze the effect of spark plug types and fuel variations on the exhaust emissions of a 150 cc four-stroke motorcycle. The method used was a quantitative experimental approach with variations of standard, silver, and iridium spark plugs, as well as PG RON 95 and PT RON 98 fuels at engine speeds of 1500, 3000, and 5500 rpm. The measured parameters included HC, CO, CO<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub> levels. The results showed that the lowest HC and CO levels were 64.33 ppm and 0.09% using an iridium spark plug with PG RON 95 at 1500 rpm, while the highest values were 351.33 ppm and 0.54% using a standard spark plug with PT RON 98 bo at 5500 rpm. The highest CO<sub>2</sub> level was 14.63% and the lowest was 5.93%, while the highest O<sub>2</sub> level was 5.20% and the lowest was 1.80%. The iridium spark plug with PG RON 95 was most effective in reducing emissions.

**Keywords** - Exhaust Gas Emissions, Spark Plug Type, Fuel Variation. Abstrak

**Abstrak.** Sektor transportasi merupakan penyumbang emisi gas buang yang berdampak terhadap kesehatan dan lingkungan sehingga diperlukan upaya peningkatan kualitas pembakaran mesin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jenis busi dan bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor empat langkah 150 cc. Metode yang dipakai adalah eksperimen kuantitatif dengan variasi busi standar, perak, dan iridium serta bahan bakar PG RON 95 dan PT RON 98 pada putaran 1500, 3000, dan 5500 rpm. Parameter yang diukur meliputi kadar HC, CO, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub>. Hasil memperlihatkan kadar HC dan CO terendah sebesar 64,33 ppm dan 0,09% pada busi iridium dengan PG RON 95 pada 1500 rpm, sedangkan tertinggi 351,33 ppm dan 0,54% pada busi standar dengan PT RON 98 pada 5500 rpm. Nilai CO<sub>2</sub> tertinggi sebesar 13,43% dan terendah 10,09%, sedangkan O<sub>2</sub> tertinggi 5,20% dan terendah 1,80%. Kombinasi busi iridium dan PG RON 95 paling efektif menekan emisi gas buang.

**Kata Kunci** - Emisi Gas Buang, Jenis Busi, Variasi Bahan Bakar.

## I. PENDAHULUAN

Sektor transportasi merupakan penyumbang emisi gas buang terbesar di dunia, yang berdampak signifikan terhadap kualitas udara dan perubahan iklim. Seiring dengan pertumbuhan populasi dan peningkatan mobilitas, jumlah kendaraan bermotor terus bertambah. Pada tahun 2023, jumlah sepeda motor mencapai 132.433.679 unit, sebagaimana dilaporkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia [1]. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berkorelasi dengan peringkat emisi gas buangnya. Menurut *Health Effects Institute* (HEI), sekitar 8 juta kematian terjadi secara global pada tahun 2021, terutama di negara berkembang seperti Indonesia, yang disebabkan oleh partikel polusi udara dari emisi gas buang [2].

Menurut PP No. 41 Tahun 1999 tentang "pengendalian pencemaran udara, emisi bahan kimia, energi, dan komponen lain dari suatu aktivitas yang masuk atau diperkenalkan ke udara sekitar berpotensi menjadi polutan. Emisi gas buang adalah gas sisa yang dihasilkan selama proses pembakaran, baik dari mesin pembakaran *internal* maupun *eksternal*, yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan [3]. Emisi gas buang yang berlebihan dapat berdampak buruk pada kesehatan, menyebabkan masalah mulai dari gangguan ringan hingga bahaya serius yang dapat mengakibatkan kematian. Selain itu, tingginya emisi gas buang juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya memicu terjadinya pemanasan global. Pada kendaraan bermotor, emisi ini terjadi akibat pembakaran bensin yang tidak sempurna, menghasilkan bahan kimia berbahaya seperti Hidrokarbon (HC) dan Karbon Monoksida (CO) [4].

Hidrokarbon dalam emisi gas buang merupakan kontaminan utama yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dan aktivitas terkait. Hidrokarbon dalam gas buang dari senyawa bahan bakar yang tidak terbakar

sempurna selama pengoperasian mesin. Hidrokarbon diukur dalam bagian per juta (ppm) [5]. Emisi hidrokarbon berasal dari berbagai sumber. Pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna dan pembakaran oli pelumas di dalam silinder berkontribusi terhadap emisi HC. Emisi hidrokarbon ini bermanifestasi sebagai gas metana, yang dapat menyebabkan leukemia dan kanker. Akibatnya, emisi hidrokarbon biasanya merupakan hasil dari rasio udara-bahan bakar yang tidak memadai [6]. Hal serupa terjadi pada kondisi sistem pengapian busi yang aus atau kotor atau injector bahan bakar yang tersumbat. Efek HC pada manusia melibatkan iritasi selaput lendir pada dosis 100 ppm, yang mengakibatkan ketidaknyamanan pada mata. Menghirup udara dengan konsentrasi 3.000 ppm selama 30 menit hingga 1 jam dapat menyebabkan kelemahan, sedangkan paparan 20.000 ppm selama 5 hingga 10 menit dapat mengakibatkan kematian. Pada tumbuhan, HC dapat menghambat pertumbuhan, menyebabkan daun menjadi cokelat, dan mengakibatkan kematian komponen bunga [7]

Karbon monoksida (CO) adalah gas beracun yang sangat berbahaya dalam emisi knalpot karena dampaknya yang parah terhadap kesehatan manusia dan lingkungan [8]. CO adalah gas yang tidak memiliki warna, bau, maupun rasa, dan secara alami terdapat di atmosfer dalam jumlah kecil. [9]. Sifatnya yang tidak terlihat, keberadaan CO di lingkungan yang tercemar sulit terdeteksi secara langsung. Gas ini terbentuk akibat pembakaran bahan yang mengandung karbon secara tidak sempurna, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil di kendaraan bermotor. Mengingat risikonya yang tinggi, pengendalian emisi CO sangat penting. Upaya pengurangan emisi, seperti penggunaan jenis busi dan bahan bakar yang sesuai, telah diterapkan melalui berbagai regulasi. Selain itu, edukasi masyarakat mengenai bahaya CO dan pentingnya perawatan rutin terhadap peralatan pembakaran juga berperan penting dalam mencegah keracunan gas ini [10].

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan produk utama dari proses pembakaran sempurna bahan bakar hidrokarbon [11]. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi dalam gas buang umumnya menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung dengan baik, di mana sebagian besar atom karbon dalam bahan bakar telah teroksidasi secara sempurna. CO<sub>2</sub> dikenal sebagai gas rumah kaca yang memperburuk pemanasan global dan perubahan iklim; oleh karena itu, peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dari sektor transportasi menjadi perhatian penting dalam berbagai studi lingkungan dan strategi energi. Sementara itu, kandungan oksigen (O<sub>2</sub>) dalam gas buang mencerminkan jumlah udara berlebih (*excess air*) yang tidak ikut bereaksi selama proses pembakaran. Nilai O<sub>2</sub> yang tinggi menunjukkan kondisi pembakaran miskin (*lean mixture*), sedangkan nilai O<sub>2</sub> yang rendah mengindikasikan pembakaran mendekati stoikiometri atau kaya bahan bakar [12]. Oleh karena itu, analisis O<sub>2</sub> sering digunakan untuk menilai kesempurnaan pembakaran serta efektivitas sistem kontrol emisi, termasuk *catalytic converter*.

