

Submitted : 18 April 2024

Revised : 15 May 2024

Accepted : 13 June 2024

## ANALISIS EFISIENSI PERFORMA PEMBAKARAN INTERNAL PADA KERJA MESIN EMPAT LANGKAH TERHADAP PENAMBAHAN ZAT ADITIF METANOL

**Damayanti Damayanti<sup>1\*</sup>, Adimas Anugrah Rivandy<sup>1</sup>, Athallah Satrioindya Herlambang<sup>1</sup>, Guita Normi<sup>1</sup>, Putra Hidayatulloh<sup>1</sup>, Veronika Viany Suswanto<sup>1</sup>, Agus Slamet Riyadi<sup>1</sup>, Didik Supriyadi<sup>1</sup>, Desi Riana Saputri<sup>1</sup>, Yunita Fahni<sup>1</sup>, Andri Sanjaya<sup>1</sup>, Devia Gahana Cindi Alfian<sup>2</sup>, Muhammad Triyogo Adiwibowo<sup>3</sup>, Dikri Uzlifah Janah<sup>1</sup>, Taharuddin Taharuddin<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 35365, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 35365, Indonesia

<sup>3</sup> Department of Chemical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

<sup>4</sup>Department of Chemical Engineering, University of Lampung, Bandar Lampung, 35141, Indonesia

\*Email: [damayanti@tk.itera.ac.id](mailto:damayanti@tk.itera.ac.id)

### Abstrak

Cadangan minyak bumi Indonesia terus menurun sedangkan jumlah kendaraan dan kebutuhan bahan bakar di Indonesia semakin meningkat. Peningkatan jumlah kendaraan, yang mana performa pembakarannya yang kurang sempurna dapat mengakibatkan banyaknya polusi udara. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja motor bakar, dan mengurangi polusi udara dari emisi gas buang dengan cara menambahkan zat aditif metanol pada bahan bakar. Analisis performa mesin yang dilakukan yaitu *power*, torsi, *break mean effective pressure*, efisiensi termal, dan *specific fuel consumption*, serta pengujian emisi gas buang kendaraan. Pada analisis uji performa mesin bensin, terlihat bahwa dengan penambahan metanol sebanyak 1,2%, terjadi peningkatan torsi, power, dan BMEP pada putaran 2500 rpm masing-masing sebesar 49,45%, 53,38%, dan 49,55%.

**Kata Kunci:** Emisi; Minyak bumi; Performa mesin; Zat aditif

### Abstract

Indonesia's petroleum reserves continue to decline, while the number of vehicles and fuel needs in Indonesia are increasing. The increasing number of cars whose combustion performance is incomplete results in much air pollution. This study aims to enhance the efficiency of combustion engines and minimize air pollution caused by exhaust emissions. Multiple methods exist, including adding methanol additives to the fuel. This research analyzes engine performance, namely *power*, torque, *brake mean effective pressure*, thermal efficiency, and *specific fuel consumption*, as well as testing vehicle exhaust emissions. By analyzing performance testing of gasoline engines, it is evident that adding 1.2% methanol results in a significant increase in torque, power, and BMEP at 2500 rpm by 49.45%, 53.38%, and 49.55%, respectively.

**Keywords:** Additives; Emission; Engine performance; Petroleum reserves

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah penduduk dan berkembangnya teknologi menyebabkan adanya peningkatan penggunaan energi terutama sumber energi yang berasal dari minyak bumi. Peningkatan jumlah penduduk juga berbanding lurus dengan peningkatan jumlah kendaraan. Dilansir dari Badan Pusat Statistik (BPS), peningkatan jumlah kendaraan roda empat selama periode 2012–2022 mencapai 6,74% dan tumbuh sekitar 65% (Ahdiat, 2023). Mesin yang biasa digunakan oleh kendaraan saat ini seperti mobil, motor, bus, dan lainnya adalah mesin *spark ignition engine*. *Spark ignition engine* biasanya menggunakan bahan bakar petrol (*gasoline*), tapi juga dapat menggunakan bahan bakar lainnya seperti gas alam, propana, maupun biogas. Bahan bakar yang paling baik digunakan pada mesin berjenis *spark ignition engine* adalah bensin. Kebanyakan mesin *spark ignition engine* adalah mesin empat langkah (empat tak), tetapi ada juga yang menggunakan mesin dua langkah (dua tak), karena jenis ini umumnya digunakan untuk perangkat mekanis yang tidak terlalu besar. Mesin dua langkah juga digunakan pada sepeda motor meskipun sepeda motor paling maju sekarang beberapa sudah menggunakan mesin empat langkah (Breeze, 2017).

