

Pengaruh Campuran Bioetanol dari Bonggol Jagung pada Bahan Bakar Pertamina terhadap Unjuk Kerja Mesin Empat Langkah

Sumanto*, Diaz Ananta Zaki, Drajat Indah Mawarni
Universitas Teknologi Ronggolawe, Cepu

INFORMASI NASKAH

Diterima : 2 Juni 2026
Direvisi : 27 Juni 2026
Disetujui : 29 Juni 2026
Terbit : 30 Juni 2026

Email korespondensi:
sumantozulkarnain63@gmail.com

Kata Kunci:

- Daya
- Emisi
- Minyak Bongkol Jagung
- Pertamina
- Torsi

ABSTRAK

Eksperimen ini dirancang untuk mengamati seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh pencampuran bioetanol dari limbah bonggol jagung dengan kadar kemurnian 95% ke dalam bahan bakar Pertamina terhadap kinerja sebuah motor bakar empat langkah. Terdapat empat jenis komposisi yang dijadikan objek uji, yaitu B0 (Pertamax tanpa tambahan), B10, B20, serta B30. Proses pengambilan data berlangsung pada putaran mesin yang bervariasi, dimulai dari 1.500 rpm hingga 6.000 rpm dengan loncatan sebesar 500 rpm. Untuk keperluan analisis emisi gas buang seperti CO, HC, CO₂, dan O₂, digunakan instrumen Gas Analyzer. Adapun parameter daya, torsi, serta pemakaian bahan bakar per satuan waktu diukur dengan memakai Dynotest V3.3. Berdasarkan hasil uji coba, diketahui bahwa variasi campuran B10, yaitu komposisi 10% minyak bonggol jagung dan 90% Pertamina, merupakan campuran dengan performa terbaik secara keseluruhan. Hal ini didasarkan pada kemampuannya untuk menghasilkan daya tertinggi di antara semua variasi campuran (B0; B10; B20 dan B30) sekaligus mampu menekan emisi gas buang CO, HC, dan CO₂ pada tingkat yang paling rendah.

ABSTRACT

This experiment was designed to observe the impact of blending 95% pure bioethanol derived from corn cob waste into Pertamina fuel on the performance of a four-stroke internal combustion engine. Four mixture compositions were tested: B0 (unmodified Pertamina), B10, B20, and B30. Data collection was conducted across varying engine speeds, ranging from 1,500 rpm to 6,000 rpm in 500-rpm increments. A gas analyzer was used to analyze exhaust emissions (CO, HC, CO₂, and O₂), while power, torque, and fuel consumption rates were measured using Dynotest V3.3. The test results indicate that the B10 blend—comprising 10% corn cob bioethanol and 90% Pertamina—delivered the best overall performance. This conclusion is based on its ability to generate the highest power output among all tested blends (B0, B10, B20, and B30) while simultaneously achieving the lowest levels of CO, HC, and CO₂ emissions.

Keywords: Corn Cob Oil, Exhaust Emissions, Power, Pertamina, Torque.

PENDAHULUAN

Tingkat konsumsi energi di seluruh dunia melonjak dengan sangat cepat. Faktor utama yang menjadi penyebab utama adalah bertambahnya jumlah penduduk bumi, laju produksi kendaraan bermotor yang tidak terkendali, serta meningkatnya berbagai sektor ekonomi. Akibat dari lonjakan permintaan ini adalah membengkaknya ketergantungan umat manusia terhadap sumber daya energi yang berasal dari fosil, padahal sifat dari sumber daya tersebut adalah tidak dapat diperbarui. Fakta menunjukkan bahwa kontribusi bahan bakar fosil terhadap total kebutuhan energi global mencapai angka lebih dari 80 persen. Jika kebiasaan eksploitasi tanpa memikirkan keberlanjutan terus dilakukan, maka cadangan energi fosil akan benar-benar tandas dalam kurun waktu tidak lebih dari lima puluh tahun yang akan datang (Laherrère, J., et al., 2022). Dampak yang timbul dari situasi ini ada dua macam, yakni krisis pasokan energi, dan kerusakan lingkungan hidup. Oleh sebab itu, seluruh pemangku kepentingan didorong untuk segera mencari dan mengembangkan sumber-sumber energi alternatif yang tidak merusak alam.