Untuk mengurangi dampak buruk emisi gas buang, berbagai inisiatif telah dilakukan, termasuk pengembangan teknologi mesin yang efisien, penerapan konverter katalitik, dan formulasi bahan bakar yang lebih bersih [13]. Meskipun demikian, efisiensi pembakaran di dalam ruang bakar mesin, yang secara langsung memengaruhi komposisi emisi gas buang, tidak hanya ditentukan oleh desain mesin dan bahan bakar, tetapi juga oleh komponen pendukung penting lainnya. Salah satu elemen vital adalah busi.

Busi berperan sebagai pemicu percikan api yang menyulut campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder mesin. Kualitas dan karakteristik percikan yang dihasilkan oleh busi sangat memengaruhi proses pembakaran. Variasi pada jenis busi, baik dari segi material elektroda, desain, maupun celah busi, dapat menghasilkan karakteristik pembakaran yang berbeda. Percikan yang optimal akan memastikan pembakaran yang lebih sempurna, yang pada gilirannya dapat mengurangi emisi gas buang yang diinginkan [14].

Selain busi, bahan bakar adalah variabel utama lainnya yang secara langsung memengaruhi emisi. Bahan bakar dengan oktan yang berbeda, aditif yang bervariasi, atau bahkan komposisi kimia yang sedikit berbeda akan menghasilkan pola pembakaran yang unik sehingga berdampak pada profil emisi gas buang yang berbeda [15]. Sifat fisik dan kimia bahan bakar, seperti titik didih, densitas, dan rasio hidrogen-karbon, semuanya memainkan peran dalam efisiensi pembakaran dan jenis polutan yang dihasilkan.

Penelitian ekstensif telah dilakukan tentang emisi gas buang; namun demikian, pemahaman menyeluruh tentang interaksi antara berbagai jenis busi dan jenis bahan bakar terkait emisi gas buang masih kurang. Kombinasi busi tertentu dengan jenis bahan bakar tertentu dapat meningkatkan atau memperburuk emisi. Studi ini bertujuan untuk meneliti dampak berbagai jenis busi dan bahan bakar terhadap emisi gas buang pada sepeda motor empat tak 150cc.

Penelitian ini meneliti dampak berbagai jenis busi dan bahan bakar terhadap emisi gas buang kendaraan. Penggunaan berbagai jenis busi diyakini memengaruhi kualitas percikan api selama pembakaran, sehingga memengaruhi emisi gas buang yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan bahan bakar dengan sifat dan angka oktan yang berbeda dapat memengaruhi kelengkapan pembakaran di dalam ruang bakar. Studi ini juga harus menyelidiki campuran optimal jenis busi dan bahan bakar yang menghasilkan emisi gas buang terendah dan meningkatkan proses pembakaran.

## II. METODE

Studi ini menggunakan metodologi eksperimental dengan kerangka kuantitatif. Eksperimen tersebut melibatkan pemberian perlakuan terkontrol kepada subjek penelitian, yang mencakup berbagai jenis busi dan bahan bakar, diikuti dengan pengamatan dan pengukuran perubahan emisi gas buang. Data yang diperoleh terdiri dari nilai numerik emisi gas buang, yang memfasilitasi analisis kuantitatif untuk membedakan variasi dan pola dalam temuan pengujian.

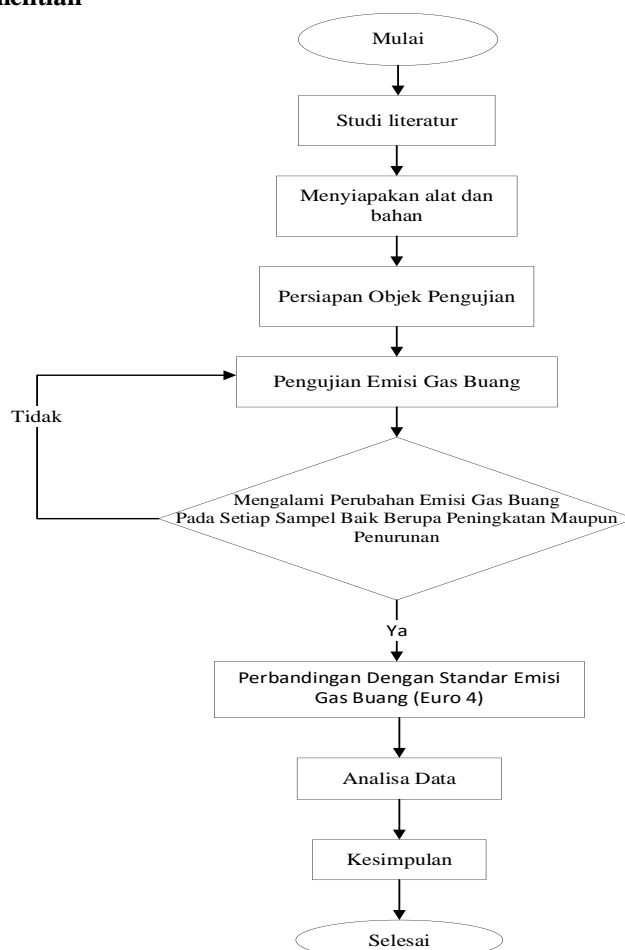
### A. Tempat dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di SMK YPM 8 Sidoarjo, yang berlokasi di Jl. Raya Sarirogo No. 481, Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo. Lokasi ini dipilih karena memiliki fasilitas dan peralatan yang memadai untuk melakukan pengujian emisi gas buang kendaraan bermotor, khususnya menargetkan sepeda motor Honda Vario 150 cc 4-tak tahun 2016.

### B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian diklasifikasikan menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas terdiri atas variasi jenis busi, yaitu busi standar (CPR9EA-9), busi perak/silver (AR10S-9), dan busi iridium (CPR8EAIX-9), serta variasi bahan bakar berupa PG RON 95 dan PT RON 98. Variabel terikat berupa emisi gas buang yang direpresentasikan oleh parameter hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan oksigen (O<sub>2</sub>). Variabel kontrol meliputi putaran mesin, suhu kerja mesin, kondisi mesin, waktu pengujian, dan kondisi lingkungan, yang dipertahankan konstan selama pengujian untuk memastikan bahwa perubahan emisi gas buang disebabkan oleh variasi variabel bebas.

### C. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian secara sistematis, dimulai dari studi literatur untuk memperoleh landasan teori terkait proses pembakaran, karakteristik busi, bahan bakar, emisi gas buang, serta standar emisi yang berlaku. Tahap selanjutnya adalah persiapan alat dan bahan penelitian diikuti dengan persiapan objek pengujian berupa sepeda motor yang disetel sesuai spesifikasi standar pabrikan. Pengujian emisi gas buang kemudian dilakukan dengan mengukur parameter HC, CO, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> pada putaran mesin tertentu untuk setiap variasi jenis busi dan bahan bakar. Data hasil pengujian kemudian dilakukan validasi dengan memastikan adanya perbedaan antar perlakuan; apabila belum menunjukkan perbedaan yang konsisten, pengujian diulang. Data yang valid selanjutnya dibandingkan dengan standar emisi gas buang Euro 4 untuk mengevaluasi tingkat kelayakan emisi. Tahap akhir meliputi analisis data secara kuantitatif dan penarikan kesimpulan guna menentukan pengaruh serta kombinasi terbaik jenis busi dan bahan bakar terhadap emisi gas buang.

