



Pengaruh Modifikasi Pengapian *Contact Point* menjadi *Direct Ignition* terhadap Emisi Gas Buang pada *Engine* 5K

Tiana Nurhaliza¹, Yusep Sukrawan^{2,*}, Ridwan Adam M. Noor¹, Muhamad Rafi Arrahman¹

¹ Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Jawa Barat

² Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Jawa Barat

Kata kunci

Pengapian *contact point*, pengapian *direct ignition* (DI), emisi gas buang, dan *engine* Toyota 5K.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh modifikasi sistem pengapian dari *contact point* menjadi *direct ignition* (DI) terhadap emisi gas buang pada *engine* 5K. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan membandingkan dua kondisi sistem pengapian, yaitu *contact point* dan *direct ignition* (DI), melalui pengujian emisi gas buang yang meliputi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan oksigen (O₂). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *direct ignition* mampu menurunkan emisi CO sebesar 0,2–0,8% dan HC sekitar 201,5 ppm vol, serta menurunkan kadar O₂. Perubahan tersebut mengindikasikan peningkatan kualitas proses pembakaran. Selain itu, nilai emisi CO yang dihasilkan masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2023. Dengan demikian, modifikasi sistem pengapian *contact point* menjadi *direct ignition* (DI) terbukti efektif meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan emisi gas buang, sehingga berpotensi menjadi solusi teknis dalam pengendalian pencemaran udara pada kendaraan dengan teknologi *engine* lama.

* Corresponding author:

Yusep Sukrawan (email: yusepsukrawan@upi.edu)

Diterima: 15 Mei 2026

Disetujui: 2 Juni 2026

Dipublikasikan: 12 September 2026

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi otomotif, terutama teknologi motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), saat ini tidak hanya difokuskan pada peningkatan performa dan efisiensi penggunaan bahan bakar, tetapi juga diarahkan pada upaya mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan sebagai bagian dari dukungan terhadap pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Salah satu penyebab utama dampak lingkungan yang berkaitan dengan motor pembakaran dalam, seperti *engine* Otto, adalah emisi gas buang. Kondisi ini berkaitan langsung dengan SDG 3, yaitu *good health and well-being*, melalui upaya penurunan polutan berbahaya bagi kesehatan, serta SDG 13, yaitu *climate action*, melalui pengurangan emisi yang berkontribusi terhadap perubahan iklim [1]. *Climate action through reducing emissions that contribute to climate change* [2]. Menurut laporan Kementerian ESDM tahun 2024, sektor transportasi di Indonesia menyumbang sekitar sepertiga konsumsi energi final. Selain itu, sekitar 11 juta mobil di jalanan Indonesia saat ini menghasilkan lebih dari 35 juta ton emisi CO₂, sedangkan sektor transportasi menyumbang sekitar 40% konsumsi energi final. Data tersebut menunjukkan besarnya kontribusi sektor transportasi terhadap permasalahan lingkungan dan perubahan iklim. Selain emisi CO₂ sebagai dampak besar dari transportasi, kualitas proses pembakaran pada *engine* juga dapat dilihat dari emisi gas buang hasil pembakaran yang tidak sempurna, seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC), serta kandungan oksigen (O₂) pada gas buang. Namun, penelitian ini tidak secara langsung mengukur emisi CO₂, melainkan berfokus pada indikator pembakaran tidak sempurna pada *engine* 5K, yaitu emisi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan kandungan oksigen (O₂) gas buang. Oleh karena itu, data emisi CO₂ digunakan sebagai konteks umum untuk menggambarkan dampak lingkungan sektor transportasi, sedangkan analisis utama penelitian diarahkan pada karakteristik proses pembakaran yang tercermin melalui parameter CO, HC, dan O₂.

Emisi gas buang terdiri atas karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel lainnya. Menurut Razek dkk. [3], *exhaust emissions in the form of carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), and other particles contribute to air pollution and global climate change*. Gas buang merupakan sisa proses pembakaran antara campuran bahan bakar dan udara yang tidak berlangsung secara sempurna di dalam ruang bakar. Pembakaran ideal dalam motor pembakaran dalam merupakan salah satu faktor utama yang menentukan performa, keramahan lingkungan, dan efisiensi bahan bakar [4]. *The perfect combustion process only produces carbon dioxide (CO₂) and air vapor (H₂O), but in reality, combustion is not perfect, so it still produces CO and HC emissions in significant amounts, especially in engines with conventional ignition systems* [5]. Secara ideal, proses pembakaran sempurna hanya menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O), tetapi pada kenyataannya pembakaran tidak sempurna sehingga masih menghasilkan emisi CO dan HC dalam jumlah signifikan, terutama pada *engine* dengan sistem pengapian konvensional [6].

