

## IDENTIFIKASI UNJUK KERJA MESIN 4 LANGKAH VARIASI BUSI DAN KOIL PENGAPIAN

Rouf Muhammad<sup>1a</sup>, Rizki Dwi Ardika<sup>2</sup>, Andi Ibrahim Soumi<sup>3</sup>, Wibi Pramanda<sup>4</sup>, Muhamad Safi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa

<sup>4</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Politeknik Jambi

Korespondensi:

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo

alamat email: rouf@unsiq.ac.id

### ABSTRAK

Busi memainkan peran penting dalam sistem ignisi sepeda motor karena merupakan komponen yang menghasilkan percikan api di dalam ruang bakar untuk memulai reaksi pembakaran. Riset ini memiliki tujuan mengidentifikasi unjuk kerja mesin pengaruh variasi tiga busi dan dua koil pengapian terhadap paramter torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan emisi. Tiga busi tersebut memiliki dimensi celah busi dan material yang berbeda. Pengujian mesin dilakukan pada mesin empat langkah kapasitas 110cc. Hasil pengujian terdapat temuan Terdapat busi dengan gap yang optimal untuk kinerja mesin berupa torsi dan daya pada konfigurasi B2 yang memiliki gap 0.8 mm. Bahwa ada peningkatan kinerja mesin dengan diikuti perbesaran gap busi akan tetapi ada penurunan juga pada saat perbesaran gap busi. Konsumsi bahan bakar terdapat titik optimal di konfigurasi B2, dimana gap busi ada perbesaran maka konsumsi bahan bakar mengalami penurunan dan adanya penambahan gap busi konsumsi bahan bakar mengalami kenaikan. Emisi gas buang juga mengalami titik optimal di konfigurasi B2, dimana gap busi semakin lebar HC, CO mengalami penurunan, akan tetapi gap busi diperbesar lagi emisi gas buang mengalami kenaikan. Singkat dari riset penggunaan busi dengan gap elektroda dan koil pengapian untuk kinerja mesin, konsumsi bahan bakar dan emisi. Hal ini dapat memberikan wawasan sebagai referensi strategi pemakaian busi dan koil pengapian.

**Kata kunci:** Busi, Kinerja Mesin, Gap Busi, koil pengapian, Emisi

### ABSTRACT

*Spark plugs play an important role in a motorcycle's ignition system because they are the components that generate sparks in the combustion chamber to start the combustion reaction. This research aims to identify the engine performance of three spark plugs and two ignition coils in terms of torque, power, fuel consumption, and emission parameters. The three spark plugs have different spark plug gap dimensions and materials. We conducted engine testing on a 110-cc four-stroke engine. The test results found that there is a spark plug with an optimal gap for engine performance in the form of torque and power in the B2 configuration, which has a gap of 0.8 mm. There is an increase in engine performance followed by an enlargement of the spark plug gap, but there is also a decrease when enlarging the spark plug gap. There is*

*an optimal point of fuel consumption in configuration B2, where the spark plug gap is enlarged, fuel consumption decreases, and the addition of the spark plug gap increases fuel consumption. Exhaust emissions also experience an optimal point in the B2 configuration, where the wider the spark plug gap, HC and CO decrease, but when the spark plug gap is enlarged again, exhaust emissions increase. To summarize the research on the use of a spark plug with an electrode gap and an ignition coil for engine performance, fuel consumption, and emissions. This can provide insight into a reference strategy for the use of spark plugs and ignition coils.*

**Keywords:** Spark plugs, Engine Performance, Spark plugs gap, Ignition coils, Emissions

## 1. PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di sektor otomotif terjadi dengan sangat pesat. Banyak kendaraan bermotor modern kini dilengkapi dengan mesin berteknologi tinggi. Dengan adanya kemodernan teknologi ini, produsen otomotif mempromosikan komponen untuk kendaraan guna memaksimalkan unjuk kerja mesinnya(1). Salah satu busi, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, sangat krusial dalam meningkatkan kinerja(2). Saat ini, terdapat berbagai macam desain busi yang tersedia di pasaran. Memahami perbedaan di antara desain yang ada bermanfaat dalam membantu mesin bekerja dengan baik dan efisien(3). Dalam sistem pengapian, busi diperlukan untuk membawa arus ke ruang bakar dan menghidupkan campuran kompresi udara dan bahan bakar(4).