Ada dua jenis mesin yang cukup umum yaitu *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Dari dua metode tersebut, *spark ignition* (SI) atau *compression ignition* (CI) (Zhu et al., 2024), memiliki beberapa perbedaan karakteristik, seperti karakteristik penting bahan bakar yang digunakan, metode persiapan campuran, desain ruang bakar, metode pengendalian beban, langkah kerja mesin, emisi mesin, dan lainnya (Boretti, 2024). Pada siklus pengoperasian mesin (langkah kerja mesin) ada dua jenis siklus pengoperasian, yaitu siklus mesin empat langkah dan siklus mesin dua langkah (Wu et al., 2024). Dengan demikian mesin empat langkah merupakan mesin pembakaran internal, yang dalam satu kali siklus pembakaran akan mengalami empat langkah piston. Setiap silinder membutuhkan empat langkah pistonnya dua putaran poros engkol untuk menyelesaikan urutan kejadian yang menghasilkan satu langkah tenaga baik mesin SI dan CI (Aniekan & Basse, 2024).

Terdapat empat siklus pada operasi mesin empat langkah yaitu, langkah hisap (*intake*). Pada proses ini dimulai dari piston pada posisi *top-center* (TC) dan diakhiri dengan piston pada posisi *bottom-center* (BC). Selanjutnya merupakan langkah kompresi (*compression*), kondisi kedua *valves* tertutup dan campuran yang berada di dalam silinder dikompres menjadi fraksi kecil dari volume awalnya. Sebelum akhir dari langkah kompresi, pembakaran diinisiasi dan tekanan di dalam silinder meningkat dengan cepat. Pada proses selanjutnya merupakan langkah ekspansi (*expansion*), pada kondisi ini pembakaran dimulai dengan piston berada pada TC dan berakhir pada BC bersamaan dengan gas bertemperatur dan tekanan tinggi mendorong piston ke bawah dan memaksa *crank* berputar. Sekitar lima kali lebih banyak pekerjaan yang dilakukan pada piston selama langkah ekspansi dibandingkan dengan yang harus dilakukan piston

during compression. Saat piston mendekati BC, katup buang terbuka untuk memulai proses pembuangan dan menurunkan tekanan silinder hingga mendekati tekanan buang. Proses terakhir merupakan langkah buang (*exhaust*), di saat sisa gas yang terbakar keluar dari silinder: pertama, karena tekanan silinder mungkin jauh lebih tinggi daripada tekanan buang; kemudian disapu oleh piston saat bergerak menuju TC. Saat piston mendekati TC, katup masuk terbuka. Tepat setelah TC knalpot menutup dan siklus dimulai lagi (Heywood, 2018).

Proses pembakaran bahan bakar tersebut menghasilkan emisi gas buang yang biasanya terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari sistem pembakaran dan pembuangan mesin serta kurang tercukupinya oksigen dalam proses pembakaran tersebut. Dalam hal ini, aditif bahan bakar yang memiliki volume rendah dengan kandungan oksigen yang tinggi berperan penting dalam mendorong penurunan emisi (Kusuma, 2002). Dari hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara terdapat zat-zat berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup. Kebanyakan zat-zat tersebut berasal dari reaksi pembakaran parsial/pembakaran tidak sempurna seperti, hidrokarbon, karbon monoksida, nitrogen oksida, dan lain-lain (Ningrat et al., 2016). Oleh karena itu, untuk memaksimalkan reaksi pembakaran di mesin bakar maka ditambahkan aditif. Zat aditif digunakan untuk memberikan peningkatan sifat dasar tertentu yang telah dimilikinya. Jadi, penambahan zat aditif diharapkan dapat meningkatkan performa mesin dan juga membuat emisi gas buang lebih ramah lingkungan (Saxena et al., 2017).

Pada penelitian ini metanol digunakan sebagai zat aditif. Metanol merupakan golongan alkohol yang sering digunakan sebagai bahan bakar ataupun aditif bahan bakar. Produksi metanol dapat melalui berbagai macam cara, seperti gas alam, gasifikasi batubara ataupun biomassa (Shayan et al., 2011). Selain itu, metanol merupakan bahan bakar cair atau memiliki beberapa karakteristik sebagai bahan bakar pada motor bakar yang berperforma tinggi yang menghasilkan tingkat racun dan senyawa emisi gas buang yang lebih rendah (Irawan, 2008). Selain itu, beberapa peneliti telah melakukan uji performa pada mesin empat langkah, akan tetapi penambahan zat aditif yang jumlahnya kurang dari 2% belum banyak diteliti pada saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa pembakaran internal pada mesin empat langkah dengan menambahkan metanol dengan kadar  $\leq 2\%$  sebagai zat aditif, dan, pada penelitian ini mencoba untuk mendemonstrasikan efek dari penggunaan zat aditif terhadap kinerja mesin empat langkah, dan sifat kimia-fisik pada bahan bakar.