Salah satu bentuk energi alternatif yang mulai digalakkan pengembangannya oleh negara-negara maju adalah bioetanol. Zat cair ini dihasilkan melalui proses fermentasi yang memanfaatkan berbagai jenis bahan organik yang kaya akan kandungan karbohidrat. Beberapa contoh bahan baku yang sering digunakan antara lain adalah jagung, tebu, singkong, serta aneka macam biji-bijian. Bioetanol memiliki beberapa keunggulan komparatif dibandingkan dengan bahan bakar fosil konvensional. Pertama, sifatnya yang terbarukan berarti ia dapat diproduksi ulang secara berkelanjutan. Kedua, proses manufakturnya tergolong tidak rumit. Ketiga, ketersediaan bahan

bakunya sangat melimpah di alam (Prasetya et al., 2020; Majedi & Puspitasari, 2017; Bakar et al., 2024).

Agar sebuah mesin dapat bekerja secara optimal, pemilihan jenis bahan bakar minyak tidak boleh dilakukan secara sembarangan. Nilai oktan menjadi parameter yang paling menentukan, di mana ia harus disesuaikan dengan rasio kompresi dari mesin yang bersangkutan. Secara teknis, berikut adalah panduan yang umum digunakan. Untuk mesin dengan rasio kompresi di bawah angka 9:1, bahan bakar yang cocok adalah premium. Untuk rasio kompresi yang berada di antara 9:1 hingga 10:1, pilihan yang tepat adalah Pertamina 92 yang memiliki nilai RON 92. Sedangkan untuk mesin dengan rasio kompresi di atas 10:1, diperlukan bahan bakar dengan oktan lebih tinggi seperti Pertamina Plus ataupun Pertamina Turbo. Khusus untuk Pertamina, produk ini diketahui memiliki stabilitas oksidasi yang baik. Di samping itu, kandungan olefin, aromatik, dan benzena di dalamnya tergolong rendah. Kombinasi dari sifat-sifat ini membuat proses pembakaran di dalam ruang silinder dapat berlangsung lebih sempurna (Prasetya et al., 2020; Majedi & Puspitasari, 2017; Bakar et al., 2024).

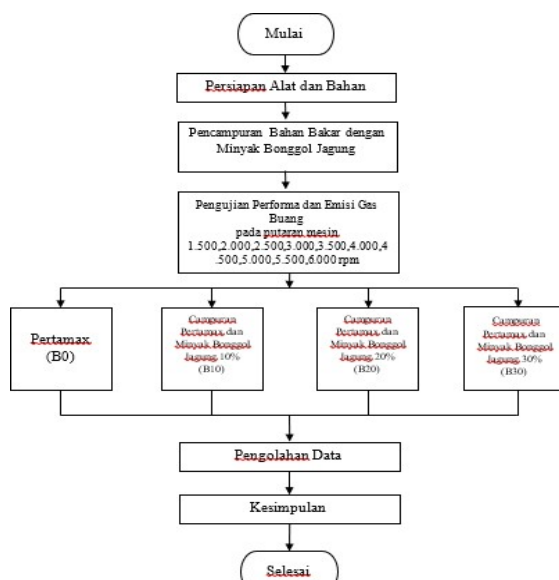
Jagung selama ini dikenal luas sebagai salah satu bahan baku utama untuk produksi bioetanol. Popularitas jagung terutama didasari oleh tingginya kadar pati (yang merupakan polimer dari karbohidrat) di dalam bijinya. Melalui serangkaian proses hidrolisis, pati tersebut dapat dipecah menjadi molekul-molekul gula yang lebih sederhana. Selanjutnya, gula sederhana ini difermentasi dengan bantuan mikroorganisme (khamir atau ragi) untuk menghasilkan etanol atau alkohol (Fitriani et al., 2013; Majid et al., 2024).

Penelitian ini sengaja memilih bonggol jagung, bukan bijinya, sebagai bahan baku utama.

Bonggol jagung selama ini lebih banyak terbangun sebagai limbah pertanian yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Berdasarkan hasil analisis laboratorium, komposisi kimiawi dari bonggol jagung adalah sebagai berikut: selulosa sebesar 48 persen, pentosan sebesar 36 persen, lignin sebesar 10 persen, abu sebesar 4 persen, serta komponen lainnya sebesar 2 persen (Winoko et al., 2024; Khabibulloh et al., 2024). Kandungan selulosa dan pentosan yang tinggi inilah yang menjadi alasan utama mengapa bonggol jagung dipandang potensial sebagai sumber bioetanol.