Busi memainkan peran penting dalam sistem ignisi sepeda motor karena merupakan komponen yang menghasilkan percikan api di dalam ruang bakar untuk memulai reaksi pembakaran(5). Busi berperan dalam menghasilkan percikan api yang memicu proses pembakaran di dalam ruang bakar. Busi melepaskan energi listrik dari kumparan magnet dalam sistem pengapian melalui celah elektroda di ruang bakar(6). Bagian terpenting pula untuk menyalurkan energi listrik ke busi adalah koil pengapian. Dimana koil pengapian akan mengalirkan energi listrik untuk memberikan energi ke busi untuk menyalakan bunga api dalam ruang bakar agar terjadi proses pembakaran(7).

Diterima secara luas bahwa perkembangan awal nyala api sangat mempengaruhi fase pembakaran berikutnya(8). Oleh karena itu, perbedaan kecil dalam laju atau lokasi pembentukan kernel dapat menghasilkan variasi tekanan di dalam silinder yang signifikan(9). Pischinger dan Heywood(10) menemukan bahwa variasi siklik propagasi nyala api di dekat busi mempengaruhi jumlah pelepasan panas di celah busi dan ini sangat mempengaruhi apa yang disebut sudut pembakaran cepat. Faktor utama ketidakstabilan pembakaran seperti yang diklasifikasikan oleh Heywood (11) adalah aerodinamika dalam silinder selama pembakaran, jumlah bahan bakar, udara dan gas buang daur ulang yang disuplai ke silinder, dan komposisi campuran lokal di dekat busi.

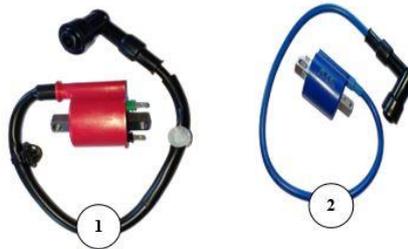
Penelitian yang dilakukan oleh Antono, A.D, dkk(1) dengan mengidentifikasi parameter torsi dan daya mendapatkan bahwa dengan jarak celah elektroda busi mempengaruhi performa mesin. Begitu pula riset yang dilakukan oleh Supriyanto, A.J, dkk (12), mengatakan menentukan celah elektroda busi untuk mencapai performa mesin yang optimal. Berdasarkan studi literatur riset akan dilakukan uji performa mesin secara langsung dengan menggunakan tipe busi dan koil pengapian.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Riset yang dilakukan pengujian secara langsung dengan motor otto 4 langkah kapasitas 110cc yang ditunjukkan spesifikasi pada tabel 1. Riset dilakukan dengan beberapa alat yaitu dyno test untuk mengidentifikasi parameter torsi dan daya, untuk mengidentifikasi gas emisi memakai alat gas analyzer dan yang terakhir menghitung konsumsi bahan bakar menggunakan buret dan stopwatch. Untuk variasi riset ini memakai busi standar, iridium dan platinum dengan spesifikasi masing-masing ditunjukkan di Tabel 2 dan ditampilkan Gambar 1. Dalam riset ini juga memvariasikan koil pengapian yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 1. A) Busi merek Denso U27EPR-9, B) Busi Platinum merek NGK CR7HGP, C) Busi Iridium merek Ignimax



Gambar 2. 1) Koil pengapian merek tipe SP76 dan 2) Koil pengapian merek tipe KB-108

Tabel 1. Detail motor dengan mesin 110cc

Kategori Mesin	Berlangkah 4, SOHC pendingin dengan cairan
Size Mesin	110cc
Langkah x Diameter	55,1 mm x Ø 50 mm
Kompresi pendinginan	9,5 : 1
Daya	6,4 kW
Torsi	9,1 Nm
Kerja pelumas	Basah
Operasi Gigi	Automatic
Kerja pembakaran	Injection
Jenis kopling	Automatic, Kering, Sentrifugal