#### D. Spesifikasi Bahan Uji Emisi Gas Buang

Dalam penelitian ini, digunakan berbagai jenis bahan yang akan dilakukan pada uji emisi gas buang. Tabel berikut merangkum spesifikasi tiap-tiap bahan uji pada emisi gas buang.

**Tabel 1.** Spesifikasi Bahan Uji Emisi Gas Buang

No	Jenis Bahan Uji	Tipe/Kode	Spesifikasi Utama	Rasio Kompresi	Keterangan
1	Busi Standar	CPR9EA-9	Material elektroda nikel, celah elektroda $\pm 0.8$ mm.	-	Umum digunakan pada motor standar
2	Busi Silver	AR10S-9	Elektroda berbahan perak (silver), konduktivitas tinggi.	-	Pembakaran lebih stabil dibanding standar
3	Busi Iridium	CPR8EAIX-9	Elektroda iridium, ujung lebih kecil.	-	Percikan api lebih fokus, efisiensi tinggi
4	Bahan Bakar PG RON 95	-	RON 95, campuran bioetanol( $\pm 5\%$ ),emisi lebih rendah	10:1 – 11:1	Lebih ramah lingkungan
5	Bahan Bakar PT RON 98	-	RON 98, performa tinggi, pembakaran lebih sempurna untuk mesin berkompresi tinggi	13:01	Cocok untuk mesin berkompresi tinggi

#### E. Prosedur Pengujian Emisi Gas Buang

Tujuan dari pengujian emisi gas buang eksperimental ini adalah untuk menentukan bagaimana berbagai jenis bahan bakar dan busi memengaruhi emisi sepeda motor 4-tak 150cc. Alat dan bahan penelitian yang disiapkan sebelum penelitian dimulai meliputi penganalisis gas, meteran RPM digital, dan kendaraan uji dalam kondisi pabrik yang terjamin. Bahan bakar yang digunakan terdiri atas PG RON 95 dan PT RON 98, sedangkan variasi jenis busi meliputi busi standar (CPR9EA-9), busi perak/silver (AR10S-9), dan busi iridium (CPR8EAIX-9).

Sebelum pengujian, mesin kendaraan dipanaskan hingga mencapai suhu kerja optimal  $\pm 80$  °C dan berada pada kondisi idle stabil. Probe gas analyzer dipasang pada ujung knalpot kendaraan uji, kemudian dilakukan kalibrasi alat sesuai dengan prosedur pabrikan untuk menjamin keakuratan pengukuran. Emisi gas buang mesin diuji pada tiga rentang RPM yang berbeda: 1500, 3000, dan 5500. Setelah menghidupkan mesin pada setiap kecepatan, kami membiarkan pengukur gas stabil selama sekitar satu atau dua menit. Analisis gas kemudian mencatat nilai hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan oksigen (O<sub>2</sub>).

Untuk setiap kombinasi busi dan bahan bakar, pengujian dilakukan tiga kali untuk memastikan bahwa data tersebut representatif. Setelah mengumpulkan data, data tersebut dirata-ratakan dan dievaluasi menggunakan metode kuantitatif. Peralatan pengukuran dibongkar dan dibersihkan setelah setiap rangkaian pengujian untuk memastikan tetap dalam kondisi prima. Berdasarkan data yang dikumpulkan dari pengujian, para peneliti dapat mengidentifikasi campuran busi dan bahan bakar yang optimal untuk mengurangi emisi gas buang yang berbahaya.

## F. Pengambilan Data

Pada berbagai putaran mesin, kami mengukur emisi gas buang yang disebabkan oleh berbagai jenis busi dan bahan bakar. Dengan mengikuti prosedur pengujian yang telah ditentukan, alat penguji emisi mampu mengukur HC, CO, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub>, di antara parameter emisi lainnya.

**Tabel 2.** Pengambilan data emisi gas buang hidrokarbon (HC)

Variasi Busi	RPM	Variasi Bahan Bakar							
		PG RON 95				PT RON 98			
		1	2	3	rata-rata	1	2	3	rata-rata
Busi Standar (CPR9EA-9)	1500	115,00	68,00	79,00	87,33	227,00	225,00	205,00	219,00
	3000	80,00	106,00	108,00	98,00	322,00	198,00	231,00	250,33
	5500	117,00	119,00	116,00	117,33	334,00	350,00	370,00	351,33
Busi Perak (AR10S-9)	1500	70,00	69,00	74,00	71,00	163,00	165,00	177,00	168,33
	3000	89,00	91,00	88,00	89,33	198,00	196,00	199,00	197,67
	5500	98,00	99,00	102,00	99,67	228,00	255,00	282,00	255,00
Busi Iridium (CPR8EAIX-9)	1500	60,00	65,00	68,00	64,33	120,00	128,00	128,00	125,33
	3000	83,00	87,00	82,00	84,00	130,00	132,00	136,00	132,67
	5500	91,00	90,00	94,00	91,67	158,00	161,00	160,00	159,67

**Tabel 3.** Pengambilan data emisi gas buang karbon monoksida (CO)

Variasi Busi	RPM	Variasi Bahan Bakar							
		PG RON 95				PT RON 98			
		1	2	3	rata-rata	1	2	3	rata-rata
Busi Standar (CPR9EA-9)	1500	0,10	0,13	0,14	0,12	0,28	0,31	0,32	0,30
	3000	0,20	0,22	0,21	0,21	0,47	0,45	0,48	0,47
	5500	0,22	0,27	0,32	0,27	0,52	0,53	0,58	0,54
Busi Perak (AR10S-9)	1500	0,12	0,09	0,13	0,11	0,22	0,19	0,17	0,19
	3000	0,19	0,22	0,20	0,20	0,25	0,21	0,29	0,25
	5500	0,18	0,29	0,21	0,23	0,44	0,31	0,30	0,35
Busi Iridium (CPR8EAIX-9)	1500	0,11	0,08	0,07	0,09	0,19	0,10	0,17	0,15
	3000	0,17	0,11	0,19	0,16	0,19	0,25	0,21	0,22
	5500	0,24	0,19	0,17	0,20	0,29	0,32	0,34	0,32

**Tabel 4.** Pengambilan data emisi gas buang karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Variasi Busi	RPM	Variasi Bahan Bakar							
		PG RON 95				PT RON 98			
		1	2	3	rata-rata	1	2	3	rata-rata
Busi Standar (CPR9EA-9)	1500	12,24	12,22	12,20	12,22	10,21	10,19	10,23	10,21
	3000	12,25	12,23	12,27	12,25	10,14	10,18	10,16	10,16
	5500	12,24	12,28	12,26	12,26	10,11	10,07	10,09	10,09

Busi Perak (AR10S-9)	1500	13,10	13,12	13,08	13,10	10,95	10,93	10,91	10,93
	3000	13,08	13,10	13,06	13,08	10,72	10,68	10,70	10,70
	5500	13,05	13,01	13,03	13,03	10,53	10,55	10,51	10,53
Busi Iridium (CPR8EAIX-9)	1500	13,75	13,73	13,77	13,75	11,17	11,13	11,15	11,15
	3000	13,61	13,65	13,63	13,63	11,06	11,1	11,08	11,08
	5500	13,41	13,45	13,43	13,43	11,06	11,04	11,02	11,04