Jika ditelusuri, dalam kurun waktu empat tahun terakhir ini, sudah cukup banyak hasil riset yang dipublikasikan mengenai topik pencampuran minyak jagung (yang berasal dari biji) dengan Pertamina untuk meningkatkan unjuk kerja mesin. Akan tetapi, kajian ilmiah yang secara spesifik membahas bioetanol dari bonggol jagung masih belum banyak dilakukan. Kelangkaan literatur inilah yang oleh kalangan peneliti sering disebut sebagai kesenjangan penelitian atau *research gap*. Berangkat dari celah tersebut, tim peneliti memutuskan untuk mengusung sebuah judul karya ilmiah, yaitu: "**Pengaruh Campuran Bioetanol dari Bonggol Jagung pada Bahan Bakar Pertamina terhadap Unjuk Kerja Mesin Empat Langkah**". Melalui penelitian ini, penulis berharap dapat melengkapi data *based* ilmiah di bidang energi terbarukan, khususnya yang memanfaatkan limbah bonggol jagung sebagai campuran bahan bakar fosil di masa depan.

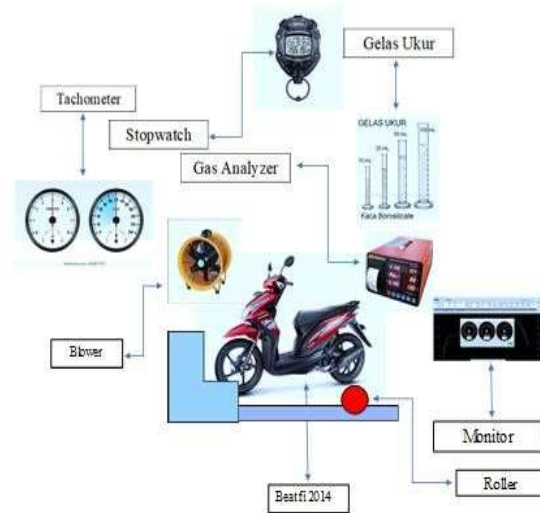
METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan kegiatan eksperimen ini tersebar di dua lokasi yang berbeda. Lokasi pertama beralamat di Jalan Ringroad Selatan, Kota Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55184. Lokasi kedua berada di Laboratorium Konversi Energi yang merupakan bagian dari Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, tepatnya di wilayah Cepu.

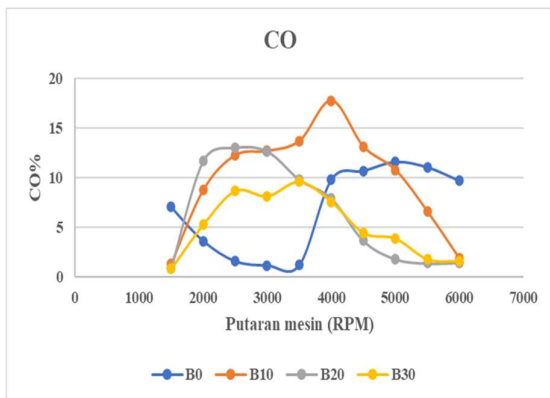
Penelitian ini diawali dengan persiapan seluruh alat dan bahan, kemudian dilanjutkan dengan proses pencampuran Pertamina dengan bioetanol dari bonggol jagung yang mempunyai kemurnian 95% dalam empat variasi kadar, yaitu tanpa campuran (B0) serta campuran 10% (B10), 20% (B20), dan 30% (B30). Setelah bahan bakar siap, dilakukan pengujian performa dan emisi gas buang pada mesin dengan rentang putaran dari 1.500 rpm hingga 6.000 rpm secara bertahap, meliputi 1.500, 2.000, 2.500, 3.000, 3.500, 4.000, 4.500, 5.000, 5.500, dan 6.000 rpm, untuk mengukur torsi, daya, konsumsi bahan bakar, serta kadar gas buang seperti CO, HC, dan CO₂ dari masing-masing jenis bahan bakar. Seluruh data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis guna membandingkan pengaruh setiap kadar campuran terhadap performa dan emisi mesin. Berdasarkan hasil analisis kemudian ditarik kesimpulan mengenai efektivitas dan kelayakan penggunaan bioetanol dari bonggol jagung sebagai campuran bahan bakar alternatif.



Gambar 2. Skema Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

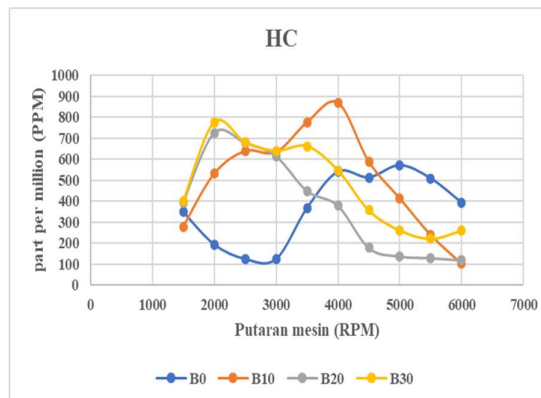
Seluruh data yang sudah diolah mengenai emisi gas buang dari keempat variasi campuran (B0, B10, B20, dan B30) disajikan secara berurutan pada Gambar 3, 4, 5, dan 6.