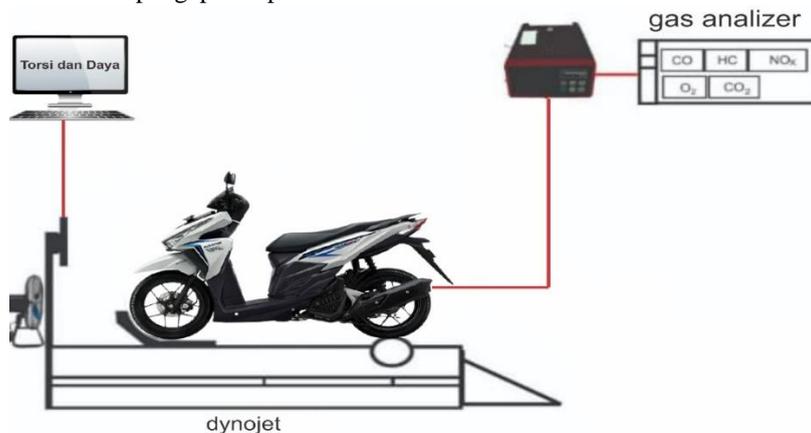
Tabel 2. Detail Busi

Parameter	Busi		
	merek Denso U27EPR-9	Platinum merek NGK CR7HGP	Iridium merek Ignimax
Gap (Celah Elektroda)	0.9 mm	0.8	0.7
Diameter tengah Elektroda	2.5 mm	2.5	0.6
Material Elektroda	Nikel	Platinum	Iridium

Pada riset ini pengambilan data dengan penamaan A1, B1, dan C1 dimana ketiga busi dengan memakai koil pengapian tipe SP76 dan A2, B2 dan C2 dimana ketiga busi memakai koil pengapian tipe KB-108. Alat dan bahan yang digunakan harus disiapkan terlebih dahulu dan direncanakan agar berjalan lancar, untuk skema riset disajikan pada gambar 3. Untuk langkah percobaan sebagai berikut:

1. Menghidupkan kipas pembuangan dari knalpot.
2. Menyalakan mesin motor.

3. Menyalakan gas analyzer dan memasukkan sensor gas analyzer ke knalpot untuk mengetahui gas emisi.
4. Memutar *throttle* untuk menaikkan putaran mesin dengan cepat pada putaran yang maksimal.
5. Menurunkan secara perlahan putaran mesin.
6. Pada pengambilan data gas emisi pada putaran 6000, 6500, 7000, 7500, 8000 rpm dilakukan pencatatan pada pembaca gas analyzer.
7. Untuk pencatatan data konsumsi bahan bakar, dibaca pada buret di saat pada angka nol *stopwatch* dihidupkan untuk mengukur waktu pemakaian bahan bakar.
8. Melakukan pencatatan waktu di saat bahan bakar di buret terpakai sampai 3 ml dan dilakukan pada putaran mesin 6000, 6500, 7000, 7500, 8000 rpm.
9. Dilakukan berulang dengan variasi pemakaian busi 3 tipe dan koil pengapian 2 dengan penamaan A1, B1, C1 untuk 3 tipe busi memakai koil pengapian tipe SP76 dan A2, B2 dan C2 dimana 3 tipe busi memakai koil pengapian tipe KB-108.



**Gambar 1. Skema Riset**

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

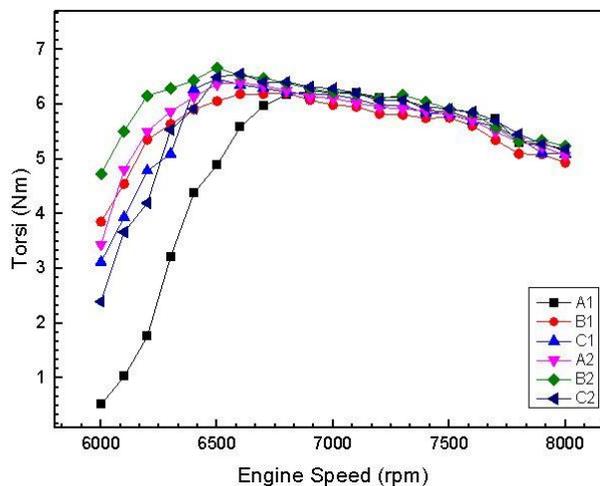
Dalam riset memvariasikan penggunaan 3 busi dan 2 koil pengapian yang dimaksud bahwa A1, B1, C1 yaitu penggunaan 3 jenis busi dan 1 koil pengapian tipe SP76 dan A2, B2 dan C2 dimana 3 tipe busi memakai koil pengapian tipe KB-108. Riset mengidentifikasi unjuk kerja mesin, konsumsi bahan bakar dan emisi, Pengujian didapatkan hasil yang disajikan sebagai berikut:

#### 3.1 Torsi dan Daya

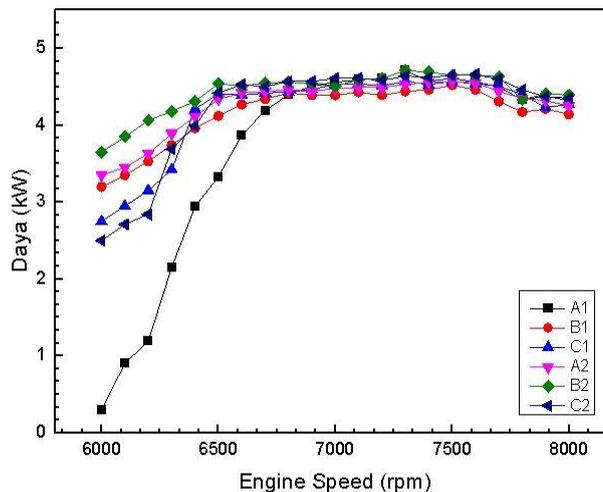
Hasil dari pengujian daya diperlihatkan pada Gambar 4 terjadi kenaikan, setiap pengujian dengan konfigurasi A1,B1, C1, A2, B2, dan C2. Pada pengujian pada variasi A1 terjadi maksimum torsi di putaran mesin 6852.51 rpm dengan nilai torsi 6.33 Nm. Pada pengujian variasi B1 terjadi maksimum torsi pada putaran mesin 6648.48 rpm dengan torsi 6.28 Nm. Untuk pengujian variasi C1 pada putaran mesin 6487.94 rpm torsi maksimumnya adalah 6.48 Nm. Untuk eksperimen variasi A2 nilai maksimumnya sebesar 6.44 Nm posisi putaran mesin 6566.26 rpm. Kali ini di pengujian B2 posisi putaran mesin 6500.02 rpm dengan nilai torsi optimal sebesar 6.67 Nm. Untuk pengujian C2 nilai maksimum torsinya adalah 6.59 Nm pada putaran mesin 6568.27 rpm. Berdasarkan temuan, busi material iridium dan platinum menunjukkan performa lebih baik dibandingkan dengan busi konvensional(13) dan dengan nilai tersebut dikatakan bahwa konfigurasi B2 mendapatkan torsi paling optimal dibandingkan dengan konfigurasi C1,C2 dengan busi gap 0.7 mm dengan persentase kenaikan 1.21% karena konfigurasi B2 memakai busi dengan gap busi 0.8 mm dan koil pengapian, dimana gap busi mempengaruhi performa mesin(14)(15), akan tetapi untuk variasi gap yang optimal dibuktikan dengan konfigurasi A1,A2 dengan gap busi 0.9 dengan persentase penurunan 3.6%. Fenomena ini menunjukkan adanya celah busi yang paling cocok untuk energi penyalan tertentu, dengan mempertimbangkan ukuran

dan kualitas percikan api yang dihasilkan. Gap busi menentukan besar kecilnya inti api penyalan, dan gap busi serta energi penyalan bersama-sama menentukan kualitas inti api penyalan(16).

Hasil daya dari pengujian dilakukan diperlihatkan di Gambar 5 dimana daya terjadi peningkatan, setiap pengujian dengan konfigurasi A1,B1, C1, A2, B2, dan C2. Untuk pada pengujian dengan konfigurasi A1 terjadi maksimum daya di putaran mesin sebesar 7294.45 rpm dengan nilai daya sebesar 4.69 kW. Pada saat pengujian dengan konfigurasi B1 terjadi maksimum daya pada putaran mesin 7485.94 rpm dengan nilai daya sebesar 4.53 kW. Untuk di saat pengujian dengan konfigurasi C1 pada putaran mesin sebesar 7468.36 rpm daya maksimumnya adalah sebesar 4.59 kW. Untuk eksperimen yang dilakukan pada konfigurasi A2 nilai maksimumnya daya yaitu 4.57 kW terjadi pada putaran mesin sebesar 7501.14 rpm. Kali ini di saat dilakukannya pengujian konfigurasi B2 pada putaran mesin yaitu 7286.93 rpm dengan nilai daya maksimum besar nilainya adalah 4.73 kW. Pada saat pengujian diperoleh data dengan konfigurasi C2 nilai maksimum daya adalah 4.67 kW pada putaran mesin sebesar 7457.00 rpm. Berdasarkan data terdapat temuan, busi material iridium dan platinum menunjukkan performa lebih baik dibandingkan dengan busi konvensional(13), dan dengan nilai tersebut dikatakan bahwa konfigurasi B2 busi dengan gap 0.8 mm menghasilkan daya yang optimal dibandingkan dengan C1, C2 dengan busi gap 0.7 mm dengan persentase kenaikan 1.28%. Akan tetapi dengan konfigurasi A1,A2 dengan gap busi 0.9 mengalami penurunan daya dengan persentase 3.5%, Fenomena ini berarti terdapat celah busi yang optimal untuk energi penyalan tertentu dengan mempertimbangkan ukuran penyalan dan kualitas penyalan (17).