Kualitas proses pembakaran pada motor bensin sangat dipengaruhi oleh kinerja sistem pengapian [7]. *The ignition system of a gasoline engine should be able to produce strong, consistent and timely sparks throughout the engine's operating range, so that the combustion process can take place optimally and produce low exhaust emissions* [8]. Dalam kondisi ideal, sistem pengapian motor bensin seharusnya mampu menghasilkan percikan bunga api yang kuat, konsisten, dan tepat waktu pada seluruh rentang operasi *engine*, sehingga proses pembakaran dapat berlangsung secara optimal dan menghasilkan emisi gas buang yang rendah. Kenyataannya, *engine* lama seperti *engine* 5K masih menggunakan sistem pengapian *contact point*. Sistem pengapian *contact point* merupakan sistem pengapian konvensional pada motor bensin yang bekerja dengan memanfaatkan kontak mekanis (platina) [9]. *The use of a contact point ignition system has limitations, namely limitations in the form of wear and tear on mechanical components, inaccuracy in ignition timing, and lower spark energy compared to electronic ignition systems* [10]. Dampak sistem pengapian *contact point* adalah konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang yang lebih tinggi [11].

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan alternatif sistem pengapian yang mampu meningkatkan ketepatan waktu pengapian serta kestabilan percikan bunga api. Salah satu teknologi untuk mengatasi kelemahan sistem tersebut adalah sistem *direct ignition* (DI), yang dikembangkan dan banyak digunakan pada kendaraan modern. Sistem pengapian *direct ignition* (DI) merupakan sistem pengapian elektronik yang menyalurkan tegangan tinggi secara langsung dari koil ke busi sehingga meningkatkan ketepatan waktu pengapian [12]. Selain meningkatkan ketepatan waktu pengapian, sistem *direct ignition* memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem pengapian *contact point*, yaitu meningkatkan stabilitas bunga api, mengoptimalkan proses pembakaran, serta mengurangi jumlah bahan bakar yang tidak terbakar dan polutan emisi melalui *timing control* yang presisi serta keluaran tegangan yang stabil [13]. Menurut Heywood [14], *the direct ignition system increases spark stability, optimizes the combustion process, and reduces the amount of unburned fuel and emission pollutants through precise timing control and stable voltage output*. Penelitian internasional yang dilakukan oleh Zhao dkk. [15] menunjukkan bahwa sistem pengapian yang lebih presisi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan emisi gas buang kendaraan. Penerapan *direct ignition* dapat meningkatkan stabilitas pembakaran serta menurunkan emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC). Sistem *direct ignition* juga meningkatkan kestabilan percikan bunga api dan presisi waktu pengapian sehingga pembakaran campuran udara dan bahan bakar yang homogen di dalam ruang bakar dapat berlangsung lebih efektif.

Temuan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan teknologi sistem pengapian memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi proses pembakaran serta mengurangi emisi gas buang pada kendaraan. Namun demikian, kajian modifikasi sistem pengapian *direct ignition* pada kendaraan dengan *engine* lama yang masih menggunakan sistem pengapian konvensional (*contact point*) masih relatif terbatas. Seiring dengan masih banyaknya kendaraan bermotor dengan teknologi *engine* lama yang menggunakan sistem pengapian konvensional, modifikasi sistem pengapian *direct ignition* menjadi salah satu solusi yang lebih ekonomis dan aplikatif dibandingkan dengan mengganti *engine* secara keseluruhan. Oleh karena itu, modifikasi sistem pengapian dari *contact point* menjadi *direct ignition* pada *engine* 5K berpotensi meningkatkan kualitas pembakaran serta menurunkan emisi gas buang kendaraan, sehingga dapat menjadi salah satu upaya untuk mengurangi dampak pencemaran udara. *Engine* 5K dipilih karena memiliki karakteristik yang relevan dengan tujuan penelitian. *Engine* 5K merupakan *engine* bensin konvensional yang masih menggunakan sistem pengapian platina (*contact point*), sehingga sesuai dijadikan objek penelitian mengenai emisi gas buang hasil pembakaran setelah dilakukan modifikasi ke sistem pengapian elektronik. Selain itu, berdasarkan data dari

GAIKINDO (Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia), *engine* 5K masih banyak ditemukan pada kendaraan generasi lama, khususnya kendaraan operasional maupun kendaraan koleksi. Karakteristik *engine* 5K adalah konstruksinya sederhana dan mudah dimodifikasi.