Gambar 3. Grafik kadar CO

Gambar 3. adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran poros engkol (rpm) terhadap kadar karbon monoksida (CO) yang keluar dari sistem pembuangan. Pada campuran B0, kurva memperlihatkan sebuah kecenderungan menurun pada rentang putaran 1.500–3.500 rpm. Fenomena ini dapat diartikan bahwa pada rentang tersebut, proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang mesin belum mencapai tingkat kesempurnaan yang optimal. Kemudian, setelah melewati angka 3.500 rpm, kadar CO mulai menunjukkan tren peningkatan yang berlangsung hingga putaran 6.000 rpm.

Sebuah pola yang berbeda justru teramati pada ketiga sampel campuran lainnya (B10, B20, dan B30). Pada ketiga variasi ini, konsentrasi CO memperlihatkan kecenderungan untuk terus meningkat secara bertahap, terhitung sejak putaran paling rendah hingga mencapai angka 3.000 rpm. Pada putaran rendah hingga menengah (sekitar 3.000 rpm), turbulensi udara di dalam ruang bakar belum cukup tinggi untuk menciptakan pencampuran yang sempurna, sehingga sebagian bahan bakar tidak terbakar sempurna dan menghasilkan kadar CO yang tinggi. Sementara itu, kandungan oksigen dalam bioetanol pada campuran B10 belum cukup untuk mengoksidasi seluruh CO menjadi CO_2 pada rentang putaran tersebut. Penurunan CO pada putaran di atas 4.000 rpm disebabkan oleh peningkatan pasokan udara yang mendukung oksidasi CO menjadi CO_2 . Dengan demikian, puncak emisi CO pada 4.000 rpm merupakan fenomena umum yang terjadi akibat ketidakseimbangan AFR pada rentang putaran menengah, dan konfirmasi bahwa kandungan oksigen tambahan dari bioetanol pada campuran B10 belum optimal pada titik tersebut sebelum akhirnya mencapai pembakaran lebih sempurna di putaran lebih tinggi.



Gambar 4. Grafik kadar HC

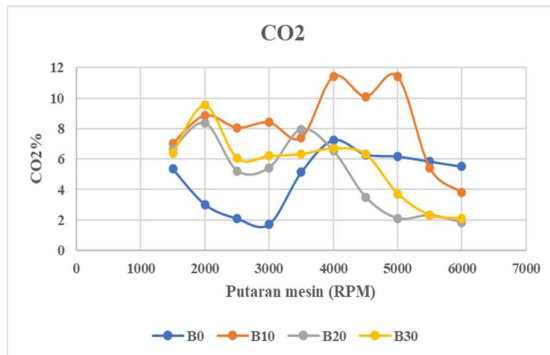
Gambar 4. menyuguhkan sebuah visualisasi mengenai hubungan timbal balik antara tingkat putaran mesin dengan banyaknya emisi hidrokarbon (HC) yang terdeteksi. Pada komposisi B0, emisi HC terlihat menurun secara perlahan pada rentang 1.500–3.000 rpm. Kemudian, terjadi peningkatan pada rentang 3.500–5.000 rpm. Setelah itu, kembali menurun pada rentang 5.500–6.000 rpm.

Untuk campuran B10, grafik menunjukkan bahwa emisi HC terus meningkat secara konsisten mulai dari putaran 1.500 rpm hingga mencapai angka 4.000 rpm. Setelah melewati batas tersebut, emisi HC mulai berbalik arah menjadi tren penurunan yang berlangsung hingga putaran maksimal 6.000 rpm.

Pada dua variasi campuran terakhir, yaitu B20 dan B30, pola yang teramati ternyata relatif mirip satu sama lain. Keduanya sama-sama mengalami peningkatan emisi HC pada rentang putaran paling awal, yaitu 1.500–2.000 rpm. Setelah melewati titik tersebut, keduanya kemudian menunjukkan tren penurunan yang berkelanjutan pada rentang putaran 3.000–6.000 rpm.