Tabel 5. Hasil Pengambilan data emisi gas buang oksigen (O<sub>2</sub>)

Variasi Busi	RPM	Variasi Bahan Bakar							
		PG RON 95				PT RON 98			
		1	2	3	rata-rata	1	2	3	rata-rata
Busi Standar (CPR9EA-9)	1500	2,24	2,45	2,36	2,35	3,22	2,38	2,8	2,80
	3000	3,42	3,25	3,53	3,40	3,89	3,95	3,87	3,90
	5500	4,34	4,36	5,09	4,60	5,71	4,98	4,91	5,20
Busi Perak (AR10S-9)	1500	1,99	1,98	2,03	2,00	2,2	2,33	2,37	2,30
	3000	3,99	2,92	2,09	3,00	3,2	3,33	3,37	3,30
	5500	4,43	3,58	4,32	4,11	4,61	4,34	4,56	4,50
Busi Iridium (CPR8EAIX-9)	1500	1,47	2,12	1,80	1,80	1,99	2,20	2,55	2,25
	3000	1,44	2,78	3,89	2,70	2,09	3,55	3,61	3,08
	5500	3,56	3,48	4,06	3,70	4,05	4,22	4,41	4,23

### G. Teknik Pengolahan Data

Metode pengolahan data dalam penelitian ini diterapkan pada hasil pengujian emisi gas buang pada sepeda motor Honda Vario 150 cc, yang menguji beberapa jenis busi dan bahan bakar. Pada putaran mesin 1500 RPM, 3000 RPM, dan 5500 RPM, mesin menjalani pengujian emisi. Parameter pengujian meliputi hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan oksigen (O<sub>2</sub>). Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, kemudian data yang diperoleh dihitung nilai rata-ratanya menggunakan persamaan

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}$$

di mana :

- X = Nilai rata-rata emisi gas buang
- X<sub>1</sub> = Hasil pengukuran pada pengujian pertama
- X<sub>2</sub> = Hasil pengukuran pada pengujian kedua
- X<sub>3</sub> = hasil pengukuran pada pengujian ketiga

Untuk menemukan kombinasi yang memenuhi standar ramah lingkungan dan menghasilkan emisi gas buang paling rendah, kami membandingkan nilai rata-rata untuk melihat bagaimana berbagai jenis busi dan bahan bakar memengaruhi hasilnya.

### H. Standar Emisi Gas Buang

Sebelum melakukan pengujian dan analisis terhadap hasil emisi gas buang kendaraan bermotor, diperlukan pemahaman terlebih dahulu mengenai standar emisi gas buang yang berlaku. Penilaian apakah hasil uji memenuhi batas emisi yang ditetapkan oleh pemerintah atau lembaga berwenang dilakukan dengan merujuk pada standar tersebut. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) Nomor 8 Tahun 2023 mengatur tentang persyaratan emisi ini. Saat ini, peraturan pencemaran gas buang di Indonesia disusun berdasarkan standar Euro 4.

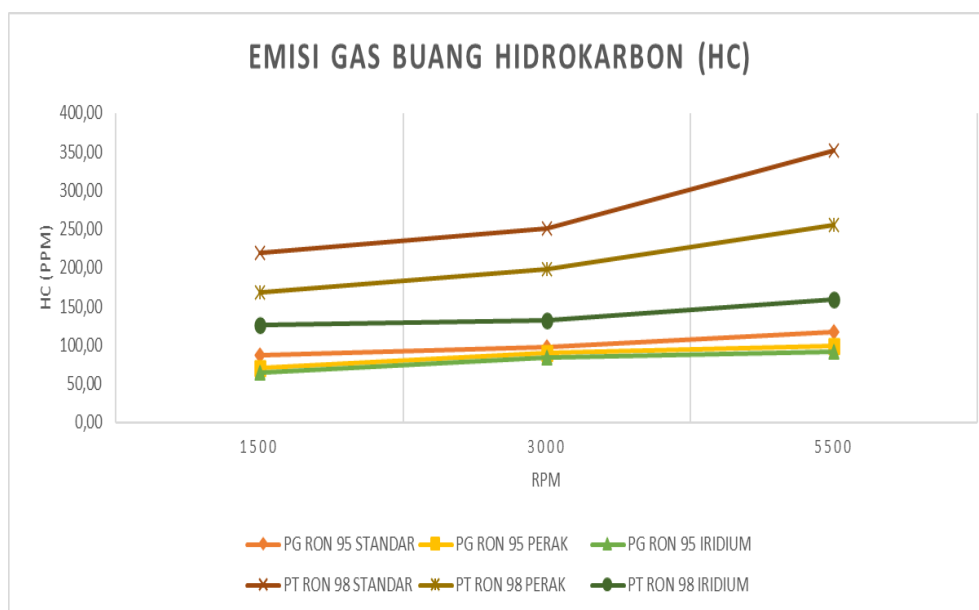
**Tabel 6. Standar Emisi Gas Buang**

Gas Emisi	Batas Ambang
CO	3%
HC	1.000 ppm
CO <sub>2</sub>	15% (Parameter pendukung)
O <sub>2</sub>	6% (Parameter pendukung)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian emisi gas buang pada sepeda motor empat tak 150 cc dengan berbagai jenis bahan bakar dan busi dibahas di bagian ini. Di sini kita melihat nilai rata-rata dari tiga pengujian untuk melihat bagaimana kadar HC, CO, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> berubah pada 1500 rpm, 3000 rpm, dan 5500 rpm.

#### I. Hasil dan Pembahasan Emisi Gas Buang Hidrokarbon (HC)



**Gambar 2.** Grafik Emisi Gas Buang Hidrokarbon (HC)

Berdasarkan Gambar 2, emisi hidrokarbon (HC) mungkin dipengaruhi oleh perubahan kecepatan mesin dan jenis busi, menurut hasil pengujian. Jumlah emisi HC cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan mesin, menurut perbandingan bahan bakar PT RON 98 dan PG RON 95 yang digunakan pada variasi putaran 1500 rpm, 3000 rpm, dan 5500 rpm. Selain itu, penggunaan busi iridium menunjukkan performa yang lebih baik dalam menurunkan emisi HC dibandingkan busi perak dan busi standar. Kadar HC terendah diperoleh pada kombinasi busi iridium dan PG RON 95 sebesar 64,33 ppm pada 1500 rpm, sedangkan kadar HC tertinggi diperoleh pada kombinasi busi standar dan PT RON 98 sebesar 351,33 ppm pada 5500 rpm.