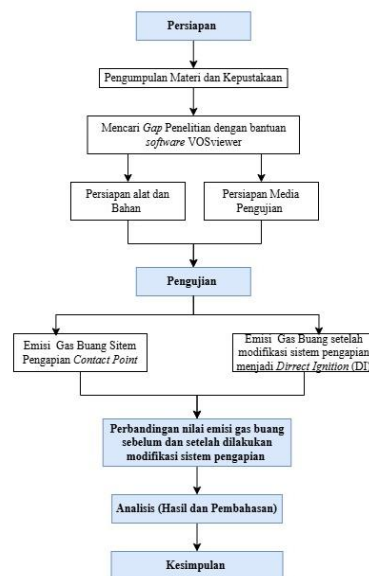
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi modifikasi *engine*, terutama sistem pengapian, sebagai alternatif untuk mengurangi pencemaran udara dari sektor transportasi.

2 Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimen. Menurut Sugiyono [16], “metode eksperimen merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali”. Desain penelitian ini menggunakan eksperimen komparatif pada objek yang sama. Eksperimen dimaksudkan untuk membandingkan dua kondisi sistem pengapian pada *engine* 5K yang sama, yaitu sistem pengapian *contact point* sebagai kondisi awal dan sistem *direct ignition* sebagai kondisi setelah modifikasi. Pengukuran emisi gas buang dilakukan pada kedua kondisi tersebut untuk mengetahui pengaruh perubahan sistem pengapian terhadap kadar CO, HC, dan O₂ gas buang.

Dalam penelitian ini, data kuantitatif disajikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan hasil pengujian terhadap objek penelitian. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan statistik deskriptif melalui perhitungan rata-rata, selisih nilai, dan persentase perubahan emisi gas buang pada setiap kondisi pengujian. Hasil analisis dijelaskan secara deskriptif untuk menggambarkan pengaruh modifikasi sistem pengapian *contact point* menjadi *direct ignition* terhadap kadar emisi CO, HC, dan O₂ pada *engine* 5K.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium *Vehicle Motorcycle Test Bench and Alternative*, Universitas Pendidikan Indonesia. Objek penelitian adalah *engine* Toyota 5K. Pengujian dilakukan untuk menganalisis pengaruh modifikasi sistem pengapian *contact point* menjadi *direct ignition* (DI) terhadap emisi gas buang. Pengujian dilakukan dalam dua percobaan; pada setiap percobaan terdapat tiga kali pengambilan data sehingga total pengambilan data sebanyak enam kali. Data disajikan dalam bentuk grafik yang diolah dari nilai rata-rata setiap proses pengambilan data pada masing-masing percobaan. Prosedur penelitian meliputi tahap persiapan, pengujian, perbandingan, dan analisis, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pengujian dilakukan menggunakan *engine* Toyota 5K dengan spesifikasi yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Toyota 5K

Merk dan tipe <i>engine</i>	: Toyota 5K – OHV
Bahan bakar	: Bensin
Kapasitas silinder	: 4 silinder/1.486 cc
Perbandingan kompresi	: 9,3:1
Putaran <i>idle</i>	: 750 rpm
Daya maksimum	: 92 PS/6.000 rpm
Konsentrasi CO	: 0,5%–3%
Konsentrasi HC	: 100–800 ppm vol

Sumber: Buku Manual Reparasi Toyota Mesin K

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi atau menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel dependen [16]. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah sistem pengapian *contact point* pada *engine* 5K dan sistem pengapian *direct ignition* (DI) pada *engine* 5K.

2) Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas [16]. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah emisi gas buang.

3) Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Putaran *engine* 750–800 rpm pada kondisi *idle*.
- Temperatur oli *engine* pada saat pengujian sebesar 67 °C.
- Temperatur udara 25–30 °C.