Perbedaan pola emisi HC antara B0 dengan B10, B20, dan B30 disebabkan oleh perbedaan karakteristik pembakaran antara bahan bakar murni dan campuran bioetanol. Pada Pertamax murni (B0), emisi HC dipengaruhi oleh keseimbangan antara kebutuhan bahan bakar dan pasokan udara. Sementara itu, pada campuran bioetanol (B10, B20, B30), emisi HC pada putaran rendah lebih tinggi karena nilai kalor yang lebih rendah dan proses penguapan yang belum optimal. Namun, pada putaran tinggi, kandungan oksigen tambahan dan angka oktan yang lebih tinggi dari bioetanol membuat pembakaran lebih sempurna sehingga emisi HC menurun drastis. Fenomena ini konsisten dengan temuan dari berbagai penelitian sebelumnya, yang semuanya menunjukkan bahwa penambahan bioetanol mengubah pola

emisi HC dari yang berfluktuasi menjadi lebih terprediksi, dengan kecenderungan menurun seiring kenaikan putaran mesin.



Gambar 5. Grafik kadar CO₂

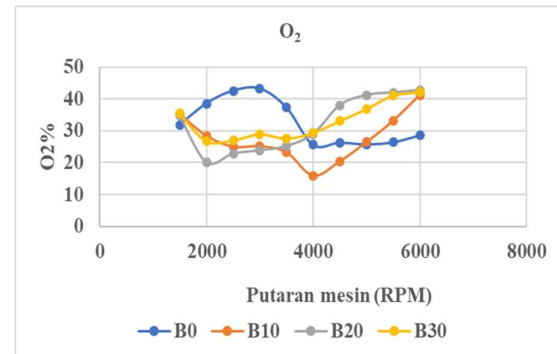
Gambar 5. menampilkan pola perubahan kadar karbon dioksida (CO₂) seiring dengan naiknya putaran mesin. Pada sampel B0, terjadi fenomena penurunan kadar CO₂ pada rentang 1.500–3.000 rpm, yang kemudian disusul oleh peningkatan pada rentang 3.500–6.000 rpm.

Fenomena perbedaan pola emisi CO₂ pada berbagai variasi campuran B10, B20, dan B30 dipengaruhi oleh kandungan oksigen dalam bioetanol, nilai kalor campuran, serta dinamika putaran mesin. Pada campuran B10, pola tiga fase antara kandungan oksigen tambahan dari bioetanol dengan kondisi operasi mesin. Fase kenaikan pertama pada rentang 1.500–3.000 rpm terjadi karena pada putaran rendah, mesin memerlukan campuran bahan bakar yang lebih kaya, dan kandungan oksigen dari bioetanol membantu oksidasi karbon lebih awal sehingga CO₂ meningkat. Fase kenaikan kedua pada rentang 3.500–5.000 rpm menunjukkan bahwa pada putaran menengah, kandungan oksigen dari B10 belum cukup optimal untuk mengoksidasi seluruh karbon, namun sebagian besar karbon tetap teroksidasi menjadi CO₂. Fase penurunan pada rentang 5.500–6.000 rpm disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran udara yang menciptakan turbulensi lebih baik dan campuran menjadi lebih kurus, sehingga sebagian karbon justru terbuang sebagai CO atau HC, bukan CO₂.

Campuran B20 menunjukkan pola yang paling kompleks dan berfluktuasi karena kandungan bioetanol 20% menyebabkan karakteristik pembakaran yang tidak stabil. Kenaikan pada awal pengukuran terjadi akibat suplai oksigen yang cukup dari bioetanol, namun penurunan pada rentang 2.500–3.000 rpm disebabkan oleh nilai kalor campuran yang lebih rendah dan titik didih etanol yang lebih tinggi, sehingga proses penguapan belum optimal.

Kenaikan kembali pada rentang 3.000–4.000 rpm terjadi saat suhu ruang bakar meningkat dan etanol dapat menguap dengan lebih baik, sehingga oksigen tambahan efektif mengoksidasi karbon menjadi CO₂. Penurunan pada rentang 4.500–6.000 rpm disebabkan oleh campuran yang semakin kurus karena dominasi oksigen berlebih, sehingga karbon tidak sempat teroksidasi sempurna dan emisi CO₂ pun menurun.

