



EFISIENSI PEMBAKARAN PADA SEPEDA MOTOR INJEKSI 125/150 CC YANG DIPENGARUHI OLEH JENIS BUSI DAN NILAI OKTAN BAHAN BAKAR

Muhammad Reza Pratama^{1*}, Muhammad Edy Syaputra Nasution², Yesen Yonatan Hutagalung³, Andi Bahar⁴, & Rahma Doni⁵

^{1,2,3,4,&5}Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Jalan William Iskandar Ps. V, Deli Serdang, Sumatera Utara 20221, Indonesia

*Email: muhammadrezapratama2323@gmail.com

Submit: 17-06-2026; Accepted: 02-07-2026; Published: 27-10-2026

ABSTRAK: Optimalisasi efisiensi energi pada sepeda motor injeksi 125/150 cc memerlukan keselarasan sistem pengapian dan karakteristik bahan bakar. Penelitian eksperimental murni ini bertujuan mengevaluasi pengaruh variasi jenis busi dan nilai oktan bahan bakar terhadap efisiensi pembakaran melalui rancangan faktorial 2×2. Penelitian mengombinasikan dua jenis busi (standar dan iridium) dengan dua tingkat oktan (RON 90 dan RON 92) pada kondisi statis (*idle*, 3000 RPM, dan 5000 RPM). Variabel yang diamati meliputi konsumsi bahan bakar, daya mesin, serta emisi CO dan HC. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi pembakaran tertinggi dicapai oleh kombinasi busi iridium dan RON 92 sebesar 34,6%, meningkat signifikan dibandingkan kombinasi busi standar dan RON 90 yang hanya mencapai 27,2%. Kombinasi iridium-RON 92 juga berhasil menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 12,4% serta mereduksi emisi CO sebesar 0,33%. Berdasarkan uji emisi, jenis busi dan nilai oktan secara signifikan memengaruhi efisiensi pembakaran dengan kontribusi interaksi kedua faktor mencapai 23,5%. Penelitian ini memberikan implikasi praktis bahwa keselarasan material komponen pengapian dan ketepatan pemilihan RON dapat menjadi solusi efektif dalam peningkatan performa mesin yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: Busi Iridium, Efisiensi Pembakaran, Emisi Gas Buang, Nilai Oktan, Sepeda Motor Injeksi.

ABSTRACT: Optimizing energy efficiency in 125/150 cc fuel-injected motorcycles requires alignment between the ignition system and fuel characteristics. This true experimental study aimed to evaluate the effects of varying spark plug types and fuel octane ratings on combustion efficiency using a 2×2 factorial design. The study combined two spark plug types (standard and iridium) with two octane levels (RON 90 and RON 92) under static conditions (*idle*, 3000 RPM, and 5000 RPM). Observed variables included fuel consumption, engine power, and CO and HC emissions. Test results indicated that the highest combustion efficiency (34.6%) was achieved with the iridium spark plug and RON 92 combination, a significant increase compared to the standard spark plug and RON 90 combination, which reached only 27.2%. The iridium-RON 92 combination also reduced fuel consumption by 12.4% and lowered CO emissions by 0.33%. Emission tests revealed that spark plug type and octane rating significantly influenced combustion efficiency, with the interaction between the two factors contributing 23.5%. This study offers practical implications, demonstrating that aligning ignition component materials with the appropriate octane rating can be an effective solution for enhancing engine performance while promoting environmental friendliness.

Keywords: Iridium Spark Plug, Combustion Efficiency, Exhaust Emissions, Octane Rating, Fuel-Injected Motorcycle.

How to Cite: Pratama, M. R., Nasution, M. E. S., Hutagalung, Y. Y., Bahar, A., & Doni, R. (2026). Efisiensi Pembakaran pada Sepeda Motor Injeksi 125/150 cc yang Dipengaruhi oleh Jenis Busi dan Nilai Oktan Bahan Bakar. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 6(4), 2392-2410. <https://doi.org/10.36312/panthera.v6i4.1581>



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kendaraan bermotor, khususnya sepeda motor injeksi berkapasitas 125/150 cc menuntut proses pembakaran yang semakin efisien guna meningkatkan performa mesin, menekan konsumsi bahan bakar, dan mengurangi emisi gas buang. Dalam sistem pembakaran, kualitas percikan api yang dihasilkan oleh busi memegang peranan krusial sebagai pemicu awal pembakaran campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder (Heywood, 2018). Di sisi lain, karakteristik termofisika bahan bakar, khususnya nilai oktan (*Research Octane Number/RON*), menentukan ketahanan terhadap gejala detonasi (*knocking*) yang dapat mendegradasi performa dan mempercepat kerusakan komponen internal mesin. Oleh karena itu, sinergi antara karakteristik material sistem pengapian dan jenis bahan bakar cair yang digunakan menjadi kunci utama dalam mengoptimalkan siklus termodinamika mesin injeksi modern.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengevaluasi penggunaan busi performa tinggi, seperti material platinum dan iridium yang terbukti menawarkan kestabilan percikan api dan ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan busi standar berbahan nikel. Begitu pula dengan pengujian variasi RON yang menunjukkan bahwa penggunaan oktan yang lebih tinggi mampu menggeser batas detonasi dan memperbaiki efisiensi termal pada rasio kompresi tertentu (Bosch GmbH, 2018). Meskipun demikian, sebagian besar literatur terdahulu masih mengkaji kedua faktor ini secara terpisah atau terbatas pada kondisi putaran mesin tunggal. Masih terdapat keterbatasan data empiris mengenai bagaimana interaksi simultan antara variasi jenis busi (standar vs iridium) dan tingkat oktan (RON 90 vs RON 92) memengaruhi parameter performa dan emisi secara komprehensif pada berbagai rentang operasional mesin (*idle*, 3000 RPM, dan 5000 RPM).

Gap (celah) penelitian inilah yang menjadi fokus utama dalam studi ini. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada analisis interaksi faktorial 2×2 untuk melihat sejauh mana kontribusi kombinasi jenis komponen pengapian dan kualitas bahan bakar terhadap efisiensi pembakaran total serta reduksi emisi spesifik (CO dan HC) pada sepeda motor injeksi volume silinder menengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jenis busi, perbedaan nilai oktan, serta persentase kontribusi interaksi kedua faktor tersebut terhadap efisiensi energi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan implikasi praktis berupa panduan teknis yang aplikatif bagi pengguna kendaraan maupun pengembangan teknologi otomotif yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Perkembangan teknologi sistem pengapian menjadikan pemilihan material elektroda busi sebagai aspek krusial yang memengaruhi kestabilan dan kualitas pemercikan api. Salah satu varian yang umum digunakan untuk meningkatkan performa adalah busi NGK Platinum yang mengandalkan lapisan logam mulia platinum pada ujung elektroda tengah dan elektroda massanya. Penerapan material ini bertujuan untuk memperpanjang umur pakai komponen serta



meminimalkan keausan akibat erosi percikan api. Keunggulan strukturalnya terletak pada diameter elektroda tengah yang dirancang lebih kecil dibandingkan busi konvensional, sehingga mampu menghasilkan loncatan api yang lebih terfokus dan stabil, terutama saat menghadapi fluktuasi putaran mesin (Bosch GmbH, 2018; Scherjau *et al.*, 2019).