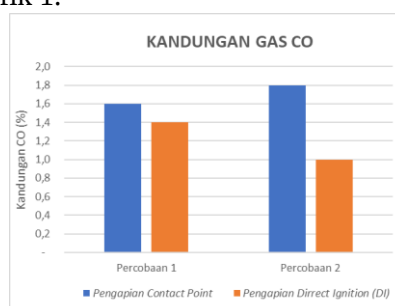
3 Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh modifikasi sistem pengapian *contact point* menjadi sistem pengapian *direct ignition* (DI) pada *engine* 5K terhadap emisi gas buang. Alat dan bahan yang digunakan meliputi *gas analyzer*, *engine* 5K Toyota Corolla, koil, *distributor cap*, modul, braket, rotor, dan kunci kombinasi ukuran 8 dan 10.

Dalam proses pengujian emisi gas buang, digunakan seperangkat *gas analyzer* untuk mengukur kandungan gas CO, HC, dan O₂ pada *engine* 5K. Sebelum pengukuran, *gas analyzer* dikalibrasi menggunakan metode *zero calibration* sesuai dengan prosedur pengoperasian alat. Kalibrasi dilakukan dengan menyalakan alat dan membiarkannya melakukan proses *warming up* hingga pembacaan sensor stabil pada udara bebas. *Engine* kemudian dihidupkan pada kondisi *idle* dengan putaran 800 rpm. Setelah proses kalibrasi selesai, *probe gas analyzer* dipasang pada ujung knalpot untuk mengukur emisi gas buang. Pengukuran dilakukan selama empat menit pada setiap pengujian. Nilai kandungan gas CO, HC, dan O₂ yang ditampilkan pada layar monitor *gas analyzer* dicatat sebagai data penelitian, kemudian diolah menggunakan statistik deskriptif dan disajikan dalam bentuk grafik. Penyajian data dalam bentuk grafik memudahkan analisis pengaruh modifikasi sistem pengapian terhadap emisi gas buang. Berikut ini disajikan grafik perbandingan penggunaan sistem pengapian *contact point* dan *direct ignition* terhadap emisi gas buang.

1. Analisis gas CO

Analisis gas CO disajikan pada Grafik 1.



Grafik 1. Analisis gas CO

Berdasarkan grafik kandungan gas CO, terlihat perbandingan emisi gas CO yang dihasilkan oleh sistem pengapian *contact point* dan *direct ignition* (DI) pada dua percobaan. Pada setiap percobaan terdapat tiga kali pengambilan data sehingga total pengambilan data sebanyak enam kali. Data disajikan dalam bentuk grafik yang diolah dari nilai rata-rata setiap proses pengambilan data pada masing-masing percobaan. Pada percobaan pertama, sistem pengapian *contact point* menghasilkan emisi CO dengan nilai

rata-rata 1,6%, sedangkan sistem *direct ignition* menghasilkan nilai rata-rata 1,4%. Pada percobaan kedua, terjadi penurunan yang lebih signifikan; sistem *contact point* menghasilkan nilai rata-rata 1,8%, sedangkan sistem *direct ignition* hanya 1,0%. Berdasarkan perbandingan nilai rata-rata pada kedua kondisi pengapian tersebut, penggunaan sistem *direct ignition* menunjukkan kecenderungan penurunan emisi CO dibandingkan dengan sistem *contact point*. Penurunan nilai CO sebesar 0,2–0,8% mengindikasikan bahwa proses pembakaran pada *engine* cenderung menjadi lebih baik setelah penggunaan sistem pengapian *direct ignition*.

Karbon monoksida (CO) merupakan gas hasil pembakaran tidak sempurna yang terbentuk akibat kurangnya oksigen atau tidak optimalnya proses oksidasi karbon dalam bahan bakar. Dalam proses pembakaran ideal, karbon seharusnya teroksidasi sempurna menjadi karbon dioksida (CO₂). Namun, apabila proses pembakaran tidak berlangsung secara optimal, CO akan terbentuk dalam jumlah lebih besar [7]. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa emisi CO merupakan indikator utama pembakaran tidak sempurna pada *engine* Otto.

Penurunan emisi CO pada sistem pengapian *direct ignition* terjadi karena sistem ini mampu menghasilkan percikan bunga api yang lebih stabil, energi pengapian yang lebih tinggi, serta waktu pengapian yang lebih presisi [17]. Kondisi tersebut memungkinkan proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar berlangsung lebih sempurna sehingga karbon dalam bahan bakar lebih banyak teroksidasi menjadi CO₂ daripada CO. Parameter *ignition timing* dan kualitas pengapian berpengaruh signifikan terhadap emisi CO; pengapian yang lebih tepat dapat menurunkan kadar CO secara signifikan [14].