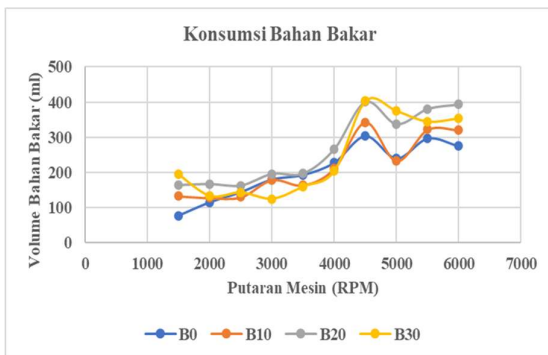
Sementara itu, campuran B30 hanya mengalami kenaikan singkat pada rentang 1.500–2.000 rpm karena kandungan oksigen yang tinggi dari bioetanol 30% membantu pembakaran pada putaran awal. Penurunan yang terus-menerus hingga 6.000 rpm terjadi akibat dominasi nilai kalor rendah dari bioetanol, di mana 30% campuran memiliki energi yang lebih rendah dibandingkan bensin murni. Akibatnya, mesin memerlukan volume bahan bakar yang lebih banyak dan proses pembakaran menjadi kurang sempurna, sehingga emisi CO₂ yang dihasilkan pun lebih rendah.



Gambar 6. Grafik kadar O₂

Gambar 6. menyajikan data mengenai kadar oksigen (O₂) yang terukur pada setiap tingkat putaran mesin. Pada komposisi B0, kadar O₂ menunjukkan tren peningkatan pada rentang 1.500–3.000 rpm, kemudian berbalik arah menjadi penurunan pada rentang 3.500–6.000 rpm. Peningkatan kadar O₂ pada putaran 1.500–3.000 rpm yang mengindikasikan campuran udara-bahan bakar terlalu kurus pada putaran rendah, sehingga kelebihan oksigen lolos dan terdeteksi oleh Gas Analyzer, kemudian penurunan pada putaran 3.500–6.000 rpm menunjukkan bahwa seiring kenaikan rpm, kebutuhan bahan bakar meningkat dan campuran menjadi lebih kaya sehingga oksigen lebih banyak dikonsumsi dalam proses pembakaran. Pola yang justru berkebalikan teramati pada ketiga variasi campuran bioetanol B10, B20, dan B30, di mana kadar O₂ menurun pada rentang 1.500–4.000 rpm, yang menunjukkan bahwa penambahan oksigen dari

bioetanol memperbaiki proses pembakaran karena kandungan oksigen dalam bioetanol membantu mengoksidasi karbon dan hidrokarbon yang tidak terbakar, sehingga oksigen di dalam ruang bakar lebih efisien digunakan, namun kenaikan kadar O_2 pada rentang 4.000–6.000 rpm dapat disebabkan oleh campuran yang menjadi lebih kurus karena pasokan udara meningkat signifikan sementara kandungan oksigen tambahan dari bioetanol membuat kelebihan oksigen tidak terpakai, serta pengaruh nilai kalor bioetanol yang lebih rendah sehingga efisiensi pembakaran menurun pada putaran tinggi.



Gambar 7. Grafik Konsumsi Bahan Bakar

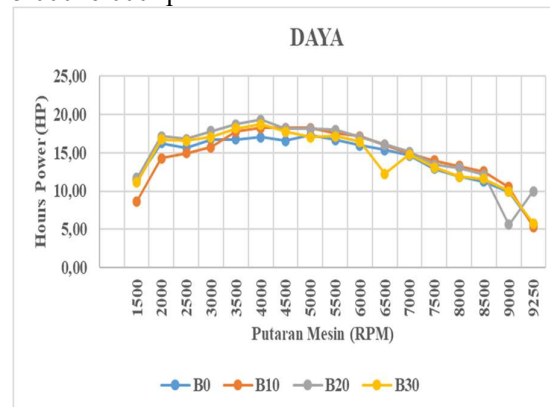
Gambar 7. menyuguhkan data mengenai seberapa banyak bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin pada setiap variasi putaran. Untuk sampel B0, konsumsi bahan bakar meningkat pada rentang 1.500–4.500 rpm, kemudian sempat turun sedikit pada putaran 5.000 rpm, lalu naik kembali pada rentang 5.500–6.000 rpm. Fenomena penurunan konsumsi bahan bakar pada putaran 5.000 rpm yang kemudian naik kembali pada 5.500–6.000 rpm, seperti yang terlihat pada grafik untuk sampel B0, merupakan hasil dari interaksi antara karakteristik mesin dan kondisi pembakaran pada rentang putaran tinggi. Secara ilmiah, penurunan ini tidak terjadi secara kebetulan, tetapi berkaitan erat dengan efisiensi volumetris dan titik di mana mesin mencapai performa puncaknya, yang pada gilirannya memengaruhi jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk mempertahankan putaran.