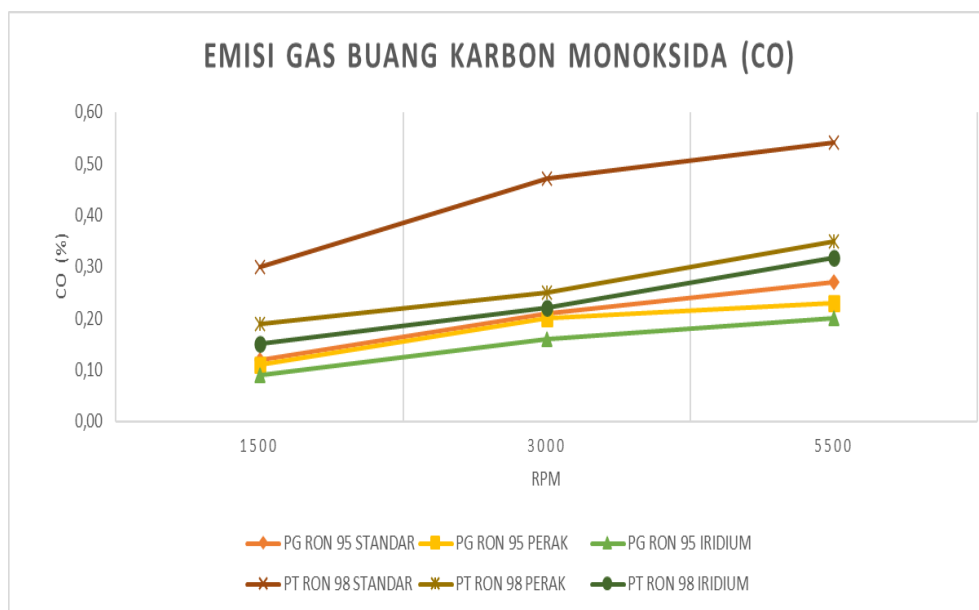
Pengaruh jenis busi terhadap emisi gas buang HC menunjukkan bahwa busi iridium lebih baik dibandingkan busi perak dan busi standar. Pada penggunaan bahan bakar PT RON 98, busi standar pada 1500 rpm menghasilkan emisi gas buang HC sebesar 219,00 ppm. Terjadi peningkatan pada 3000 rpm menjadi 250,33 ppm dan kembali meningkat pada 5500 rpm menjadi 351,33 ppm. Penggunaan busi perak pada bahan bakar yang sama menghasilkan 168,33 ppm pada 1500 rpm, meningkat menjadi 197,67 ppm pada 3000 rpm, dan kembali meningkat menjadi 255,00 ppm pada 5500 rpm. Sementara itu, penggunaan busi iridium pada PT

RON 98 menghasilkan kadar HC sebesar 125,33 ppm pada 1500 rpm, meningkat menjadi 132,67 ppm pada 3000 rpm, dan kembali meningkat menjadi 159,67 ppm pada 5500 rpm.

Sementara itu, penggunaan bahan bakar PG RON 95 menunjukkan kadar HC yang lebih rendah pada setiap variasi putaran mesin. Penggunaan PG RON 95 dengan busi standar menghasilkan 87,33 ppm pada 1500 rpm, meningkat menjadi 98,00 ppm pada 3000 rpm, dan kembali meningkat menjadi 117,33 ppm pada 5500 rpm. Pada busi perak diperoleh 75,00 ppm pada 1500 rpm, meningkat menjadi 89,33 ppm pada 3000 rpm, dan kembali meningkat menjadi 99,67 ppm pada 5500 rpm. Sedangkan pada busi iridium, kadar HC sebesar 64,33 ppm diperoleh pada 1500 rpm, meningkat menjadi 84,00 ppm pada 3000 rpm, dan meningkat lagi menjadi 91,67 ppm pada 5500 rpm.

Pengaruh kombinasi jenis busi, bahan bakar, dan putaran mesin menunjukkan adanya perbedaan terhadap hasil emisi gas buang HC. Kombinasi busi iridium dan bahan bakar PG RON 95 menghasilkan kadar HC terendah pada setiap variasi putaran mesin. Sebaliknya, kombinasi busi standar dan PT RON 98 menghasilkan kadar HC tertinggi, terutama pada putaran 5500 rpm sebesar 351,33 ppm. Hal ini terjadi karena peningkatan putaran mesin menyebabkan waktu pembakaran di dalam ruang bakar semakin singkat, sehingga proses pembakaran tidak berlangsung secara optimal dan meningkatkan sisa hidrokarbon yang terbuang bersama gas buang. Selain itu, busi iridium memiliki material elektroda yang lebih baik, yang berarti resistansi listrik lebih rendah, sehingga mengurangi kehilangan tegangan dan menghasilkan percikan api yang lebih terkonsentrasi. Sementara itu, karakteristik bahan bakar PG RON 95 yang mendukung proses pembakaran lebih sempurna menghasilkan sisa pembakaran yang lebih rendah. Kombinasi penggunaan busi iridium dan bahan bakar dengan kualitas pembakaran yang lebih baik menghasilkan emisi HC yang lebih rendah dibandingkan kombinasi lainnya.

#### J. Hasil dan Pembahasan Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO)



Gambar 3. Grafik Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO)

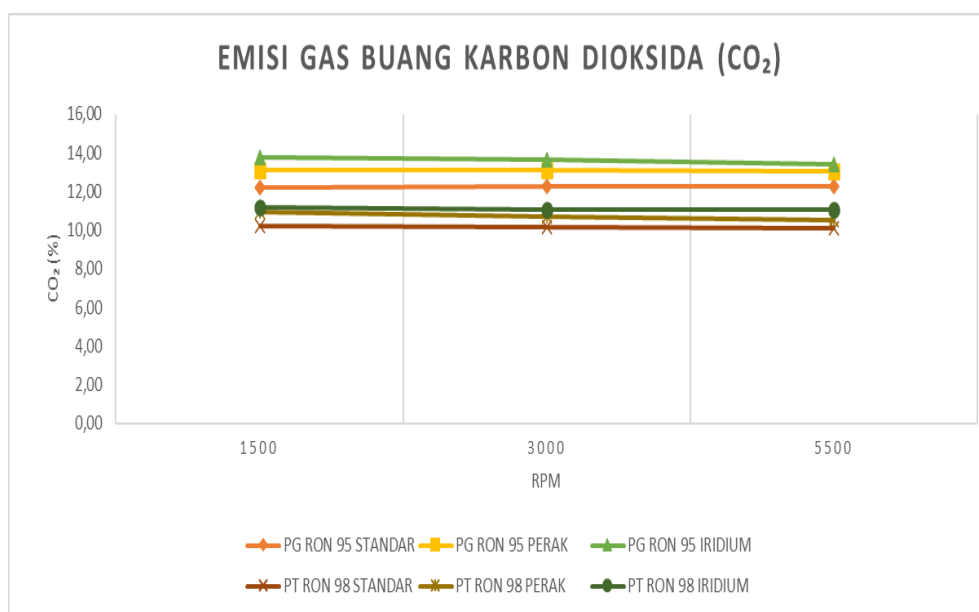
Gambar 3 menampilkan hasil pengujian yang menunjukkan bahwa tingkat emisi karbon monoksida (CO) berubah untuk setiap kecepatan mesin, jenis bahan bakar, dan jenis busi. Salah satu faktor yang memengaruhi emisi CO adalah jenis busi yang digunakan; penggunaan busi dengan elektroda berkualitas lebih tinggi dapat meningkatkan kualitas pembakaran dan mengurangi emisi CO. Busi iridium memberikan emisi terendah saat menggunakan bahan bakar PT RON 98: 0,15% pada 1500 rpm, 0,22% pada 3000 rpm, dan 0,32% pada 5500 rpm. Emisi dari kendaraan dengan busi perak adalah 0,19 persen pada 1500 rpm, 0,25 persen pada 3000 rpm, dan 0,35 persen pada 5500 rpm. Pada 1500 rpm, emisi sebesar 0,47% dihasilkan oleh busi standar, sedangkan pada 3000 rpm dan 5500 rpm, tingkat emisi tertinggi adalah 0,54%. Selain itu, terdapat variasi dampak jenis bahan bakar terhadap emisi CO. Pada 1.500 rpm, emisi dari penggunaan bahan bakar PG RON 95 dengan busi konvensional adalah 0,12%. Pada 3.000 rpm, emisi meningkat menjadi 0,21%, dan pada 5.500 rpm, mencapai 0,27%. Pada busi Perak, diperoleh emisi sebesar 0,11% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 0,20% pada 3000 rpm, dan 0,23% pada 5500 rpm. Sedangkan pada busi Iridium, dihasilkan emisi terendah, yaitu 0,09% pada

1500 rpm, meningkat menjadi 0,16% pada 3000 rpm, dan 0,20% pada 5500 rpm. Secara keseluruhan, rata-rata emisi CO pada PG RON 95 lebih rendah dibandingkan dengan PT RON 98.