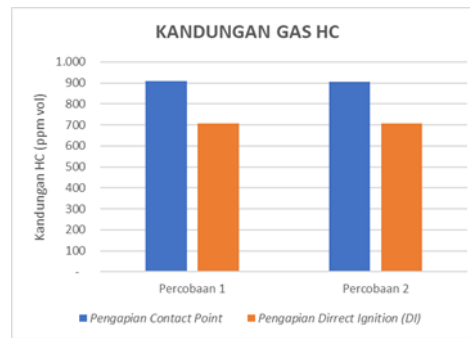
Sebaliknya, sistem pengapian *contact point* memiliki keterbatasan pada komponen mekanis. Menurut Stone [19], “*contact point ignition system, limitations of mechanical components such as platinum cause spark instability and inaccuracy of ignition timing*”. Sistem ini bekerja dengan memutus dan menghubungkan arus listrik secara mekanis sehingga kestabilan arus sangat bergantung pada kondisi fisik komponen yang rentan terhadap keausan dan perubahan celah kontak [20].

Kondisi tersebut berdampak pada ketidaksempurnaan proses oksidasi karbon dalam bahan bakar sehingga menghasilkan emisi karbon monoksida (CO) yang lebih tinggi. Selain itu, ketidaktepatan waktu pengapian (*ignition timing*) juga berpengaruh signifikan terhadap kualitas pembakaran. Pengapian yang terlambat menyebabkan tekanan pembakaran terjadi setelah titik mati atas (TMA), sehingga pembakaran tidak optimal dan pembentukan CO meningkat akibat reaksi oksidasi yang tidak sempurna. Secara teori, proses pembakaran yang optimal membutuhkan percikan bunga api yang kuat pada waktu yang tepat agar campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar secara sempurna. Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi, efisiensi pembakaran menurun dan emisi gas buang seperti CO meningkat [21].

Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa kedua sistem pengapian masih memenuhi batas baku mutu emisi gas CO berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 tentang Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, Kategori N, Kategori O, dan Kategori L. Batas standar emisi gas CO untuk kendaraan roda empat atau kategori M < 2007 adalah 4%. Dengan demikian, modifikasi sistem pengapian dari *contact point* menjadi *direct ignition* menunjukkan kecenderungan penurunan emisi gas buang pada *engine* 5K, terutama kadar gas CO sebesar 0,2–0,8%. Meskipun demikian, sistem pengapian *contact point* maupun *direct ignition* masih berada di bawah batas baku mutu emisi yang ditetapkan. Penggunaan *direct ignition* dalam penelitian ini menunjukkan perbaikan relatif terhadap kualitas pembakaran dan penurunan emisi CO dibandingkan dengan sistem pengapian konvensional.

2. Analisis gas HC

Analisis kadar gas HC disajikan pada Grafik 2.



Grafik 2. Analisis gas HC

Berdasarkan grafik kandungan gas hidrokarbon (HC), terlihat perbandingan emisi gas buang yang dihasilkan oleh sistem pengapian *contact point* dan *direct ignition* (DI). Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam grafik, kedua percobaan menunjukkan bahwa sistem pengapian *contact point* menghasilkan kadar emisi HC yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pengapian *direct ignition*. Pada percobaan pertama, sistem pengapian *contact point* menghasilkan kandungan HC dengan nilai rata-rata 910 ppm vol, sedangkan sistem *direct ignition* menghasilkan nilai rata-rata 708 ppm vol. Pada percobaan kedua, sistem pengapian *contact point* menghasilkan kadar emisi HC dengan nilai rata-rata 907 ppm vol, sedangkan sistem *direct ignition* menghasilkan nilai rata-rata 706 ppm vol.

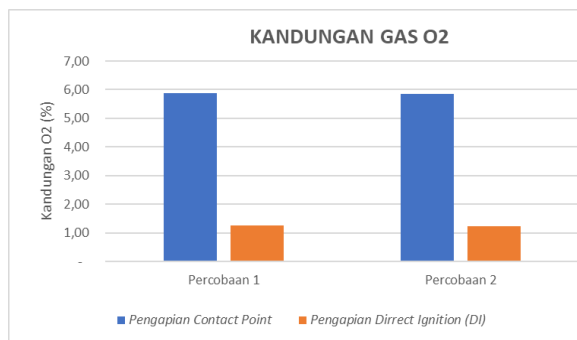
Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan sistem pengapian *direct ignition* mampu menurunkan kadar emisi HC sekitar 201,5 ppm vol dibandingkan dengan sistem pengapian *contact point*. Penurunan ini menunjukkan bahwa modifikasi sistem pengapian memengaruhi kualitas proses pembakaran di dalam ruang bakar *engine*. Emisi hidrokarbon (HC) merupakan indikator adanya bahan bakar yang tidak terbakar atau terbakar secara tidak sempurna selama proses pembakaran di dalam silinder.