Pada putaran mendekati 5.000 rpm, mesin sering kali beroperasi pada titik di mana efisiensi pembakaran berada pada kondisi optimal. Pada rentang ini, campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar lebih sempurna, sehingga energi yang dihasilkan per unit bahan bakar lebih besar. Akibatnya, untuk menghasilkan daya yang sama, mesin memerlukan volume bahan bakar yang lebih sedikit, yang terlihat sebagai penurunan konsumsi pada grafik. Hal ini didukung oleh studi

yang menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) cenderung mencapai titik minimum pada putaran menengah ke atas, yang mengindikasikan efisiensi bahan bakar terbaik pada rentang tersebut. Ini terjadi karena pada putaran ini, kerugian akibat gesekan internal dan pemompaan masih relatif terkendali sementara aliran udara dan pengisian silinder (volumetric efficiency) berada pada tingkat yang baik.

Namun, ketika putaran terus dinaikkan melampaui titik efisiensi tersebut, yaitu pada 5.500–6.000 rpm, konsumsi bahan bakar kembali meningkat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kerugian mekanis yang signifikan pada putaran sangat tinggi. Semakin cepat mesin berputar, semakin besar gaya gesek antar komponen bergerak seperti piston, ring piston, dan poros engkol. Selain itu, energi yang dibutuhkan untuk proses pemompaan (pumping losses) juga meningkat seiring dengan naiknya putaran, yang semuanya memerlukan energi tambahan dari hasil pembakaran. Kondisi ini sering disebut sebagai operasi di luar puncak kurva daya, di mana mesin bekerja lebih keras dengan efisiensi yang lebih rendah, sehingga konsumsi bahan bakar per satuan waktu menjadi lebih tinggi untuk mengatasi kerugian-kerugian tersebut.

Pada kedua sampel B10 dan B20, pola yang teramati adalah sebuah kenaikan konsumsi pada rentang 1.500–4.500 rpm, yang kemudian diikuti oleh sebuah penurunan pada rentang 5.000–6.000 rpm. Sementara itu, B30 menunjukkan sebuah pola yang paling berbeda di antara semuanya. Ia justru menurun pada rentang awal (1.500–3.000 rpm), kemudian naik pada rentang 3.500–4.500 rpm, dan akhirnya turun kembali pada rentang 5.000–6.000 rpm.

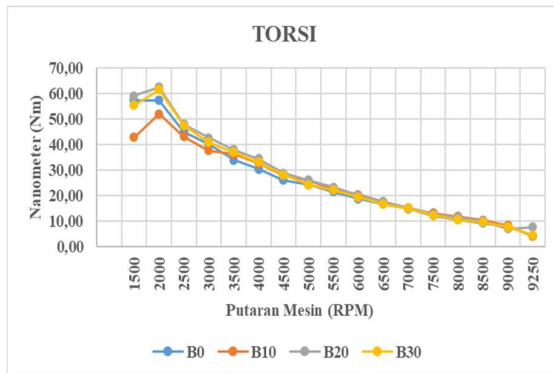


Gambar 8. Grafik Pengujian Daya

Merujuk pada Gambar 8, dapat diketahui bahwa B0 mengalami peningkatan daya secara bertahap dan konsisten pada rentang putaran 1.500–5.500 rpm. Setelah mencapai puncaknya,

daya mulai menunjukkan tren penurunan hingga putaran tertinggi 9.250 rpm. Campuran B10 menunjukkan pola peningkatan daya yang berlangsung hingga putaran 5.000 rpm, sebelum akhirnya memasuki fase penurunan.

Campuran B20 memperlihatkan pola yang tergolong paling unik di antara keempat variasi. Daya naik pada putaran awal, kemudian sempat turun pada 2.500 rpm, lalu naik kembali pada rentang 3.000–4.000 rpm. Setelah itu, daya kembali turun hingga putaran 9.000 rpm, dan sempat naik lagi secara singkat pada 9.250 rpm. Adapun B30 meningkat pada rentang 1.500–4.000 rpm, kemudian turun hingga 6.500 rpm, lalu naik lagi pada 7.000 rpm, dan setelah itu menurun kembali hingga 9.250 rpm.



Gambar 9. Grafik Pengujian Torsi

Gambar 9. memperlihatkan perilaku torsi menanggapi perubahan kecepatan putaran mesin. Pada komposisi B0, nilai torsi cenderung bertahan relatif stabil pada rentang 1.500–2.000 rpm. Namun setelah melewati batas tersebut, torsi mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga mencapai putaran tertinggi 9.250 rpm.