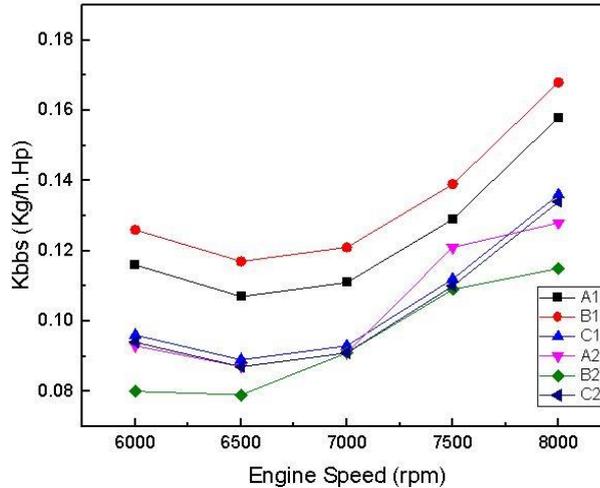
Gambar 2. Performa Mesin Torsi



Gambar 3. Performa Mesin Daya

### 3.2 Konsumsi Bahan Bakar

Hasil dari akumulasi data performa mesin konsumsi bahan bakar ditampilkan gambar 6 dimana semua konfigurasi mengalami posisi putaran 7000 rpm. Di saat konfigurasi A1 putaran 8000 rpm dengan konsumsi bahan bakar 0.158 Kg/h.Hp. Pengujian konfigurasi B1 di saat putaran mesin 8000 rpm konsumsi bahan bakar 0.168 Kg/h.Hp. Pengujian dengan konfigurasi C1 memperoleh angka konsumsi bahan bakar 0.136 Kg/h.Hp di putaran 8000 rpm. Pengujian dengan konfigurasi A2, B2, dan C2 menghasilkan konsumsi bahan bakar masing-masing nilasi 0.128 Kg/h.Hp, 0.115 Kg/h.Hp dan 0.134 Kg/h.Hp pada putaran 8000 rpm. Berdasarkan tren kurva konsumsi bahan bakar ada temuan, bahwa pada pengujian dengan konfigurasi B2 paling rendah untuk konsumsi bahan bakar dipadankan dengan konfigurasi yang lain. Busi dengan gap ada fenomena yang optimal di saat parameter konsumsi bahan bakar.

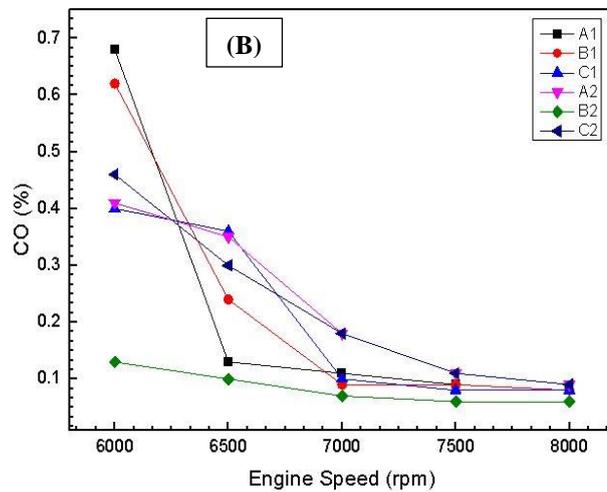
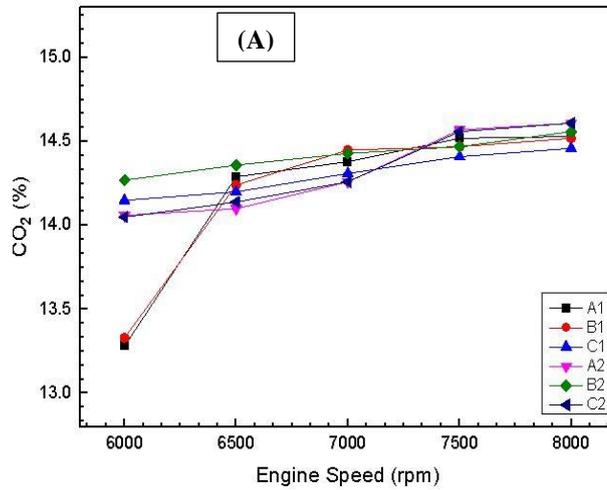