Penurunan emisi HC pada sistem *direct ignition* terjadi karena sistem ini mampu menghasilkan energi percikan bunga api yang lebih tinggi serta waktu pengapian yang lebih presisi dibandingkan dengan sistem pengapian konvensional. Percikan bunga api yang lebih stabil memungkinkan terbentuknya *flame kernel* yang lebih baik sehingga proses penyebaran api di dalam ruang bakar menjadi lebih optimal. Menurut [7], stabilitas percikan bunga api merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan keberhasilan proses pembakaran pada *engine* bensin. Apabila percikan bunga api lemah atau tidak stabil, pembakaran campuran udara dan bahan bakar tidak berlangsung secara sempurna sehingga emisi HC pada gas buang meningkat.

Sebaliknya, pada sistem pengapian *contact point*, proses pembentukan percikan bunga api sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen mekanis, seperti platina dan kondensor. Seiring dengan penggunaan, komponen tersebut dapat mengalami keausan atau perubahan celah kontak yang menyebabkan ketidakstabilan arus listrik pada koil pengapian. Kondisi ini mengakibatkan energi percikan bunga api menjadi lebih kecil dan waktu pengapian menjadi kurang presisi. Akibatnya, proses pembakaran tidak berlangsung secara optimal sehingga menghasilkan emisi HC yang lebih tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi sistem pengapian cenderung meningkatkan kualitas pembakaran dan menurunkan HC berdasarkan nilai rata-rata pengujian.

3. Analisis gas O₂

Analisis gas O₂ disajikan pada Grafik 3.

Grafik 3. Kandungan gas O₂

Berdasarkan grafik kandungan gas oksigen (O₂), terlihat perbandingan kadar oksigen pada gas buang yang dihasilkan oleh sistem pengapian *contact point* dan *direct ignition* (DI) pada dua percobaan. Pada kedua percobaan, sistem pengapian *contact point* menghasilkan kandungan O₂ yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pengapian *direct ignition*. Pada percobaan pertama, sistem pengapian *contact point* menghasilkan kandungan O₂ dengan nilai rata-rata 5,9%, sedangkan sistem pengapian *direct ignition* menghasilkan nilai rata-rata 1,2%. Hasil yang hampir sama terlihat pada percobaan kedua: kandungan O₂ pada sistem pengapian *contact point* berada pada rata-rata 5,8–5,9%, sedangkan pada sistem *direct ignition* tetap berada pada nilai 1,2%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem pengapian *direct ignition* menghasilkan kadar oksigen sisa pada gas buang yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem pengapian konvensional *contact point*.

Kandungan oksigen (O₂) pada gas buang menunjukkan jumlah oksigen yang tidak ikut bereaksi selama proses pembakaran di dalam ruang bakar. Semakin tinggi kandungan O₂ pada gas buang, semakin banyak oksigen yang tidak bereaksi secara optimal dengan bahan bakar selama proses pembakaran. Kondisi tersebut dapat terjadi apabila proses pembakaran berlangsung kurang sempurna atau pencampuran udara dan bahan bakar tidak berlangsung secara optimal. Sebaliknya, apabila kandungan O₂ pada gas buang lebih rendah, dapat diindikasikan bahwa oksigen yang tersedia dalam campuran udara–bahan bakar lebih banyak bereaksi selama proses pembakaran sehingga pembakaran berlangsung lebih efektif [22]. Namun, interpretasi tersebut berlaku apabila kondisi campuran udara dan bahan bakar, *idle*, serta variabel pengujian lainnya berada dalam kondisi konstan. Hal ini karena kadar O₂ pada gas buang juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain, seperti rasio udara dan bahan bakar serta kemungkinan kebocoran pada sistem pembuangan. Fenomena ini sesuai dengan teori pembakaran pada *engine spark ignition* yang menyatakan bahwa komposisi gas buang dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas proses pembakaran di dalam silinder.