Untuk ketiga variasi campuran, yaitu B10, B20, dan B30, pola yang teramati ternyata relatif seragam. Ketiganya sama-sama mengalami peningkatan torsi pada rentang putaran paling awal (1.500–2.000 rpm). Setelah melewati titik puncak awal tersebut, ketiganya kemudian menunjukkan tren penurunan yang konsisten hingga mencapai putaran maksimal 9.250 rpm.

KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh rangkaian eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi campuran B10, yaitu komposisi 10% minyak bonggol jagung dan 90% Pertamina, merupakan campuran dengan performa terbaik secara keseluruhan. Hal ini didasarkan pada kemampuannya untuk menghasilkan daya tertinggi di antara semua variasi campuran

sekaligus mampu menekan emisi gas buang CO, HC, dan CO₂ pada tingkat yang paling rendah. Dengan kata lain, B10 berhasil mencapai keseimbangan optimal antara peningkatan performa mesin dan pengurangan dampak lingkungan, yang menjadikannya komposisi paling ideal di antara B0, B10, B20, dan B30.

Sementara itu, variasi B20 dan B30 juga menunjukkan keunggulan pada parameter tertentu. B20 tercatat memiliki kadar O₂ terendah yang mengindikasikan pembakaran paling sempurna, sekaligus menghasilkan torsi tertinggi bersama dengan B30. Adapun B30 terbukti paling unggul dalam hal efisiensi konsumsi bahan bakar, yang menunjukkan bahwa penambahan bioetanol dalam jumlah lebih besar mampu mengurangi pemakaian bahan bakar secara signifikan. Namun demikian, keunggulan pada parameter spesifik ini tidak serta-merta menjadikan B20 atau B30 sebagai variasi terbaik secara keseluruhan, karena B10 tetap unggul pada lebih banyak parameter kunci, terutama daya dan emisi gas buang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, R., Ratman, M., & Said, I. (2016). Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol Dari Kulit Jagung Manis (*Zea mays saccharate*). *Jurnal Akademika Kimia*, 5(4), 197–201.
- Anwar, S., & Aziz, A. (2024). Analysis Of Exhaust Gas Emissions On A 125 Cc Fi 4 Stroke Engine Using Variations Of Biofuel And Pertamina Fuel Mixtures On The Environment., 6(1).
- Dwipa, R. M. A., Permana, R. A., Ramadhan, A. N., & Arifin, T. K. (2023). Analisis Campuran Bahan Bakar Dan Bioetanol Tongkol Jagung Terhadap Performa Kerja Mesin. *OSF Preprints*. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/skryx>
- Fitriani, Bahri, S., & Nurhaeni. (2013). Produksi Bioetanol Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dari Hasil Proses Delignifikasi. *Journal of Nature Science*, 2(3), 66–74.
- Haluti Siradjuddin. (2014). Pemetaan Potensi Limbah Tongkol Jagung sebagai Energi Alternatif di Wilayah Provinsi Gorontalo. *Tesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Khabibulloh, M. J. M., Suhartatik, N., & Mustofa, A. (2024). Masa Depan dan Pengembangan Bioetanol di Indonesia. *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, 13(2), 210–223.

- Laherrère, J., Hall, C. A. S., & Bentley, R. (2022). How much oil remains for the world to produce? Comparing assessment methods, and separating fact from fiction. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100174.
- Majedi, F., & Puspitasari, I. (2017). Optimasi Daya dan Torsi pada Motor 4 Tak dengan Modifikasi Crankshaft dan Porting pada Cylinder Head. *JTT Jurnal Teknologi Terpadu*, 5(1), 82.
<https://doi.org/10.32487/jtt.v5i1.216>
- Majid, A., Kusuma, I. G. B. W., & Adnyana, I. W. B. (2024). Pengaruh Konsentrasi Bioetanol Pada Bahan Bakar Pertamina Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Genset. *Jurnal Teknik Mesin Dan Manufaktur (JTMM)*, 6(2), 63–77.
- Pipit Mulyah, dkk. (2020). Sistem Kerja Motor 4 Langkah. *Journal GEEJ*, 7(2), 6–36.
- Prasetya, A., Rifky, & Yusuf, D. M. (2020). Pengaruh Penggunaan Campuran Bioetanol dari Biji Cempedak dalam Pertamina terhadap Kinerja Motor Matik. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 4, 44–58.
<https://doi.org/10.22236/teknoka.v4i0.4290>
- Winoko, Y. A., Setiawan, A., & Aji, S. (2024). Analisis Pemakaian Campuran Bioetanol dari Bonggol Jagung dengan Bahan Bakar Oktan 92 pada Mesin Bensin. *UMJember Proceeding*, 3(1), 275–282.