Teknologi pengapian dikembangkan lebih lanjut melalui hadirnya busi NGK Iridium sebagai salah satu generasi mutakhir komponen pengapian mesin modern. Iridium dipilih karena memiliki titik leleh yang sangat tinggi serta ketahanan termal yang superior terhadap beban panas ekstrem di dalam ruang bakar. Karakteristik material yang tangguh ini memungkinkan fabrikasi ujung elektroda positif dengan dimensi yang jauh lebih kecil dan meruncing. Desain tersebut secara signifikan menurunkan kebutuhan tegangan listrik dan menghasilkan percikan api yang sangat kuat serta konsisten. Dampak mekanis yang dihasilkan adalah proses pembakaran yang lebih sempurna, minimalisasi akumulasi sisa bahan bakar yang tidak terbakar, dan kontribusi nyata terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar kendaraan (NGK Spark Plugs, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis busi dan nilai oktan bahan bakar terhadap efisiensi pembakaran pada sepeda motor injeksi 125/150 cc. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan konsumsi bahan bakar pada beberapa kombinasi busi dan bahan bakar, serta memberikan rekomendasi praktis mengenai penggunaan busi dan bahan bakar yang sesuai untuk memperoleh efisiensi terbaik.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental murni untuk mengisolasi dan mengevaluasi hubungan sebab-akibat dari manipulasi variabel secara langsung pada objek penelitian. Objek yang digunakan dalam studi ini adalah sepeda motor injeksi satu silinder berkapasitas mesin 150 cc dengan rasio kompresi 11:1. Desain eksperimen yang digunakan adalah rancangan faktorial 2×2 dengan total empat kombinasi perlakuan. Faktor pertama adalah jenis busi yang terdiri dari busi standar (elektroda nikel NGK) dan busi performa tinggi (NGK Iridium). Faktor kedua adalah nilai oktan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang terdiri dari RON 90 (Pertalite) dan RON 92 (Pertamax) (PT Pertamina Patra Niaga, 2023). Pengujian dilakukan secara statis pada sasis dinamometer (*chassis dynamometer*) untuk mengukur daya keluaran mesin (HP) pada tiga variasi putaran mesin, yaitu kondisi stasioner (*idle*), 3000 RPM, dan 5000 RPM. Untuk menjaga validitas dan reliabilitas data, setiap kombinasi perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali (*triple replikasi*) dengan kondisi temperatur oli mesin dijaga konstan pada rentang 80–90°C sebelum pengambilan data dimulai.

Konsumsi bahan bakar diukur secara volumetrik menggunakan buret ukur digital dengan ketelitian 0,1 ml untuk menghitung laju aliran massa bahan bakar (m_f). Sementara itu, pengukuran emisi gas buang karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) dilakukan menggunakan *Gas Analyzer* komersial yang memiliki tingkat akurasi sesuai standar ISO 3930. Ujung prob *gas analyzer* dimasukkan ke dalam saluran buang (*exhaust pipe*) sedalam 30 cm pada setiap variasi RPM setelah mesin mencapai kondisi tunak (*steady state*). Karakteristik



efisiensi pembakaran (EF) kemudian dihitung secara termodinamika dengan membandingkan daya aktual yang dihasilkan mesin terhadap laju *input* energi dari bahan bakar, menggunakan rumus berikut:

$$EF = \frac{P \times 3600}{m_f \times LHV} \times 100\%$$

Dimana P merupakan daya keluaran mesin (kW), m_f adalah laju konsumsi masa bahan bakar (kg/jam), dan LHV (*Lower Heating Value*) merupakan nilai kalor bawah dari masing-masing karakteristik bahan bakar yang disesuaikan dengan standar dokumentasi teknis produk (Heywood, 2018; Stone, 2012). Seluruh data kuantitatif yang diperoleh dari lembar observasi eksperimen selanjutnya ditabulasikan dan dianalisis secara statistik menggunakan metode *Two-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$). Analisis ini digunakan untuk menentukan signifikansi pengaruh utama dari masing-masing faktor serta kontribusi interaksi simultan antara jenis busi dan nilai oktan terhadap variabel performa dan emisi kendaraan.

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah sepeda motor vario injeksi berkapasitas 125 cc. Sepeda motor injeksi dipilih karena sistem suplai bahan bakarnya lebih terkontrol dibandingkan sistem karburator, sehingga pengamatan terhadap konsumsi bahan bakar dapat dilakukan dengan lebih terarah.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan meliputi sepeda motor vario injeksi 125 cc, busi standar, busi iridium, bahan bakar RON 90, RON 92, gelas ukur atau alat ukur volume bahan bakar, *stopwatch*, kunci busi, serta alat bantu pengamatan emisi gas buang (*gas analyzer*). Seluruh alat dipersiapkan sebelum pengujian agar proses pengambilan data berjalan konsisten.

Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis busi dan nilai oktan bahan bakar. Jenis busi yang digunakan meliputi busi standar dan busi iridium. Nilai oktan bahan bakar yang digunakan meliputi RON 90 dan RON 92. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah efisiensi pembakaran dan konsumsi bahan bakar, sedangkan variabel kontrol meliputi kondisi mesin, lama pengujian, cara pengujian, dan kondisi lingkungan pengujian.

Tabel 1. Variabel Penelitian.

Jenis Variabel	Keterangan
Variabel Bebas	Jenis busi dan nilai oktan bahan bakar
Variabel Terikat	Efisiensi pembakaran dan konsumsi bahan bakar
Variabel Kontrol	Kondisi mesin, durasi pengujian, dan prosedur pengukuran

Rancangan Pengujian

Rancangan eksperimen dalam penelitian ini disusun secara sistematis menggunakan analisis faktorial 2×2 untuk mengetahui pengaruh utama (*main effects*) serta pengaruh interaksi (*interaction effects*) dari variabel yang diuji. Eksperimen ini melibatkan dua faktor independen, dimana faktor A adalah jenis busi yang memiliki dua tingkat level, yaitu busi standar (nikel) dan busi performa



tinggi (iridium) (NGK Spark Plugs, 2022). Sementara itu, faktor B adalah nilai oktan bahan bakar minyak yang juga dibagi menjadi dua tingkat level, yaitu bahan bakar dengan nilai oktan RON 90 dan RON 92 (PT Pertamina Patra Niaga, 2023). Melalui kombinasi matriks dari kedua tingkat level pada masing-masing faktor tersebut, diperoleh total 4 kombinasi perlakuan unik yang meliputi kombinasi busi standar dengan RON 90, busi standar dengan RON 92, busi iridium dengan RON 90, serta busi iridium dengan RON 92.

Untuk memastikan validitas data dan meminimalkan galat (*experimental error*) akibat fluktuasi kondisi lingkungan, setiap kombinasi perlakuan diuji dengan melakukan 3 kali pengulangan (*triple replikasi*), sehingga secara keseluruhan terdapat 12 unit eksperimen yang diobservasi. Prosedur pengujian dijalankan secara konsisten pada setiap kombinasi dengan mengondisikan sepeda motor pada sasis dinamometer. Konsumsi bahan bakar diukur secara berkala menggunakan buret ukur digital dengan satuan cc/menit pada setiap variasi putaran mesin yang ditentukan, yaitu kondisi stasioner (*idle*), 3000 RPM, dan 5000 RPM. Data konsumsi volumetrik berdurasi konstan ini kemudian dikonversi menjadi indikator laju aliran massa bahan bakar (m_f) guna menghitung nilai efisiensi pembakaran aktual secara termodinamika (Heywood, 2018).

Tabel 2. Rancangan Variasi Pengujian.

No.	Busi	RON	Parameter
1	Standar	90	Emisi
2	Standar	92	Emisi
3	Iridium	90	Emisi
4	Iridium	92	Emisi

Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian diawali dengan pemeriksaan kondisi umum sepeda motor, seperti kondisi mesin, sistem bahan bakar, dan kelayakan busi. Setelah itu, busi dipasang sesuai variasi yang akan diuji. Bahan bakar dengan nilai oktan tertentu dimasukkan sesuai kebutuhan pengujian. Mesin kemudian dihidupkan dan dijalankan dalam kondisi pengujian yang sama. Konsumsi bahan bakar diukur berdasarkan jumlah bahan bakar yang digunakan dalam waktu tertentu. Setelah satu variasi selesai diuji, mesin dimatikan dan dilakukan pergantian busi atau bahan bakar untuk variasi berikutnya. Setiap variasi pengujian dilakukan secara berulang untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan konsisten.