Pada sistem pengapian *direct ignition*, percikan bunga api yang dihasilkan cenderung lebih stabil dan memiliki energi pengapian yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pengapian konvensional. Percikan bunga api yang lebih kuat serta kontrol waktu pengapian yang lebih presisi memungkinkan terbentuknya *flame kernel* yang lebih baik sehingga proses penyebaran api di dalam ruang bakar menjadi lebih optimal [21]. Kondisi ini menyebabkan reaksi antara bahan bakar dan oksigen berlangsung lebih maksimal sehingga sisa oksigen yang keluar bersama gas buang menjadi lebih sedikit.

Sebaliknya, pada sistem pengapian *contact point*, kestabilan percikan bunga api sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen mekanis, seperti platina dan kondensor. Komponen tersebut dapat mengalami keausan atau perubahan celah kontak akibat pemakaian sehingga menyebabkan arus listrik pada koil pengapian menjadi kurang stabil. Ketidakstabilan percikan bunga api ini dapat mengakibatkan proses pembakaran tidak berlangsung secara optimal sehingga sebagian oksigen tidak ikut bereaksi di dalam ruang bakar dan keluar bersama gas buang dalam jumlah lebih besar [23].

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, modifikasi sistem pengapian dari *contact point* menjadi *direct ignition* (DI) pada *engine* 5K menunjukkan peningkatan kualitas proses pembakaran berdasarkan penurunan rata-rata emisi CO, HC, dan O₂. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan emisi gas CO sebesar 0,2–0,8% dan penurunan HC sekitar

201,5 ppm vol, serta penurunan kandungan O₂. Pola perubahan ketiga parameter emisi tersebut secara konsisten mengindikasikan bahwa proses pembakaran menjadi lebih sempurna, dengan bahan bakar yang lebih banyak teroksidasi secara optimal. Hasil penelitian ini memperkuat teori bahwa peningkatan kualitas sistem pengapian, khususnya kestabilan percikan bunga api dan presisi *ignition timing*, berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan emisi gas buang. Secara teoritis, penurunan emisi tersebut dapat dikaitkan dengan karakteristik sistem *direct ignition* yang memiliki kestabilan percikan api dan presisi waktu pengapian yang lebih baik dibandingkan dengan sistem pengapian *contact point*, sehingga proses pembakaran pada *engine* cenderung berlangsung lebih optimal.

Kandungan emisi gas CO yang dihasilkan masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023. Penerapan sistem *direct ignition* memberikan kontribusi positif dalam menurunkan emisi gas buang sehingga berpotensi menjadi solusi teknis yang aplikatif dalam upaya pengendalian pencemaran udara, khususnya pada kendaraan bermotor dengan teknologi *engine* lama, serta mendukung upaya pengurangan emisi kendaraan.

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, rekan dalam penelitian, dosen pembimbing, laboran *workshop* otomotif, ketua Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif UPI, serta semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam penelitian ini.