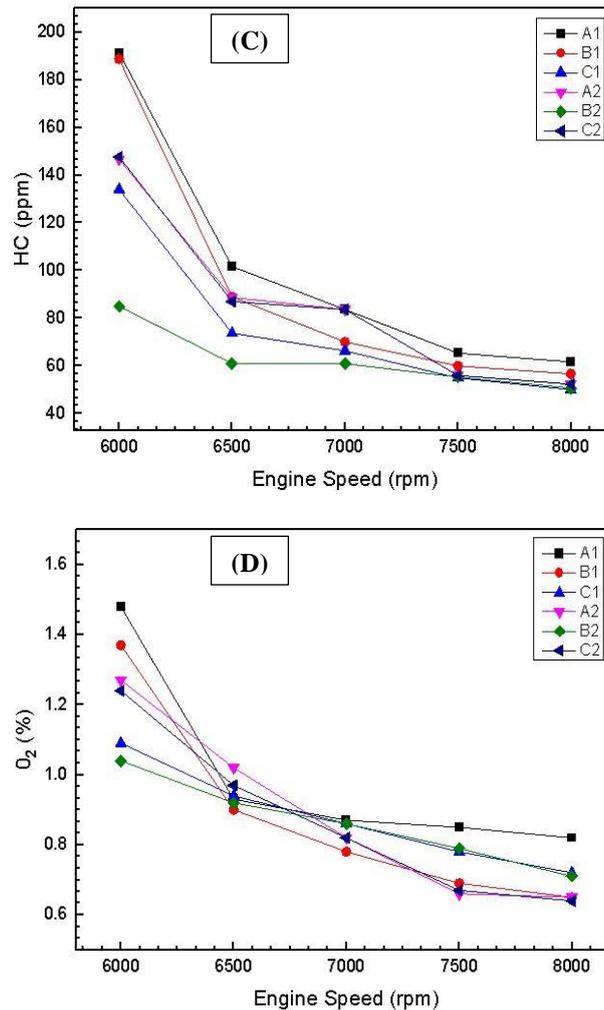
Gambar 4. Performa Mesin Konsumsi Bahan Bakar

### 3.3 Emisi

Berdasarkan Gambar 7 untuk emisi antara lain  $\text{CO}_2$ , CO, HC,  $\text{O}_2$  menunjukkan jika di putaran mesin yang tinggi emisi gas buang semuanya mengalami penurunan kecuali  $\text{CO}_2$ . Gambar 7 (A) menunjukkan hasil emisi gas buang berupa karbon monoksida ( $\text{CO}_2$ ) mengalami kenaikan di saat sepeda motor dinyalakan pada putaran yang tinggi yaitu pada putaran mesin 8000 rpm. Untuk percobaan A1 dimana dihasilkan  $\text{CO}_2$  sebesar 14.53 %. Di saat pengujian konfigurasi menghasilkan  $\text{CO}_2$  sebesar 14.52 %. Untuk pengujian konfigurasi C1 menghasilkan  $\text{CO}_2$  sebesar 14.46 %. Untuk pengujian konfigurasi A2 dengan nilai  $\text{CO}_2$  sebesar 14.61 %. Pengujian konfigurasi B2 didapatkan nilai  $\text{CO}_2$  sebesar 14.56 % dan data C2 didapatkan nilai  $\text{CO}_2$  sebesar 14.61 %. Untuk dalam proses pembakaran yang sempurna kadar karbon dioksida sangat diharapkan, disebabkan tinggi kadar karbon dioksida yang dihasilkan pada proses pembakaran suatu mesin, akan lebih efektif. Pada pengujian yang dilakukan ini untuk hasil kadar karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) tinggi dengan diikuti putaran mesin yang tinggi. Gambar 7 (B) memperlihatkan hasil kadar monoksida (CO). Untuk percobaan konfigurasi A1 dimana dihasilkan CO sebesar 0.08 %. Di saat pengujian konfigurasi B1 dihasilkan CO sebesar 0.08 %. Untuk data konfigurasi C1 dihasilkan CO sebesar 0.08 %. Untuk pengujian A2 dihasilkan nilai CO sebesar 0.09 %. Pada pengujian konfigurasi B2 didapatkan nilai CO sebesar 0.06 % dan untuk pengujian konfigurasi C2 didapatkan nilai CO sebesar 0.09 %. Tingkat emisi karbon monoksida (CO) pada mesin diatur oleh campuran udara terhadap bahan bakar. Pada saat sepeda motor berjalan padacampuran udara dengan bahan bakar yang tinggi, karbon monoksida (CO) diproduksi. Tidak ada cukup oksigen untuk mengubah semua tingkat karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), sehingga ada sisa bahan bakar tidak terproses pada saat pembakaran, dan ada sisa karbon pada akhirnya akan menjadi CO. Gambar 7 (C) menunjukkan hasil kadar hidrokarbon (HC), untuk percobaan konfigurasi A1 dimana dihasilkan HC sebesar 61.67 ppm. Di saat pengujian konfigurasi B1 dihasilkan HC sebesar 56.67 ppm. Untuk pengujian konfigurasi C1 dihasilkan HC sebesar 50.00 ppm. Pengujian konfigurasi A2 dihasilkan jumlah HC sebesar 52.33 ppm. Ketika di saat pengujian B2 didapatkan jumlah HC sebesar 50.67 ppm dan untuk pengujian konfigurasi C2 didapatkan nilai HC sebesar 52.33 ppm. Kandungan hidrokarbon tersebut merupakan hasil dari suatu proses ignisi di saat bahan bakar tidak dapat di proses ignisi pada ruang bakar. Sudah dilakukan penelitian tentang emisi HC, campuran udara-bahan bakar