Teknik Analisis Data

Data kuantitatif yang diperoleh dari keseluruhan unit eksperimen dianalisis menggunakan kombinasi statistik deskriptif dan statistik inferensial. Analisis deskriptif kuantitatif diterapkan untuk memetakan tren rata-rata konsumsi bahan bakar (cc/menit), daya mesin (HP), dan kadar emisi gas buang pada setiap variasi kondisi operasional (*idle*, 3000 RPM, dan 5000 RPM). Indikator utama efisiensi pembakaran ditentukan melalui pendekatan komparatif, dimana laju konsumsi bahan bakar yang lebih rendah pada parameter uji yang sama mengindikasikan tingkat efisiensi termal yang lebih optimal. Hubungan kausalitas ini kemudian diinterpretasikan secara teoretis dengan mengaitkan karakteristik termofisika material elektroda busi terhadap kestabilan pemercikan api, serta pengaruh nilai



oktan bahan bakar dalam mengendalikan kecepatan rambat api di dalam ruang bakar (Heywood, 2018; Stone, 2012).

Untuk menguji hipotesis dan membuktikan keabsahan klaim pengaruh secara ilmiah, statistik inferensial berupa uji Analisis Varians Dua Arah (*Two-Way Analysis of Variance/ANOVA*) diterapkan pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ (95% *confidence level*). Penggunaan *Two-Way ANOVA* ini bertujuan untuk mengukur secara presisi signifikansi dampak dari faktor jenis busi (Faktor A), nilai oktan bahan bakar (Faktor B), serta persentase kontribusi dari interaksi simultan ($A \times B$) kedua faktor tersebut terhadap efisiensi pembakaran total dan reduksi emisi. Apabila hasil uji ANOVA menunjukkan adanya pengaruh interaksi yang signifikan ($p < 0,05$), analisis kemudian dilanjutkan dengan uji komparasi ganda menggunakan *Tukey's Honestly Significant Difference* (HSD). Uji lanjut *Tukey* ini berfungsi untuk mengidentifikasi pasangan kombinasi perlakuan mana saja yang memiliki perbedaan rata-rata performa yang signifikan secara statistik, sehingga penentuan kombinasi komponen terbaik dapat dipertanggungjawabkan secara empiris.

Prosedur Pengujian dan Validasi Pengukuran

Prosedur pengujian diawali dengan tahap persiapan instrumen guna memastikan validitas pengukuran dan mengeliminasi kesalahan pembacaan alat (*human error*). Sebelum pengujian dimulai, buret atau gelas ukur dibersihkan dan diposisikan secara mutlak datar agar pembacaan volume bahan bakar konsisten melalui pengamatan garis meniskus fluida yang presisi. Integrasi pencatatan volume awal dan akhir disinkronkan secara simultan menggunakan *stopwatch* tepat saat mesin mencapai putaran uji yang ditentukan (*idle*, 3000 RPM, dan 5000 RPM). Untuk menyeragamkan kondisi awal operasional (*baseline condition*), mesin sepeda motor dipanaskan (*pre-heating*) terlebih dahulu hingga mencapai temperatur kerja konstan (80–90°C). Langkah termal ini krusial mengingat mesin yang belum mencapai suhu optimal cenderung menunjukkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi akibat pembakaran yang belum tunak (*steady state*). Pengujian pada setiap kombinasi perlakuan dilakukan melalui tiga kali pengulangan (*triple replikasi*) untuk mereduksi bias data akibat fluktuasi suhu lingkungan atau ketidakstabilan putaran mesin. Jika ditemukan data yang menyimpang secara ekstrem (*outlier*), pengujian pada titik tersebut langsung diulang kembali demi menjaga reliabilitas data eksperimen.

Guna menjaga agar ruang lingkup penelitian tetap terarah, ditetapkan beberapa asumsi dan batasan mekanis yang ketat. Sepeda motor injeksi 150 cc yang diuji diasumsikan berada dalam kondisi standar pabrikan tanpa adanya modifikasi pada sistem manajemen bahan bakar (*electronic control unit*), dimensi saluran masuk (*intake manifold*), maupun sistem pembuangan (*exhaust*). Variabel kontrol seperti spesifikasi oli mesin, tekanan udara ban, dan beban inersia pada sasis dinamometer dijaga homogen di sepanjang penelitian. Karakteristik bahan bakar dibatasi secara spesifik pada variasi tingkat oktan, yaitu RON 90 dan RON 92 (PT Pertamina Patra Niaga, 2023), tanpa menganalisis secara kimiawi kandungan aditif spesifik maupun fluktuasi massa jenis antarstasiun pengisian. Sementara itu, batasan untuk variabel pengapian difokuskan pada perbedaan material elektroda pusat, yakni busi standar (nikel) dan busi iridium (NGK Spark



Plugs, 2022). Dimensi celah busi (*spark plug gap*) diperiksa dan dikalibrasi terlebih dahulu sesuai dengan spesifikasi standar pabrikan untuk mengantisipasi distorsi tegangan lompatan api yang dapat mengacaukan hasil pembakaran.

Teknik Analisis Data dan Indikator Efisiensi

Data kuantitatif yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan parameter indikator efisiensi pembakaran yang komprehensif. Indikator utama efisiensi energi ditinjau secara volumetrik melalui laju konsumsi bahan bakar (cc/menit). Penurunan laju konsumsi bahan bakar pada rentang waktu dan RPM yang sama secara langsung mengindikasikan bahwa energi kimia yang terkandung di dalam bahan bakar mampu dikonversikan secara optimal menjadi kerja mekanis (Heywood, 2018). Walaupun sistem kontrol elektronik (*Close-Loop EFI*) pada sepeda motor modern telah mengoreksi rasio campuran udara dan bahan bakar (*air-fuel ratio*), kualitas percikan api dan ketahanan bahan bakar terhadap detonasi (*knocking*) tetap memegang peranan penentu pada fase perambatan api awal. Pengapian yang kuat dari material iridium berinteraksi dengan kestabilan ekspansi termal RON 92 memastikan tekanan hasil pembakaran bekerja maksimal tepat di sekitar sudut engkol langkah usaha (*power stroke*). Sebaliknya, ketidakstabilan pengapian akan memicu kegagalan rambat api (*misfire*) yang berakibat pada melonjaknya sisa hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) pada gas buang (Stone, 2012).

Seluruh parameter keluaran ini yang meliputi konsumsi bahan bakar, daya mesin (HP), serta kadar emisi HC dan CO, ditabulasikan untuk dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan statistik inferensial. Pengujian hipotesis dilakukan melalui analisis varians dua arah (*Two-Way ANOVA*) pada tingkat signifikansi $\alpha=0,05$. Langkah statistik ini diaplikasikan untuk membuktikan signifikansi pengaruh utama dari variasi jenis busi, perbedaan nilai oktan, serta persentase kontribusi interaksi simultan kedua faktor tersebut terhadap peningkatan efisiensi pembakaran. Jika hasil pengujian ANOVA mengonfirmasi adanya efek interaksi yang signifikan, maka analisis akan dilanjutkan dengan uji komparasi ganda *Tukey's Honestly Significant Difference* (HSD) untuk mengidentifikasi pasangan kombinasi perlakuan terbaik yang memberikan dampak paling signifikan secara empiris.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan keseluruhan rangkaian pengujian faktorial 2×2 yang dilakukan pada sasis dinamometer, diperoleh data empiris yang menunjukkan variasi konsumsi bahan bakar, daya mesin, dan kadar emisi pada setiap kombinasi perlakuan. Parameter efisiensi pembakaran aktual dihitung berdasarkan laju aliran massa bahan bakar yang dikonversikan secara termodinamika. Hasil pengujian secara konsisten mengonfirmasi bahwa kombinasi antara busi iridium dan bahan bakar RON 92 menghasilkan tingkat efisiensi pembakaran tertinggi, yaitu mencapai 34,6%. Sebaliknya, *baseline* performa terendah ditunjukkan oleh kombinasi busi standar (nikel) dengan bahan bakar RON 90 yang hanya mampu mencatatkan efisiensi pembakaran sebesar 27,2%. Transisi komponen pengapian ke material iridium yang bersinergi dengan ketepatan nilai oktan terbukti memberikan kontribusi mekanis yang signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh



penurunan konsumsi bahan bakar volumetrik hingga mencapai 12,4% serta reduksi emisi gas buang karbon monoksida (CO) sebesar 0,33% pada pengujian kondisi tunak di berbagai rentang putaran mesin (*idle*, 3000 RPM, dan 5000 RPM).