6 Referensi

- [1] D. Puspita dan N. Nugraheni, “ENERGI BERSIH TERJANGKAU DALAM MEWUJUDKAN TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN (SDGs),” JURNAL SOSIAL DAN SAINS, vol. 3, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <http://sosains.greenvest.co.id>
- [2] T. Kuramochi dkk., “Beyond national climate action: the impact of region, city, and business commitments on global greenhouse gas emissions,” Climate Policy, vol. 20, no. 3, hlm. 275–291, Mar 2020, doi: 10.1080/14693062.2020.1740150.
- [3] M. E. A. Razek, G. E. M. Nasr, M. A. Baiomy, A. Z. Taieb, dan M. Refai, “Exhaust emissions gases effects on environmental pollution and processing technologies,” EuroMediterr. J. Environ. Integr., vol. 10, no. 1, hlm. 361–376, Feb 2025, doi: 10.1007/s41207-024-00577-1.
- [4] J. Suwignyo, F. Abdillah, dan F. Zuhda Bahtiar, “PENGARUH PENAMBAHAN KAPASITOR PADA SISTEM PENGAPIAN AC (ALTERNATING CURRENT) DAN VARIASI BUSI TERHADAP EMISI GAS BUANG PADA SEPEDA MOTOR 4 TAK 100 CC,” 2025.
- [5] A. T. Kirkpatrick dan K. K. Kuo, Principles of combustion. John Wiley & Sons, 2024.
- [6] A. Hamid dan B. Rahmat, “Analisis Performa Mesin Sepeda Motor dan Emisi Gas Buang Akibat,” 2024.
- [7] J. Heywood, “Internal combustion *engine* fundamentals,” 2018.
- [8] P. Brijesh dan S. Sreedhara, “Exhaust emissions and its control methods in compression ignition *engines*: a review,” International Journal of Automotive Technology, vol. 14, no. 2, hlm. 195–206, 2013.
- [9] A. Ainun Ikbal dan I. Prasetyo, “PERBANDINGAN SISTEM PENGAPIAN *CONTACT POINT*, TRANSISTOR CONTROLLED IGNITION (TCI-K) DAN PENGAPIAN FULL TRANSISTOR TERHADAP EMISI GAS BUANG PADA MOBIL L300 BENSIN 1500 CC,” Okt 2022.
- [10] J. Ängeby, “Spark Ignition System for Alternative Fuels – Robust Ignition, Minimized Spark Plug Wear and Combustion Process Diagnostics,” 2021, hlm. 345–368. doi: 10.1007/978-3-658-35588-3_20.
- [11] R. A. M. Noor, “MODIFIKASI CONTACT POINT IGNITION SYSTEM MENJADI DISTRIBUTORLESS IGNITION SYSTEM (DLI) UNTUK OPTIMALISASI SISTEM PENGAPIAN,” torsi, vol. 397, 2014.
- [12] L. Rusdiyana, B. Sampurno, S. Hadi, dan I. N. Sutantra, “Analisis Sistem Analisis Sistem Pengapian : Distributor Ignition System dan Distributorless Ignition System sebagai Upaya Meningkatkan Kualitas Pembakaran,” Apr 2014.

- [13] A. Sunday A, O. Temitayo S, N. Longinus E, dan ting Tin T, “Development of an Advanced Electronic Ignition System for Improved Fuel Efficiency in Internal Combustion *Engines*,” International Journal of Heat and Technology, vol. 43, hlm. 2128–2134, Des 2025.
- [14] S. Yu dan M. Zheng, “Future gasoline *engine* ignition: A review on advanced concepts,” International Journal of Engine Research, vol. 22, no. 6, hlm. 1743–1775, Jun 2021, doi: 10.1177/1468087420953085.
- [15] Z. Zhao dkk., “Study on Combustion and Emissions of a Combined Injection Spark Ignition *Engine* with Natural Gas Direct Injection Plus Ethanol Port Injection under Lean-Burn Conditions,” ACS Omega, vol. 7, no. 25, hlm. 21901–21911, Jun 2022, doi: 10.1021/acsomega.2c02154.
- [16] Sugiyono, “METODE PENELITIAN KUANTITATIF, KUALITATIF, DAN R&D,” Bandung, 2013.
- [17] H. Bimantara dan N. N. Farida, “EFFECT OF IGNITION TIMING CHANGES ON EXHAUST EMISSIONS IN KEN AROK URBAN CAR FUELED BY ETHANOL E100,” 2024. doi: <https://doi.org/10.33795/j-meeg.v3i1.3947>.
- [18] C. Gong, Z. Li, Y. Chen, J. Liu, F. Liu, dan Y. Han, “Influence of ignition timing on combustion and emissions of a spark-ignition methanol *engine* with added hydrogen under lean-burn conditions,” Fuel, vol. 235, hlm. 227–238, Jan 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2018.07.097.
- [19] G. E. Fardon, “Ignition Systems,” dalam Mechanical Prime Movers, Springer, 1971, hlm. 125–132.
- [20] M. Ali Sera, “OPTIMASI DAYA MESIN DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR MESIN TOYOTA SERI 5K MELALUI PENGGUNAAN PENGAPIAN BOOSTER,” SINERGI, vol. 19, No.3, Okt 2015.
- [21] R. Stone, “Introduction to Internal Combustion *Engines*,” 1992.
- [22] R. G. Papagiannakis, D. C. Rakopoulos, dan C. D. Rakopoulos, “Evaluation of the Air Oxygen Enrichment Effects on Combustion and Emissions of Natural Gas/Diesel Dual-Fuel *Engines* at Various Loads and Pilot Fuel Quantities,” Energies (Basel)., vol. 11, no. 11, hlm. 3028, Nov 2018, doi: 10.3390/en11113028.
- [23] Willard W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Second. United States of America: Pearson Education Limited, 2014.