Pengaruh kombinasi jenis bahan bakar, jenis busi, dan variasi putaran mesin menghasilkan emisi CO yang bervariasi. Pada kedua jenis bahan bakar, terlihat bahwa peningkatan putaran mesin dari 1500 rpm ke 3000 rpm hingga 5500 rpm menyebabkan kenaikan kadar CO. Emisi terendah secara keseluruhan dihasilkan oleh kombinasi Pertamina Green dengan busi Iridium, yaitu sebesar 0,09% pada 1500 rpm dan 0,16% pada 3000 rpm. Sebaliknya, emisi tertinggi dihasilkan oleh kombinasi PT RON 98 dengan busi Standar, yaitu sebesar 0,54% pada 5500 rpm.

Busi yang terbuat dari iridium atau perak memiliki konduktivitas listrik dan ketahanan panas yang lebih unggul dibandingkan busi biasa, yang menghasilkan percikan api yang lebih konsisten dan pembakaran yang lebih baik. Selain itu, bahan bakar PG RON 95 memiliki emisi CO yang lebih rendah karena sifat pembakarannya yang lebih baik. Namun, ketika kecepatan mesin meningkat, campuran bahan bakar dan udara disuplai lebih cepat, yang menyebabkan pembakaran kurang sempurna dan kadar CO yang lebih tinggi.

#### K. Hasil dan Pembahasan Emisi Gas Buang Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)



Gambar 4. Grafik Emisi Gas Buang Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Menurut Gambar 4, penelitian ini menemukan bahwa kombinasi kecepatan mesin, jenis bahan bakar, dan jenis busi yang berbeda menghasilkan tingkat emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di semua varian perlakuan, tidak ada hubungan linier antara peningkatan kecepatan mesin dan peningkatan kadar CO<sub>2</sub>. Telah diamati bahwa ketika kecepatan mesin meningkat, kadar CO<sub>2</sub> cenderung menurun saat menggunakan bahan bakar PT RON 98 dan busi biasa, perak, atau iridium. Sebaliknya, pada bahan bakar PG RON 95, pola perubahan kadar CO<sub>2</sub> menunjukkan kecenderungan yang lebih beragam. Pada penggunaan busi standar terjadi peningkatan yang relatif kecil, pada busi perak terjadi penurunan secara bertahap, sedangkan pada busi iridium terjadi peningkatan kadar CO<sub>2</sub> seiring meningkatnya putaran mesin.

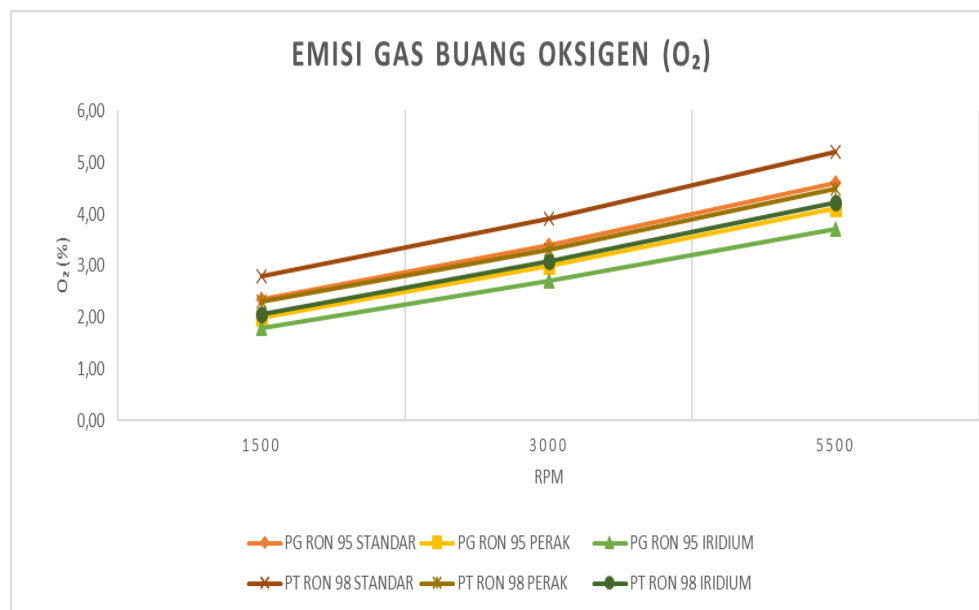
Pada bahan bakar PT RON 98 dengan busi standar, kadar emisi CO<sub>2</sub> tercatat sebesar 10,21% pada putaran 1500 rpm, kemudian mengalami penurunan menjadi 10,16% pada 3000 rpm, dan kembali menurun menjadi 10,09% pada 5500 rpm. Penggunaan busi perak pada bahan bakar yang sama menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 10,93% pada 1500 rpm, menurun menjadi 10,70% pada 3000 rpm, dan kembali menurun menjadi 10,53% pada 5500 rpm. Sementara itu, penggunaan busi iridium menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 11,15% pada 1500 rpm, menurun menjadi 11,08% pada 3000 rpm, dan mencapai 11,04% pada 5500 rpm. Kecenderungan penurunan kadar CO<sub>2</sub> pada PT RON 98 mengindikasikan bahwa peningkatan putaran mesin pada bahan bakar tersebut tidak selalu menghasilkan peningkatan pembentukan CO<sub>2</sub> dalam gas buang.

Pada penggunaan bahan bakar PG RON 95, kadar emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan PT RON 98 pada seluruh variasi jenis busi dan putaran mesin. PG RON 95 dengan busi standar menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 12,22% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 12,25% pada 3000 rpm, dan mencapai 12,26% pada 5500 rpm. Pada penggunaan busi perak, kadar CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sebesar 13,10%

pada 1500 rpm, kemudian sedikit menurun menjadi 13,08% pada 3000 rpm, dan kembali menurun menjadi 13,03% pada 5500 rpm. Adapun pada penggunaan busi iridium, kadar CO<sub>2</sub> tercatat sebesar 13,75% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 13,63% pada 3000 rpm, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 13,43% pada 5500 rpm.