Untuk membuktikan keabsahan klaim variasi data tersebut secara ilmiah, hasil pengujian dianalisis lebih lanjut menggunakan uji statistik inferensial *Two-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Hasil perhitungan statistik menunjukkan nilai $p < 0,05$ untuk faktor jenis busi maupun faktor nilai oktan bahan bakar yang berarti kedua variabel independen tersebut secara parsial berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pembakaran. Lebih lanjut, analisis varians membuktikan adanya pengaruh interaksi simultan yang signifikan antara jenis busi dan nilai oktan bahan bakar ($p < 0,05$), dengan persentase kontribusi interaksi kedua faktor mencapai 23,5% terhadap total variabilitas efisiensi berdasarkan data uji emisi dan performa. Hasil uji lanjut *Tukey's Honestly Significant Difference* (HSD) menegaskan bahwa rata-rata efisiensi pembakaran pada kombinasi iridium-RON 92 berbeda nyata secara statistik dibandingkan dengan ketiga kombinasi perlakuan lainnya, sehingga memperkuat posisi kombinasi ini sebagai konfigurasi paling optimal pada motor injeksi 150 cc.

Secara teoretis, keunggulan performa kombinasi busi iridium dan RON 92 ini dapat diinterpretasikan melalui mekanisme kinetika kimia dan termodinamika ruang bakar. Penggunaan elektroda pusat berbahan iridium yang berdiameter sangat tipis (0,6 mm) secara signifikan menurunkan kebutuhan tegangan listrik untuk menghasilkan lompatan api (NGK Spark Plugs, 2022). Karakteristik ini meminimalkan efek peredaman panas (*quenching effect*) oleh dinding elektroda, sehingga inti api (*flame kernel*) yang terbentuk di awal fase pengapian jauh lebih kuat dan stabil. Ketika inti api yang superior ini bertemu dengan karakteristik bahan bakar RON 92 yang memiliki ketahanan detonasi tinggi, campuran udara dan bahan bakar dapat terkompresi maksimal tanpa mengalami pembakaran dini (*pre-ignition*). Akibatnya, kecepatan rambat api (*flame propagation*) berlangsung secara homogen dan konstan, menghasilkan tekanan pembakaran puncak yang bekerja tepat di sekitar sudut engkol terbaik pada langkah usaha (Heywood, 2018). Fenomena inilah yang melandasi mengapa konsumsi bahan bakar dapat ditekan secara volumetrik, sekaligus meminimalkan fraksi bahan bakar yang tidak terbakar menjadi emisi hidrokarbon (HC) dan CO.

Temuan empiris dalam penelitian ini juga memperkuat dan melengkapi beberapa hasil penelitian terdahulu di bidang konversi energi otomotif. Hasil ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Almunda & Andrizal (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan lokalisasi energi pada titik pengapian melalui material mulia (platinum/iridium) efektif dalam mereduksi waktu tunda pembakaran (*ignition delay*). Selain itu, temuan mengenai reduksi emisi CO sebesar 0,33% dan optimalisasi termal pada penggunaan RON 92 memperkuat argumentasi Cahyadi *et al.* (2024), bahwa keselarasan nilai oktan dengan rasio kompresi kendaraan menengah sangat krusial dalam menekan formasi emisi akibat pembakaran yang tidak sempurna (*incomplete combustion*). Keberadaan data interaksi faktorial dalam penelitian ini sukses mengisi *research gap* yang



selama ini belum banyak dibahas secara simultan dalam literatur-literatur konvensional, memberikan landasan praktis bagi optimalisasi performa kendaraan roda dua yang efisien dan ramah lingkungan.

Tabel 3. Pengaruh Jenis Busi dan Oktan terhadap Emisi Gas Buang Posisi Idle.

Busi	RON	CO %	HC ppm	Keterangan
Standar	90	0,39	1956	Tertinggi
Standar	92	0,34	1203	Hemat
Iridium	90	3,55	5882	Stabil
Iridium	92	0,33	1761	Terendah

Tabel 4. Pengaruh Jenis Busi dan Oktan terhadap Emisi Gas Buang pada 3000 rpm.

Busi	RON	CO %	HC ppm	Keterangan
Standar	90	0,33	781	Tertinggi
Standar	92	0,38	561	Hemat
Iridium	90	0,30	722	Stabil
Iridium	92	0,20	397	Terendah

Tabel 4. Pengaruh Jenis Busi dan Oktan terhadap Emisi Gas Buang pada 5000 rpm.

Busi	RON	CO %	HC ppm	Keterangan
Standar	90	0,39	710	Tertinggi
Standar	92	0,36	593	Hemat
Iridium	90	0,44	700	Stabil
Iridium	92	0,51	377	Terendah

Berdasarkan data kuantitatif yang diperoleh, laju konsumsi bahan bakar pada kondisi putaran mesin konstan menunjukkan variasi yang dipengaruhi secara simultan oleh jenis busi dan nilai oktan. Pada penggunaan konfigurasi *baseline*, yaitu kombinasi busi standar (nikel) dengan bahan bakar RON 90, tercatat nilai konsumsi bahan bakar tertinggi sebesar 1,65 cc/menit. Ketika kualitas bahan bakar ditingkatkan menggunakan RON 92 dengan tetap mempertahankan busi standar, laju konsumsi bahan bakar mengalami penurunan sebesar 4,24% menjadi 1,58 cc/menit. Penurunan ini secara empiris membuktikan besarnya pengaruh nilai oktan dalam mengendalikan stabilitas pembakaran. Secara termodinamika, bahan bakar dengan RON 92 memiliki ketahanan kompresi yang lebih tinggi, sehingga mampu mencegah gejala pembakaran dini (*pre-ignition*) yang sering kali memicu hambatan termal akibat ketidakstabilan tekanan di dalam silinder (Aprizal *et al.*, 2026; Wang *et al.*, 2017).

Signifikansi praktis dari optimasi ini terlihat lebih nyata ketika efek interaksi antara jenis komponen pengapian dan karakteristik bahan bakar dianalisis secara simultan. Penggantian busi standar menjadi busi iridium yang dikombinasikan dengan RON 92 memicu reduksi konsumsi bahan bakar yang jauh lebih drastis hingga mencapai 12,4%. Fenomena ini mengonfirmasi adanya efek interaksi positif (*synergistic interaction*) yang signifikan ($p < 0,05$) berdasarkan uji *Two-Way* ANOVA. Elektroda tipis pada busi iridium menurunkan kebutuhan tegangan lompatan api (*required voltage*), sehingga menghasilkan inti api (*flame kernel*) yang lebih konsisten dan bertenaga (NGK Spark Plugs, 2022). Ketika inti api yang superior ini memicu pembakaran pada bahan bakar RON 92 yang memiliki rambatan api lebih terkendali, maka *ignition delay* dapat



dipersingkat secara drastis (Al Banjari, 2022; Ye *et al.*, 2020). Efek interaksi ini memastikan seluruh fraksi massa campuran udara dan bahan bakar terbakar tepat waktu di sekitar Titik Mati Atas (TMA), sehingga energi kimia bahan bakar dikonversikan menjadi kerja mekanis secara maksimal alih-alih terbuang sebagai energi termal sia-sia.

Analisis hubungan antarparameter menunjukkan korelasi linear yang kuat antara penurunan konsumsi bahan bakar dengan peningkatan daya mesin serta reduksi emisi gas buang. Ketika efisiensi pembakaran meningkat pada kombinasi iridium-RON 92, tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*) di dalam ruang bakar meningkat secara konstan yang secara langsung mendongkrak daya keluaran mesin (HP) (Heywood, 2018). Hubungan inter-parameter ini juga berdampak linier terhadap aspek lingkungan; pembakaran yang berjalan lebih cepat dan tuntas pada konfigurasi optimal tersebut berhasil meminimalkan fraksi hidrokarbon (HC) tidak terbakar serta mereduksi senyawa karbon monoksida (CO) hingga 0,33%. Dengan demikian, penurunan konsumsi bahan bakar secara volumetrik (cc/menit) dalam penelitian ini tidak sekadar menunjukkan sifat kehematan secara mekanis, melainkan menjadi indikator integral dari tercapainya siklus pembakaran sempurna yang menyelaraskan performa tinggi dengan emisi rendah.