tidak seimbang atau tidak stokiometri, sehingga tidak sempurna dalam proses ignisi. Peningkatan kadar emisi hidrokarbon menunjukkan bahwa unjuk kerja mesin semakin menurun. Gambar 8 (D) menunjukkan hasil pengujian untuk kadar Oksigen (O<sub>2</sub>). Untuk percobaan konfigurasi A1 dimana dihasilkan O<sub>2</sub> sebesar 0.82 %. Di saat pengujian konfigurasi B1 dihasilkan O<sub>2</sub> sebesar 0.65 %. Untuk pengujian menggunakan konfigurasi C1 dihasilkan O<sub>2</sub> sebesar 0.72 %. Pengujian konfigurasi A2 dihasilkan nilai O<sub>2</sub> sebesar 0.65 %. Pada pengujian konfigurasi B2 didapatkan nilai O<sub>2</sub> sebesar 0.71 % dan untuk pengujian C2 didapatkan nilai O<sub>2</sub> sebesar 0.64 %. Kandungan oksigen untuk dalam proses pembakaran harus seimbang untuk dikatakan stoikiometri atau pembakaran sempurna, bila di ruang bakar tersisa oksigen maka tidak terjadi pembakaran yang sempurna.





**Gambar 5. Emisi Gas Buang (A) CO<sub>2</sub>, (B) CO, (C) HC, (D) O<sub>2</sub>**

#### 4. KESIMPULAN

Uji motor dengan kapasitas 110cc mengidentifikasi secara langsung performa mesin untuk memperoleh pemahaman komprehensif tentang pengaruh variasi busi dan koil pengapian, dimana busi itu memiliki celah busi berbeda serta material busi berbeda terhadap kinerja mesin, konsumsi bahan bakar dan emisi. Analisis kinerja mesin, konsumsi bahan bakar dan emisi dengan busi dengan gap berbeda serta material berbeda, kesimpulan yang diambil dari pekerjaan ini sebagai berikut:

1. Terdapat busi dengan gap yang optimal untuk kinerja mesin berupa torsi dan daya pada konfigurasi B2 yang memiliki gap 0.8 mm. Bahwa ada peningkatan kinerja mesin dengan diikuti perbesaran gap busi akan tetapi ada penurunan juga pada saat perbesaran gap busi.
2. Konsumsi bahan bakar terdapat titik optimal di konfigurasi B2, dimana gap busi ada perbesaran maka konsumsi bahan bakar mengalami penurunan dan adanya penambahan gap busi konsumsi bahan bakar mengalami kenaikan
3. Emisi gas buang juga mengalami titik optimal di konfigurasi B2, dimana gap busi semakin lebar HC, CO mengalami penurunan, akan tetapi gap busi diperbesar lagi emisi gas buang mengalami kenaikan.