Kombinasi bahan bakar PG RON 95 dengan busi iridium pada 1500 rpm menghasilkan tingkat emisi CO<sub>2</sub> tertinggi, yaitu 13,75%. Sebaliknya, campuran bahan bakar PT RON 98 dan busi konvensional yang beroperasi pada 5500 rpm menghasilkan tingkat emisi CO<sub>2</sub> terendah, yaitu 10,09%. Menurut hasil ini, tingkat emisi CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh jenis bensin dan jenis busi. Secara keseluruhan, bahan bakar PG RON 95 dan penggunaan busi iridium cenderung menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa karakteristik bahan bakar dan jenis busi merupakan faktor yang berperan dalam menentukan kadar emisi CO<sub>2</sub> pada kendaraan bermotor.

#### L. Hasil dan Pembahasan Emisi Gas Buang Oksigen (O<sub>2</sub>)



Gambar 5. Grafik Emisi Gas Buang Oksigen (O<sub>2</sub>)

Berdasarkan Gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar oksigen (O<sub>2</sub>) pada gas buang mengalami variasi pada setiap perubahan putaran mesin serta kombinasi jenis bahan bakar dan jenis busi yang digunakan. Secara umum, peningkatan putaran mesin dari 1500 rpm ke 3000 rpm hingga 5500 rpm menunjukkan kecenderungan meningkatnya kadar O<sub>2</sub> pada gas buang. Hal ini mengindikasikan bahwa putaran mesin merupakan salah satu faktor yang memengaruhi jumlah oksigen tersisa dalam gas buang. Pada penggunaan bahan bakar PT RON 98 dengan busi standar, kadar O<sub>2</sub> sebesar 2,80% pada 1500 rpm meningkat menjadi 3,90% pada 3000 rpm dan mencapai 5,20% pada 5500 rpm. Penggunaan busi perak menghasilkan kadar O<sub>2</sub> sebesar 2,30% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 3,30% pada 3000 rpm, dan 4,50% pada 5500 rpm. Sementara itu, busi iridium menunjukkan kadar O<sub>2</sub> sebesar 2,05% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 3,08% pada 3000 rpm, dan 4,23% pada 5500 rpm.

Pada bahan bakar PG RON 95, penggunaan busi standar menghasilkan kadar O<sub>2</sub> sebesar 2,35% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 3,40% pada 3000 rpm, dan mencapai 4,60% pada 5500 rpm. Pada busi perak diperoleh nilai sebesar 2,00% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 3,00% pada 3000 rpm, dan 4,11% pada 5500 rpm. Adapun busi iridium menghasilkan kadar O<sub>2</sub> terendah yaitu 1,80% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 2,70% pada 3000 rpm, dan 3,70% pada 5500 rpm.

Secara komparatif, kadar O<sub>2</sub> terendah diperoleh pada kombinasi bahan bakar PG RON 95 dengan busi iridium pada 1500 rpm sebesar 1,80%, sedangkan kadar O<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada kombinasi PT RON 98 dengan busi standar pada 5500 rpm sebesar 5,20%. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar dan karakteristik elektroda busi berpengaruh terhadap efisiensi proses pembakaran. Peningkatan kadar O<sub>2</sub> seiring kenaikan putaran mesin dapat dijelaskan melalui karakteristik waktu pembakaran yang semakin singkat pada putaran tinggi. Waktu reaksi yang lebih pendek berpotensi menyebabkan campuran udara dan bahan bakar tidak terbakar secara sempurna, sehingga sebagian oksigen tidak bereaksi dan terbuang bersama gas sisa pembakaran. Selain itu, busi dengan material elektroda yang lebih baik, seperti iridium, menghasilkan percikan

api yang lebih stabil dan konsisten, sehingga proses pembakaran menjadi lebih optimal dan kadar oksigen sisa dapat ditekan. Berdasarkan hasil pengujian, dapat ditunjukkan bahwa peningkatan putaran mesin cenderung meningkatkan kadar  $O_2$  dalam gas buang. Selain itu, penggunaan bahan bakar Pertamina Green serta busi iridium menunjukkan performa pembakaran yang lebih baik dibandingkan kombinasi lainnya, ditinjau dari nilai kadar  $O_2$  yang lebih rendah pada setiap variasi putaran mesin.

### M. Dasar Pembahasan

Menurut temuan penelitian, emisi gas buang sepeda motor 4 tak 150 cc sangat dipengaruhi oleh perbedaan jenis busi dan bahan bakar. Sejumlah parameter emisi diperiksa, termasuk hidrokarbon (HC), CO,  $CO_2$ , dan  $O_2$ . Secara umum, kombinasi busi iridium dan bahan bakar Pertamina Green menghasilkan tingkat emisi yang paling rendah dibandingkan dengan kombinasi perlakuan lainnya.

Penggunaan busi iridium menunjukkan kinerja yang lebih efektif dalam menurunkan emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) dibandingkan dengan busi perak maupun busi standar. Kondisi ini dipengaruhi oleh karakteristik elektroda busi iridium yang memiliki diameter lebih kecil serta ketahanan termal yang tinggi, sehingga mampu menghasilkan percikan api yang lebih stabil dan terfokus. Karakteristik tersebut mendukung proses pembakaran yang lebih sempurna dan mengurangi sisa bahan bakar yang tidak terbakar.

Di sisi lain, busi perak memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, namun belum mampu menghasilkan efisiensi pembakaran yang setara dengan busi iridium. Selain itu, busi perak memiliki keterbatasan dari aspek ketahanan material, yang ditunjukkan oleh titik lebur dan titik didih yang relatif lebih rendah. Akibatnya, elektroda busi perak cenderung lebih mudah mengalami keausan pada kondisi temperatur tinggi di dalam ruang bakar. Meskipun demikian, material perak tetap memiliki keunggulan dalam hal daya hantar listrik. Namun, dari aspek ekonomi, biaya material perak relatif lebih tinggi dibandingkan dengan iridium maupun platinum. Oleh karena itu, pemilihan jenis busi perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kinerja pembakaran, ketahanan material, dan efisiensi biaya.

Dari sisi bahan bakar, kesesuaian antara spesifikasi bahan bakar dan karakteristik mesin turut memengaruhi kualitas pembakaran. Motor Honda Vario 150 memiliki rasio kompresi sebesar 10,6:1, yang termasuk dalam kategori mesin berkompresi menengah. Sementara itu, PG RON 95 yang mengandung bioetanol sebesar 5% umumnya direkomendasikan untuk mesin dengan rasio kompresi berkisar antara 11:1 hingga 12:1. Di sisi lain, PT RON 98 memiliki angka oktan lebih tinggi dan dirancang untuk digunakan pada mesin dengan rasio kompresi sekitar 13:1, yang umumnya diaplikasikan pada kendaraan berperforma tinggi.

Ditinjau dari karakteristik emisi gas buang, penggunaan PG RON 95 menunjukkan kecenderungan menghasilkan emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) yang lebih rendah dibandingkan dengan PT RON 98 pada seluruh variasi putaran mesin. Fenomena ini mengindikasikan bahwa karakteristik fisikokimia bahan bakar, termasuk kandungan oksigen dari bioetanol, berperan dalam meningkatkan kualitas proses pembakaran. PT RON 98, meskipun memiliki angka oktan yang lebih tinggi, tidak selalu mencapai kondisi pembakaran optimal pada mesin dengan spesifikasi standar seperti motor Honda Vario 150 yang memiliki rasio kompresi 10,6:1. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan pembakaran kurang sempurna yang berdampak pada peningkatan emisi.