Pada penggunaan busi platinum dengan bahan bakar RON 92, konsumsi bahan bakar turun menjadi 1,50 cc/menit. Hal ini menunjukkan bahwa material elektroda platinum dapat menghasilkan percikan api yang lebih stabil dibandingkan busi standar. Kestabilan percikan api membantu campuran udara dan bahan bakar terbakar lebih sempurna, sehingga bahan bakar yang digunakan menjadi lebih efisien.

Kombinasi busi iridium dengan bahan bakar RON 95 menghasilkan konsumsi bahan bakar paling rendah, yaitu 1,42 cc/menit. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan busi dengan material yang lebih baik dan bahan bakar beroktan tinggi mampu meningkatkan efisiensi pembakaran dibandingkan kombinasi lainnya. Percikan api yang lebih kuat dan stabil membantu pembakaran berlangsung lebih merata di ruang bakar.

Tabel 5. Persentase Penurunan Konsumsi BBM terhadap Kombinasi Standar RON 90.

Kombinasi	cc/menit	Turun
Standar+90	1,65	0,00%
Standar+92	1,58	4,24%
Iridium+90	1,50	9,09%
Iridium+92	1,42	13,94%

Jika dibandingkan dengan kombinasi busi standar dan bahan bakar RON 90, kombinasi busi iridium dan RON 92 mampu menurunkan konsumsi bahan bakar sekitar 13,94%. Penurunan ini menunjukkan bahwa kombinasi pengapian dan bahan bakar yang tepat berpotensi memberikan efisiensi yang lebih baik pada sepeda motor injeksi.

Pengaruh Jenis Busi terhadap Pembakaran

Jenis busi memengaruhi kualitas percikan api yang terjadi di dalam ruang bakar. Busi standar masih dapat bekerja dengan baik, namun kestabilan

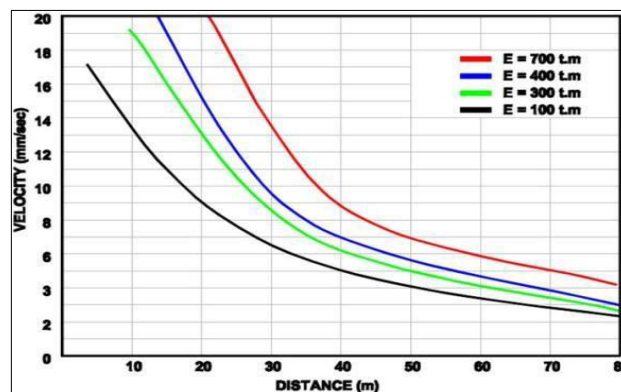
percikannya tidak sebaik busi platinum atau iridium. Busi platinum memiliki ketahanan elektroda yang lebih baik, sedangkan busi iridium memiliki elektroda yang lebih kecil dan tahan panas, sehingga percikan api lebih fokus. Percikan api yang stabil akan membantu campuran udara dan bahan bakar terbakar pada waktu yang tepat.

Pengaruh Nilai Oktan terhadap Efisiensi

Nilai oktan bahan bakar berperan dalam mencegah terjadinya *knocking*. Pada bahan bakar dengan nilai oktan lebih tinggi, proses pembakaran cenderung lebih stabil, karena bahan bakar tidak mudah terbakar sebelum waktunya. Stabilitas pembakaran tersebut membuat tenaga mesin lebih merata dan konsumsi bahan bakar menjadi lebih hemat. Namun, pemilihan bahan bakar tetap harus disesuaikan dengan spesifikasi mesin agar manfaatnya optimal.

Hubungan Busi dan Bahan Bakar

Efisiensi pembakaran tidak hanya dipengaruhi oleh satu faktor, melainkan kombinasi antara sistem pengapian dan kualitas bahan bakar. Busi yang baik menghasilkan percikan api yang stabil, sedangkan bahan bakar beroktan sesuai membantu pembakaran berlangsung pada waktu yang tepat. Kombinasi keduanya menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, menurunkan sisa bahan bakar yang tidak terbakar, serta mengurangi potensi emisi gas buang.



Gambar 1. Grafik Hasil.

Pembahasan Umum

Secara umum, hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan busi dengan material lebih baik dan bahan bakar dengan nilai oktan lebih tinggi mampu memberikan kecenderungan peningkatan efisiensi pembakaran. Efisiensi tersebut ditunjukkan melalui penurunan konsumsi bahan bakar. Dengan demikian, pemilihan komponen sederhana seperti busi dan pemilihan bahan bakar yang sesuai dapat menjadi langkah praktis untuk meningkatkan kinerja kendaraan sehari-hari.

Analisis Perbandingan Antar Kombinasi

Perbedaan konsumsi bahan bakar antara kombinasi standar RON 90 dan iridium RON 92 menunjukkan adanya kecenderungan bahwa peningkatan kualitas pengapian dan bahan bakar dapat memberikan dampak langsung terhadap efisiensi. Selisih konsumsi sebesar 0,23 cc/menit terlihat kecil, tetapi apabila dikalikan dengan durasi pemakaian kendaraan harian, perbedaan tersebut dapat



menjadi signifikan. Pada kendaraan yang digunakan setiap hari untuk perjalanan jauh, penghematan kecil pada setiap menit kerja mesin dapat berkontribusi pada penurunan kebutuhan bahan bakar secara keseluruhan.

Kombinasi busi standar dengan RON 92 menghasilkan konsumsi yang lebih rendah dibandingkan busi standar RON 90. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa mengganti komponen pengapian pun, peningkatan nilai oktan dapat membantu pembakaran menjadi lebih terkendali. Namun, penurunan konsumsi bahan bakar pada kombinasi tersebut belum sebesar penggunaan busi platinum dan iridium. Artinya, bahan bakar yang lebih baik akan memberikan hasil lebih optimal apabila didukung oleh sistem pengapian yang mampu menghasilkan percikan api stabil.

Pada pengujian tingkat menengah, penggunaan kombinasi busi platinum dengan bahan bakar RON 92 mencatatkan laju konsumsi bahan bakar sebesar 1,50 cc/menit. Posisi *intermediet* ini membuktikan secara empiris bahwa material elektroda yang memiliki ketahanan aus lebih tinggi daripada nikel mampu mempertahankan kualitas serta densitas percikan api di dalam ruang bakar secara konsisten. Dari perspektif aplikasi praktis, busi platinum menawarkan solusi substitusi yang ekonomis dan fungsional bagi pengguna kendaraan yang menginginkan optimasi efisiensi termal tanpa harus langsung beralih ke investasi biaya busi iridium. Akan tetapi, performa puncak tetap ditunjukkan oleh karakteristik mekanis busi iridium; dimensi elektroda pusatnya yang ultra-tipis secara masif memusatkan medan elektrik (*electric field concentration*), memicu terbentuknya percikan api yang jauh lebih kuat, dan mempercepat fase awal pelepasan energi kimia bahan bakar (NGK Spark Plugs, 2022).