Singkat dari riset penggunaan busi dengan gap elektroda dan koil pengapian untuk kinerja mesin, konsumsi bahan bakar dan emisi. Hal ini dapat memberikan wawasan sebagai referensi strategi pemakaian busi dan koil pengapian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengungkapkan rasa bersyukur tertuju untuk Universitas Sains Al-Qur'an, Universitas Muhammadiyah Surakarta dan pihak yang terlibat.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 A. D. Antono, K. Setiyawan, and A. Nugroho, "Analisa Pengaruh Variasi Celah Elektroda Busi Terhadap Performa Pada Sepeda Motor Mesin 4," vol. 3, no. 1, pp. 134–141, 2024.
- 2 S. J. E. Sarwuna, W. M. E. Wattimena, and C. S. E. Tupamahu, "Kaji Pengaruh Penggunaan Tipe Busi Terhadap Kinerja Sepeda Motor Sebagai Sarana Transportasi," *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.30598/metiks.2021.1.1.1-8.
- 3 A. A. Abdel-Rehim, "Impact of spark plug number of ground electrodes on engine stability," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 307–316, 2013, doi: 10.1016/j.asej.2012.09.006.
- 4 P. H. Shu-yi, A. Khalid, S. Huang, and T. Li, "An overview of the spark plug engine profile in a spark ignition engine An overview of the spark plug engine profile in a spark ignition engine," 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1092/1/012030.
- 5 B. N. H. Ibrahim, A.H. Sebayang, J. Sutrisno, "A comparative study of the performance and exhaust emissions for standard and multi-electrode spark in SI engine," *Din. Tek. Mesin*, vol. 10(2), no. 2, pp. 141–151, 2020.
- 6 A. Mariani and F. Foucher, "Radio frequency spark plug: An ignition system for modern internal combustion engines," *Appl. Energy*, vol. 122, pp. 151–161, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.02.009.
- 7 S. Ramdani, "Analisis Pengaruh Variasi Cdi Terhadap Performa Dan Konsumsi Bahan Bakar Honda Vario 110cc," *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 3, p. 28, 2017, doi: 10.22441/jtm.v4i3.1271.
- 8 K. H. Lee and K. Kim, "Influence of initial combustion in SI engine on following combustion stage and cycle-by-cycle variations in combustion process," *Int. J. Automot. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 25–31, 2001.
- 9 J. C. Keck, "Early Flame Development and burning rates in SI engines and their cyclic variability," *SAE International Journal of Engines*, vol. 870164. 1987.
- 10 S. Pischinger and J. B. Heywood, "How heat losses to the spark plug electrodes affect flame kernel development in an si-engine," *SAE Tech. Pap.*, 1990, doi: 10.4271/900021.
- 11 J. B.LHeywood, *Internal Combustion Engine ( ICE ) Fundamentals*, vol. 21. 2015.
- 12 D. Wahyu, "Uji Kinerja Mesin Fiat 4-Tak dengan Kapasitas 1.100 CC Menggunakan Automotive Engine Test Bed T101D Fiat 4-Stroke Engine Performance Test with 1100 Cc Capacity Using Automotive Engine Test Bed T101D," *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Padang*, vol. 9, no. 2, pp. 2089–4880, 2019, (Online). Available: <https://e-journal.itp.ac.id/index.php/jtm>.
- 13 O. Baş, M. A. Akar, H. Serin, M. Özcanlı, and E. Tosun, "Variation of spark plug type and spark gap with hydrogen and methanol added gasoline fuel: Performance characteristics," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 50, pp. 26513–26521, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.110.
- 14 S. A. . Saputra and A. Ansori, "Pengaruh Pengaplikasian Oil Cooler Terhadap Suhu Oli Dan Peforma Mesin Pada Kendaraan Sepeda Motor Mega Pro Tahun 2011," *J. Pendidik. Tek. Mesin UNESA*, vol. 6, no. 02, pp. 68–75, 2017.
- 15 Moh, B. Ariani, H. Kusnanto, I. Sofana, and I. Syahrir, "Februari 2024, Hal. 123-127 J-Proteksion," *J. Kaji. Ilm. dan Teknol. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 2541–3562, 2024, doi: 10.32528/jp.v8i2.1529.
- 16 T. Badawy, X. C. Bao, and H. Xu, "Impact of spark plug gap on flame kernel propagation and engine performance," *Appl. Energy*, vol. 191, pp. 311–327, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.01.059.
- 17 X. Zhang and L. Chen, "The Synergy Effect of Ignition Energy and Spark Plug Gap on Methane Lean Combustion with Addressing Initial Flame Formation and Cyclic Variation," *ACS Omega*, vol. 8, no. 7, pp. 7036–7044, 2023, doi: 10.1021/acsomega.2c07897.