Sebaliknya, PG RON 95 cenderung lebih kompatibel dengan kondisi operasional mesin berkompresi menengah, sehingga mampu menghasilkan proses pembakaran yang lebih efisien. Kandungan bioetanol di dalam bahan bakar tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kandungan oksigen dalam campuran udara-bahan bakar, yang pada akhirnya mendukung proses oksidasi selama pembakaran.

Kombinasi antara jenis busi dan bahan bakar menunjukkan adanya efek sinergis terhadap karakteristik emisi gas buang. Penggunaan busi iridium yang dikombinasikan dengan PG RON 95 menghasilkan tingkat emisi terendah, sedangkan kombinasi busi standar dengan PT RON 98 menunjukkan tingkat emisi tertinggi, khususnya pada putaran mesin tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi pembakaran tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar, tetapi juga oleh kualitas sistem pengapian. Dengan demikian, kesesuaian antara jenis bahan bakar, sistem pengapian, dan rasio kompresi mesin merupakan faktor penting dalam menentukan performa pembakaran dan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data emisi gas buang pada sepeda motor 4 langkah 150 cc dengan variasi jenis busi (standar, perak, dan iridium) serta variasi bahan bakar (PG RON 95 dan PT RON 98) pada putaran mesin 1500, 3000, dan 5500 rpm, maka diperoleh kesimpulan penelitian yang disusun sebagai berikut:

1. Penggunaan busi yang berbeda terbukti memengaruhi besarnya emisi. Secara umum, busi iridium menghasilkan emisi HC dan CO paling rendah (pembakaran lebih sempurna), disusul busi perak,

- sedangkan busi standar cenderung menghasilkan emisi lebih tinggi. Pada banyak kondisi putaran, busi iridium juga menunjukkan kecenderungan menekan sisa O<sub>2</sub> dan sering kali memberikan CO<sub>2</sub> lebih rendah dibanding busi standar.
2. Variasi bahan bakar berpengaruh nyata terhadap emisi. Dibanding PT RON 98, penggunaan PG RON 95 cenderung menghasilkan emisi HC dan CO lebih rendah pada kondisi yang sama, sehingga lebih efektif menekan polutan akibat pembakaran tidak sempurna. Perbedaan karakteristik bahan bakar juga memengaruhi pola CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> sisa pada gas buang, tergantung kondisi kerja mesin.
  3. Kombinasi yang paling optimal untuk menurunkan emisi terutama HC dan CO adalah busi iridium dengan PG RON 95, karena pada banyak kondisi putaran menghasilkan pembakaran paling mendekati sempurna dan emisi polutan utama lebih rendah dibanding kombinasi busi standar/perak maupun penggunaan PT RON 98.
  4. Kenaikan rpm cenderung membuat emisi HC dan CO meningkat, karena waktu pembakaran semakin singkat sehingga peluang terjadinya pembakaran tidak sempurna lebih besar selain itu perubahan rpm juga memengaruhi kecenderungan CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> sisa sebagai indikator kualitas pembakaran pada setiap kombinasi busi dan bahan bakar.
  5. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan emisi HC, CO, CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> masih berada di bawah ambang batas standar emisi (Euro 4), sehingga kombinasi yang diuji masih memenuhi standar namun untuk memperoleh emisi paling rendah secara praktis, pemilihan busi iridium dan penggunaan PG RON 95 menjadi rekomendasi utama untuk menekan polutan gas buang.

## REFERENSI

- [1] BPS, “Gambaran umum tentang keadaan geografi dan iklim, pemerintahan, serta perkembangan kondisi sosial-demografi dan perekonomian di Indonesia. Beberapa tabel tertentu menyajikan data pada tingkat provinsi dan internasional untuk melihat perbandingan antarwila,” *Statistik Indonesia 2020*, vol. 53, 2025, p. 790, 2025, [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>
- [2] “Air pollution accounted for 8.1 million deaths globally in 2021, becoming the second leading risk factor for death, including for children under ve years.”
- [3] D. Maharbudi, “Pengaruh Variasi Jenis Busi dan Variasi Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Hc, Co, Co2 dan O2 pada Sepeda Motor Honda Beat FI Tahun 2016,” 2020.
- [4] R. Wirosodarmo, B. Suharto, and D. E. Proborini, “Analisis pengaruh jumlah kendaraan bermotor dan kecepatan angin terhadap karbon monoksida di terminal arjosari,” *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 7, no. 2, pp. 57–64, 2020.
- [5] M. N. Akbar, “STUDI EKSPERIMENTAL EMISI KENDARAAN BERMOTOR RODA DUA 150-155 CC MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR PERTAMINA,” 2025, *Universitas Nasional*.
- [6] N. E. Jayanti, M. Hakam, and I. Santiasih, “Emisi Gas Carbon Monooksida (Co) Dan Hidrocarbon (Hc) Pada Rekayasa Jumlah Blade Turbo Ventilator Sepeda Motor ‘Supra X 125 Tahun 2006,’” *Rotasi*, vol. 16, no. 2, pp. 1–5, 2014.
- [7] M. Solikin and M. Solikin, “Dampak dan Upaya Mengendali Gas Buang Kendaraan Bermotor,” *Cakrawala Pendidikan*, p. 87247, 1997.
- [8] A. L. Salma and E. Ernyasih, “Tinjauan Pajanan Karbon Monoksida (CO) dan Dampaknya terhadap Kesehatan Pedagang Kaki Lima di Wilayah Perkotaan Padat Lalu Lintas,” *ENVIRONMENTAL OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY JOURNAL*, vol. 5, no. 2, pp. 85–97, 2025.
- [9] R. D. Amalia and A. D. Syafei, “Strategi pengendalian pencemaran gas CO dari aktivitas transportasi di Kota Batu, Jawa Timur,” *Surabaya: Institut Teknologi Bandung*, 2017.
- [10] Y. SUKRAWAN *et al.*, “Effect of using iridium and platinum spark plugs on fuel consumption and exhaust emission,” *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 19, pp. 129–136, 2024.
- [11] J. Lewtas, “Combustion Emissions: Contribution to Air Pollution, Human Exposure and Risk to Cancer, and Related Effects,” *LUNG BIOLOGY IN HEALTH AND DISEASE*, vol. 204, p. 357, 2005.
- [12] D. H. T. Prasetyo, A. Muhammad, M. A. Baihaqi, H. Abdillah, and L. K. Supraptiningsih, “Pengaruh nilai ron pada bahan bakar jenis bensin terhadap emisi gas buang,” *CERMIN: Jurnal Penelitian*, vol. 6, no. 2, pp. 561–571, 2022.
- [13] I. Sofana and M. Batutah, “Systematic Review Desain Substrat dan Material Catalytic Converter Terhadap Efektivitas Reduksi Emisi Gas Buang pada Internal Combustion Engine,” *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang*, vol. 9, no. 2, pp. 22–31, 2025.

- [14] M. Arsad, A. Banjari, F. W. Setiawan, and D. Y. Pratomo, "Pengaruh Penggunaan Berbagai Jenis Material Elektroda Busi Terhadap Performa Mesin dan Bentuk Nyala Api Pada Mesin Bensin 113 Sentimeter Kubik (CC)," *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, vol. 5, no. 2, pp. 101–112, 2022.
- [15] I. D. Endyani and T. D. Putra, "Pengaruh penambahan zat aditif pada bahan bakar terhadap emisi gas buang mesin sepeda motor," *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, p. 222235, 2011.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*