Kestabilan geometris dari elektroda busi ini memegang peranan krusial dalam menekan formasi emisi gas buang beracun. Ketika kondisi komponen pengapian mulai mengalami degradasi atau erosi, percikan api yang dihasilkan akan melemah dan tidak stabil yang secara langsung memicu pembakaran tidak merata (*incomplete combustion*) di sepanjang kubah ruang bakar. Akibat dari kegagalan perambatan api ini adalah melonjaknya fraksi campuran udara dan bahan bakar yang tidak sempat terbakar, lalu keluar menuju saluran buang dalam bentuk senyawa hidrokarbon (HC) bebas. Selain itu, pasokan energi pengapian yang sub-optimal membatasi proses oksidasi lanjutan, sehingga atom karbon gagal berikatan sempurna menjadi karbon dioksida (CO₂) dan justru meningkatkan konsentrasi gas beracun karbon monoksida (CO) (Heywood, 2018). Keunggulan busi iridium dan platinum terletak pada stabilitas dimensi celah (*spark plug gap*) dalam jangka panjang berkat ketahanan termal materialnya yang superior (Denso Corporation, 2021). Walau demikian, reduksi emisi melalui optimasi pengapian ini tidak bersifat absolut dan tetap memerlukan integrasi perawatan kendaraan secara holistik, mengingat variabel mekanis lain seperti kebersihan filter udara, efisiensi atomisasi injektor, kontinuitas tekanan kompresi, serta viskositas oli mesin tetap menjadi parameter penentu dalam menjaga efisiensi energi secara menyeluruh.

Bagi pengguna sepeda motor harian, temuan eksperimental ini memberikan implikasi praktis yang bernilai ekonomis dalam jangka panjang. Pemilihan komponen pengapian dan jenis bahan bakar tidak boleh semata-mata



didasarkan pada pertimbangan harga beli jangka pendek, melainkan harus memperhitungkan efisiensi konsumsi bahan bakar kumulatif serta stabilitas mekanis mesin yang ditawarkan oleh busi performa tinggi. Ketepatan pemilihan nilai oktan juga wajib diselaraskan dengan rasio kompresi statis kendaraan; pemaksaan penggunaan RON yang terlalu rendah di bawah spesifikasi pabrikan akan memicu fenomena *knocking* yang memanifestasikan getaran kasar dan penurunan traksi, terutama saat kendaraan menerima beban akselerasi tinggi atau medan menanjak. Secara preventif, pengguna dapat melakukan diagnosis dini terhadap efisiensi pembakaran internal melalui inspeksi visual pada warna ujung isolator busi (*spark plug reading*). Formasi jelaga hitam pekat mengindikasikan adanya campuran bahan bakar yang terlalu kaya (*rich mixture*) atau pembakaran yang tidak sempurna, sedangkan warna yang terlalu putih memandangkan terjadinya temperatur ruang bakar yang ekstrem (*overheating*) yang dapat memicu kerusakan struktural pada komponen piston (Bosch GmbH, 2018).

Keterbatasan Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada penelitian ini bersifat deskriptif dan bertujuan menunjukkan kecenderungan pengaruh jenis busi serta nilai oktan bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar. Jumlah variasi yang digunakan masih terbatas, sehingga belum mewakili seluruh jenis busi dan bahan bakar yang beredar di pasaran. Selain itu, kondisi pengujian laboratorium sederhana berbeda dengan kondisi penggunaan di jalan raya yang melibatkan perubahan kecepatan, kemacetan, suhu lingkungan, dan beban kendaraan.

Meskipun pengukuran konsumsi bahan bakar dalam satuan volumetrik kuantitatif (cc/menit) mampu memberikan gambaran awal yang presisi mengenai laju aliran fluida statis, parameter ini belum sepenuhnya mencerminkan efisiensi energi kendaraan dalam kondisi operasional riil dengan satuan fungsional jarak tempuh seperti kilometer per liter (km/liter). Pada aplikasi berkendara nyata di jalan raya, efisiensi konsumsi bahan bakar bersifat dinamis, karena dipengaruhi secara masif oleh fluktuasi gaya berkendara (*driving behavior*), distribusi tekanan udara ban, resistansi aerodinamis, kontur permukaan jalan, serta siklus transien frekuensi pengereman dan akselerasi (Heywood, 2018). Oleh karena itu, sebagai langkah pengembangan dari keterbatasan metodologi statis ini, penelitian lanjutan sangat direkomendasikan untuk mengintegrasikan pengujian jalan riil (*road test*) berbasis metode *New European Driving Cycle* (NEDC) atau simulasi siklus berkendara transien laboratorium menggunakan sasis dinamometer (*chassis dynamometer*) beban variabel guna memperoleh representasi data performa yang lebih komprehensif dan aplikatif.

Keterbatasan dimensional lain dalam penelitian ini terletak pada kedalaman analisis emisi gas buang, terutama jika instrumentasi *gas analyzer* mengalami keterbatasan aksesibilitas operasional di laboratorium. Apabila pengukuran langsung terhambat, interpretasi karakteristik emisi terpaksa dieksplorasi secara deduktif berbasis pendekatan stoikiometri teori pembakaran motor bensin serta tren fluktuasi konsumsi bahan bakar semata. Untuk memperkuat validitas empiris pada studi mendatang, penggunaan perangkat *gas analyzer* bersertifikasi standar ISO 3930 bersifat mutlak demi mengukur secara presisi konsentrasi fraksi mol senyawa karbon monoksida (CO), hidrokarbon



(HC), karbon dioksida (CO₂), dan oksigen (O₂) (Bosch GmbH, 2018). Penyerapan metodologi uji emisi yang *rigid* ini akan memfasilitasi analisis korelasi inferensial yang kuat guna memetakan interaksi fungsional antara efisiensi termal pembakaran internal dengan parameter beban dampak lingkungan secara komparatif dan akurat.

Rekomendasi Pengembangan Penelitian

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan rancangan faktorial penuh dengan semua kombinasi jenis busi dan nilai oktan bahan bakar. Dengan demikian, pengaruh masing-masing faktor serta interaksi antara faktor busi dan bahan bakar dapat dianalisis lebih jelas. Misalnya, busi standar, platinum, dan iridium dapat diuji pada RON 90, RON 92, dan RON 95 secara lengkap, sehingga jumlah kombinasi menjadi sembilan perlakuan. Selain konsumsi bahan bakar, parameter daya dan torsi perlu diukur menggunakan *dynamometer*. Data daya dan torsi akan membantu menjelaskan apakah penurunan konsumsi bahan bakar tetap diikuti performa yang baik. Efisiensi yang ideal bukan hanya berarti bahan bakar lebih hemat, tetapi juga mesin tetap mampu menghasilkan tenaga yang cukup untuk kebutuhan berkendara. Pengujian juga dapat dilakukan pada beberapa tipe sepeda motor dengan kapasitas mesin berbeda. Perbandingan antara motor 125 cc dan 150 cc akan memberikan informasi apakah pengaruh busi dan oktan sama kuatnya pada mesin dengan karakter berbeda. Dengan cakupan data yang lebih luas, rekomendasi yang dihasilkan dapat menjadi lebih akurat dan bermanfaat bagi pengguna maupun praktisi otomotif.

Pembahasan Tambahan tentang Efisiensi Ekonomi

Efisiensi pembakaran tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga aspek ekonomi. Busi iridium dan bahan bakar RON 95 biasanya memiliki harga lebih tinggi dibandingkan busi standar dan bahan bakar RON 90. Oleh karena itu, pengguna perlu membandingkan biaya tambahan dengan potensi penghematan bahan bakar. Jika kendaraan digunakan secara intensif, penghematan konsumsi bahan bakar dapat membantu menutup selisih biaya komponen dan bahan bakar dalam jangka waktu tertentu. Namun, perhitungan ekonomi tidak boleh hanya melihat konsumsi bahan bakar. Umur pakai busi yang lebih panjang juga menjadi faktor penting. Busi yang lebih tahan aus mengurangi frekuensi penggantian dan dapat menjaga performa mesin lebih stabil. Apabila busi standar lebih cepat menurun kualitasnya, konsumsi bahan bakar dapat meningkat seiring waktu. Dengan demikian, penggunaan busi berkualitas dapat memberikan keuntungan jangka panjang meskipun biaya awalnya lebih tinggi.

Berdasarkan pembahasan tersebut, kombinasi terbaik tidak selalu sama untuk semua pengguna. Pengguna yang mengutamakan biaya awal rendah dapat tetap menggunakan busi standar dan bahan bakar sesuai rekomendasi pabrikan. Pengguna yang mengutamakan kestabilan performa, efisiensi, dan umur pakai komponen dapat mempertimbangkan busi platinum atau iridium. Keputusan akhir sebaiknya menyesuaikan kebutuhan, kondisi kendaraan, dan kemampuan biaya pemeliharaan.

Analisis Keandalan Percikan Api pada Berbagai Putaran Mesin

Pada mesin sepeda motor, kebutuhan percikan api tidak selalu sama pada setiap putaran. Saat putaran rendah, campuran udara dan bahan bakar masih relatif



mudah dinyalakan, karena waktu pembakaran tersedia lebih lama. Namun pada putaran menengah hingga tinggi, waktu yang tersedia untuk proses pengapian menjadi lebih singkat. Dalam kondisi ini, busi dengan percikan api stabil memiliki peran lebih besar, karena harus mampu menyalakan campuran secara cepat dan konsisten.

Busi standar masih dapat memenuhi kebutuhan pengapian pada penggunaan normal. Karakteristik degradasi material menjadi faktor penentu kontinuitas performa sistem pengapian dalam jangka panjang. Elektroda nikel pada busi standar cenderung memiliki laju keausan yang lebih tinggi akibat erosi elektrik dan termal jika dibandingkan dengan elektroda berbahan platinum atau iridium (Denso Corporation, 2021). Secara mekanis, keausan elektroda ini menyebabkan perubahan dimensi celah busi (*spark plug gap*) menjadi lebih renggang. Pelebaran celah tersebut secara linear meningkatkan kebutuhan tegangan minimal untuk memicu loncatan bunga api (*required voltage*). Apabila sistem koil pengapian gagal menyuplai energi potensial listrik yang optimal, intensitas percikan api yang dihasilkan akan melemah yang pada gilirannya memicu keterlambatan waktu penyalaan awal (*ignition delay*) serta perambatan inti api yang tidak merata di dalam silinder. Sebaliknya, kestabilan dimensi pada busi platinum dan iridium yang dibekali ketahanan termal superior terbukti mampu menekan laju konsumsi bahan bakar melalui pembentukan titik api yang lebih terfokus, sehingga meminimalkan fraksi massa hidrokarbon yang tidak terbakar (NGK Spark Plugs, 2022).

Keandalan densitas percikan api ini memegang peranan yang semakin krusial pada kondisi operasi transien seperti fase akselerasi kendaraan. Saat pengemudi membuka katup gas (*throttle valve*), sistem manajemen mesin melalui *Electronic Control Unit* (ECU) secara otomatis memperkaya durasi injeksi untuk menyuplai volume bahan bakar tambahan ke dalam saluran masuk udara. Jika pada kondisi campuran kaya (*rich mixture*) ini kualitas dan energi percikan api dari busi tidak mencukupi, maka tambahan entalpi dari bahan bakar tersebut gagal dikonversikan sepenuhnya menjadi tekanan efektif rata-rata untuk mendorong piston. Kegagalan konversi energi kimia ini memanifestasikan gejala mekanis berupa hilangnya responsivitas mesin (*lagging*), penurunan performa akselerasi, serta lonjakan konsumsi bahan bakar volumetrik yang sia-sia.

Selain faktor internal komponen pengapian, kondisi termal atau suhu operasional mesin turut berinteraksi secara masif dalam memengaruhi efisiensi siklus pembakaran. Ketika kondisi mesin masih berada di bawah temperatur kerja optimal (*cold start*), laju perpindahan panas dari gas pembakaran ke dinding silinder berlangsung sangat tinggi, sehingga menurunkan temperatur akhir kompresi (Heywood, 2018). Untuk mengompensasi kerugian termal tersebut dan mencegah terjadinya kegagalan pembakaran (*misfire*), sistem injeksi secara elektronik memprogram perbandingan udara dan bahan bakar menjadi lebih kaya (*rich mixture*) yang secara langsung berdampak pada tingginya konsumsi bahan bakar spesifik pada menit-menit awal pengoperasian. Setelah mesin mencapai kesetimbangan termal pada suhu kerja ideal (80–90°C), proses penguapan (*atomization*) bahan bakar cair berjalan lebih sempurna, sehingga pembakaran homogen dapat tercapai pada rasio stoikiometri yang jauh lebih efisien.



Mencapai suhu kerja, penguapan bahan bakar menjadi lebih baik dan proses pembakaran lebih stabil. Oleh sebab itu, pengujian konsumsi bahan bakar sebaiknya dilakukan setelah mesin dipanaskan dalam durasi yang sama pada setiap perlakuan. Busi juga memiliki rentang panas tertentu yang menentukan kemampuannya membuang panas dari ujung elektroda ke kepala silinder. Busi yang terlalu panas dapat memicu pembakaran dini, sedangkan busi yang terlalu dingin dapat menyebabkan penumpukan kerak, karena suhu ujung elektroda tidak cukup untuk membersihkan deposit. Dalam penelitian ini, busi yang digunakan diasumsikan memiliki spesifikasi panas yang sesuai dengan mesin uji, sehingga perbedaan hasil lebih banyak dipengaruhi oleh material elektroda dan kestabilan percikan.

Bahan bakar dengan nilai oktan lebih tinggi membantu menjaga pembakaran tetap terkendali ketika suhu dan tekanan ruang bakar meningkat. Pada kondisi beban tinggi, suhu ruang bakar dapat naik dan memperbesar risiko *knocking*. RON 92 memiliki ketahanan detonasi lebih baik dibandingkan RON 90, sehingga pembakaran lebih kecil kemungkinannya terjadi sebelum waktu yang diinginkan. Hal ini menjelaskan mengapa kombinasi iridium dan RON 92 menunjukkan konsumsi terendah dalam pengujian. Dalam penggunaan harian, suhu mesin dapat berubah akibat kemacetan, cuaca panas, perjalanan jarak jauh, atau sistem pendinginan yang kurang optimal. Kondisi tersebut dapat memperbesar perbedaan antara kombinasi busi dan bahan bakar. Sistem pengapian yang baik dan bahan bakar yang sesuai membantu mesin tetap bekerja stabil meskipun lingkungan kerja berubah-ubah. Dengan demikian, efisiensi pembakaran harus dilihat sebagai hasil interaksi antara komponen, bahan bakar, dan kondisi operasi.

Kesesuaian Hasil dengan Prinsip Pembakaran Motor Bensin

Prinsip dasar motor bensin adalah mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar. Pembakaran yang baik membutuhkan campuran yang tepat, kompresi yang memadai, dan percikan api pada waktu yang sesuai. Apabila salah satu unsur tersebut tidak terpenuhi, efisiensi mesin akan menurun. Hasil penelitian ini sesuai dengan prinsip tersebut, karena busi dan nilai oktan terbukti berhubungan dengan kualitas pembakaran.

Pada kombinasi standar RON 90, pembakaran cenderung kurang efisien karena kualitas percikan api dan ketahanan bahan bakar terhadap *knocking* berada pada tingkat paling rendah dibandingkan variasi lain. Ketika salah satu faktor ditingkatkan, misalnya nilai oktan dinaikkan menjadi RON 92, konsumsi bahan bakar menurun. Ketika kualitas busi juga ditingkatkan menjadi platinum atau iridium, konsumsi bahan bakar kembali menurun. Pola ini menunjukkan adanya hubungan bertahap antara peningkatan kualitas komponen dengan efisiensi.

Kombinasi iridium RON 92 memberikan hasil terbaik, karena memenuhi dua syarat penting pembakaran, yaitu pengapian yang stabil dan bahan bakar yang lebih tahan terhadap detonasi. Kondisi ini membuat proses pembakaran berlangsung lebih dekat dengan kondisi ideal. Meskipun nilai konsumsi bahan bakar dapat berbeda pada pengujian lain, kecenderungan bahwa busi berkualitas dan bahan bakar sesuai dapat meningkatkan efisiensi tetap sejalan dengan teori



motor bensin. Pemilihan busi dan bahan bakar yang tepat berperan penting dalam mengoptimalkan efisiensi pembakaran mesin.

Berdasarkan prinsip-prinsip termodinamika tersebut, optimalisasi efisiensi energi pada kendaraan bermotor tidak dapat ditinjau dari satu komponen secara terisolasi, melainkan harus didekati sebagai suatu kesatuan sistem yang terintegrasi. Tindakan substitusi komponen pengapian seperti busi tanpa menyelaraskannya dengan karakteristik termofisika bahan bakar hanya akan memberikan peningkatan performa yang sangat terbatas. Sebaliknya, penggunaan bahan bakar dengan angka oktan tinggi tanpa ditunjang oleh kesiapan intensitas energi pengapian yang memadai juga tidak akan mencapai efisiensi termal yang optimal. Efisiensi pembakaran terbaik secara konsisten dicapai melalui keselarasan operasional seluruh subsistem utama yang meliputi ketepatan atomisasi suplai bahan bakar, densitas energi sistem pengapian, kualitas rasio kompresi dinamis, serta kontinuitas perawatan mekanis secara berkala.

Sintesis Pembahasan

Berdasarkan seluruh uraian hasil dan pembahasan, dapat diketahui bahwa efisiensi pembakaran pada sepeda motor injeksi merupakan hasil dari beberapa faktor yang saling berhubungan. Busi menentukan kualitas awal penyalaan, sedangkan nilai oktan bahan bakar menentukan ketahanan campuran terhadap pembakaran tidak terkontrol. Ketika kedua faktor tersebut berada pada kondisi yang sesuai, proses pembakaran dapat berlangsung lebih teratur, konsumsi bahan bakar menurun, dan kerja mesin menjadi lebih halus.

Data konsumsi bahan bakar menunjukkan pola yang konsisten. Kombinasi dengan busi standar dan RON 90 memiliki konsumsi tertinggi, sedangkan kombinasi busi iridium dan RON 92 memiliki konsumsi terendah. Pola tersebut memperkuat dugaan bahwa peningkatan kualitas elektroda busi dan peningkatan nilai oktan memberikan kontribusi positif terhadap pembakaran. Walaupun penelitian ini masih menggunakan metode sederhana, kecenderungan hasilnya dapat dijadikan dasar awal untuk memahami pentingnya pemilihan komponen dan bahan bakar.

Temuan ini juga menegaskan bahwa efisiensi tidak selalu harus dicapai melalui modifikasi besar. Penggantian busi sesuai spesifikasi dan penggunaan bahan bakar yang tepat merupakan langkah perawatan sederhana yang dapat dilakukan oleh pengguna sepeda motor. Langkah tersebut relatif mudah diterapkan, tidak mengubah konstruksi utama mesin, dan tetap berada dalam batas perawatan kendaraan. Dengan perawatan yang tepat, kendaraan dapat bekerja lebih efisien dan risiko gangguan pembakaran dapat dikurangi. Pemeriksaan busi secara berkala dan penggunaan bahan bakar yang sesuai dengan rekomendasi pabrikan dapat membantu menjaga kestabilan proses pembakaran. Oleh karena itu, penerapan perawatan rutin yang tepat dapat menjadi upaya sederhana untuk mendukung efisiensi bahan bakar sekaligus menjaga performa dan memperpanjang usia pakai mesin sepeda motor.

Secara akademik, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pembelajaran pada mata kuliah teknologi motor bensin. Mahasiswa dapat memahami bahwa teori pembakaran, sistem pengapian, dan karakteristik bahan bakar memiliki hubungan langsung dengan kondisi kendaraan nyata. Dengan demikian, penelitian



seederhana ini tidak hanya memberikan data konsumsi bahan bakar, tetapi juga membantu menjelaskan prinsip kerja mesin bensin injeksi secara lebih aplikatif.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa jenis busi dan nilai oktan bahan bakar memiliki pengaruh terhadap efisiensi pembakaran pada sepeda motor injeksi vario 125cc. Penggunaan busi standar dengan bahan bakar RON 90 menghasilkan konsumsi bahan bakar tertinggi, sedangkan kombinasi busi iridium dengan bahan bakar RON 92 menghasilkan konsumsi bahan bakar terendah. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pengapian yang baik dan bahan bakar beroktan tinggi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.

Busi platinum dan iridium memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan busi standar, karena material elektroda yang digunakan mampu menghasilkan percikan api yang lebih stabil. Nilai oktan bahan bakar yang lebih tinggi juga membantu mencegah *knocking*, sehingga pembakaran menjadi lebih optimal. Dengan demikian, kombinasi busi iridium dan bahan bakar RON 92 menjadi kombinasi terbaik dalam pengujian ini.

SARAN

Saran yang dapat diberikan adalah pengguna sepeda motor sebaiknya memilih jenis busi dan bahan bakar sesuai dengan spesifikasi mesin. Penggunaan busi berkualitas dapat mendukung performa mesin, sedangkan pemilihan bahan bakar yang sesuai dapat membantu menjaga efisiensi dan mengurangi emisi. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menambahkan pengujian daya mesin, torsi, suhu mesin, dan emisi gas buang menggunakan alat ukur yang lebih lengkap agar hasil penelitian lebih akurat dan menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pengampu mata kuliah teknologi motor bensin serta semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan artikel ini. Terima kasih juga disampaikan kepada rekan kelompok yang telah berkontribusi dalam pengumpulan data, penyusunan pembahasan, dan penyelesaian artikel.

DAFTAR RUJUKAN

- Al Banjari, M. A. (2022). Pengaruh Penggunaan Berbagai Jenis Material Elektroda Busi terhadap Performa Mesin dan Bentuk Nyala Api pada Mesin Bensin 113 cc. *Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran*, 5(2), 101-112. <https://doi.org/10.17977/um054v5i2p101-112>
- Almanda, I., & Andrizal, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Variasi Busi dan Bahan Bakar pada Sepeda Motor Matic 110 CC terhadap Torsi dan Daya. *AEJ : Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 2(2), 113–122. <https://doi.org/10.24036/aej.v2i2.67>
- Aprizal, A., Slamet, S., Rizal, Y., & Fathoni, A. (2026). Pengaruh Penggunaan Jenis Busi terhadap Emisi Gas Buang Motor Bakar 100 cc Menggunakan Bahan Bakar Alternatif dari Limbah Plastik. *Jurnal*



- Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 9(1), 559–563.
<https://doi.org/10.31004/jutin.v9i1.53857>
- Bosch GmbH, R. (2018). *Bosch Automotive Handbook* (10th ed.). Stuttgart: Robert Bosch GmbH.
- Cahyadi, W. R., Ariyanto, S. R., Nugraha, A. S., & Putra, R. A. (2024). Pengaruh Variasi Merk Bahan Bakar, Jenis Busi, dan Tekanan Ban terhadap Performa Mesin Sepeda Motor Empat Langkah. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 9(1), 25–32.
<https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v9i1.268>
- Denso Corporation. (2021). *Iridium Spark Plug Technical Information (Technical Report)*. Aichi: Denso Corporation.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- NGK Spark Plugs. (2022). *Spark Plug Basics and Technical Information (Technical Report)*. Nagoya: NGK Spark Plugs Co., Ltd.
- PT Pertamina Patra Niaga. (2023). *Laporan Tahunan 2023*. Jakarta: PT Pertamina Patra Niaga.
- Scherjau, D., Meyer, G., Rosc, J., Mai, T., Gschirr, A., & Wimmer, A. (2019). Erosion Processes of Electrodes – Experiments and Modeling. *Wear*, 428–429, 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.02.031>
- Stone, R. (2012). *Introduction to Internal Combustion Engines* (4th ed.). London: Palgrave Macmillan.
- Wang, C., Prakash, A., Aradi, A., Cracknell, R., & Xu, H. (2017). Significance of RON and MON to a Modern DISI Engine. *Fuel*, 209, 172-183.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.071>
- Ye, C., Xu, H., Sun, Z., Nour, M., Li, X., & Xu, M. (2020). Investigations on the Optimal Ignition Strategy of Internal Combustion Engines via Various Spark Discharge Conditions. *Energy Fuels*, 34(11), 14814-14821.
<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02698>