## 2. BAHAN DAN METODE

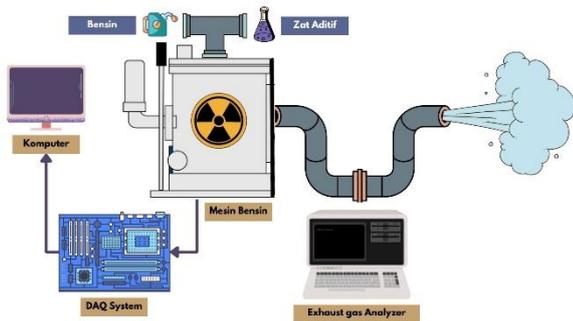
### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah hidrokarbon (HC) berupa pertalite dengan *research octant number* 90 dari Pertamina, dan metanol 99,9% (Merck, Jerman). Pada penelitian ini digunakan mesin diesel, dengan di

lakukan kalibrasi pada instrumen Data Acquisition System (DAQ).

## 2.2 Mesin Bakar

Digunakan mesin bakar dengan tipe dari mesin Kohler yang dikalibrasi pada instrumen *data acquisition system* (DAQ) dengan dimensi diameter silinder 70 mm, langkah piston 54 mm dengan tipe sistem pengapian elektrik. Mesin ini dapat menggunakan daya sebanyak 4,5 kW pada 3600 rev/min dan 2,2 kW pada 1800 rev/min. dengan kapasitas mesin dapat mencapai 208 cm<sup>3</sup>. Digunakan campuran antara pertalite dan zat aditif, dengan persentase zat aditif yang digunakan 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; dan 2%, dengan simbol untuk masing-masing persentase adalah B100, ME04, ME08, ME12, ME16 dan ME20. Mesin bakar akan dilakukan pemanasan selama 8 menit, hingga mencapai kondisi pengoperasian normal. Kemudian matikan mesin, lakukan kalibrasi pada instrumen DAQ. Setelah display 0, hidupkan mesin kembali, kemudian atur kecepatan mesin dengan variasi 1.500 rpm, 2.000 rpm, 2.500 rpm dan 3.000 rpm dengan beban dinamometer pada 1 putaran. Data akan terlihat pada layar komputer, seperti power, torsi, SFC, BEMP, dan efisiensi termal, kemudian lakukan pengulangan dengan variasi pencampuran aditif yang berbeda.



Gambar 1. Rancangan mesin bakar empat langkah

## 2.3 Parameter Kerja Mesin

### 2.3.1 Torsi

*Torque* atau torsi merupakan suatu besarnya gaya dorong yang dapat dikeluarkan mesin. Torsi juga didefinisikan sebagai besarnya momen putar yang terjadi pada poros output mesin akibat adanya pembebanan dengan sejumlah massa. Nilai torsi dapat didapatkan dengan rumus berikut:

$$T = F \cdot b \quad (1)$$

Dimana T adalah torsi (Nm); F adalah gaya (N); b adalah Jarak rotor dengan *load cell* (m).

### 2.3.2 Daya

Daya atau *power* didefinisikan sebagai besarnya tenaga yang dihasilkan motor tiap satu satuan waktu. Rumus dari daya adalah:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot T \quad (2)$$

Dimana P adalah daya (kW); N adalah putaran mesin (rpm); T adalah torsi (Nm).

### 2.3.3 Konsumsi bahan bakar spesifik

Parameter *specific fuel consumption* (SFC) adalah laju alir bahan bakar per satuan *power output*. Hal ini mengukur seberapa efisien mesin menggunakan bahan bakar yang disuplai. SFC dihitung menggunakan persamaan 3:

$$SFC = \frac{mf}{P} \quad (3)$$

Dimana SFC adalah *specific fuel consumption* (g/kW.h); *mf* adalah laju alir bahan bakar per satuan waktu (g/h); P adalah daya (kW).

### 2.3.4 Efisiensi termal

Efisiensi termal adalah seberapa besar energi pada bahan bakar yang dapat dikonversikan menjadi tenaga dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_f = \frac{P}{m_f Q_{HV}} = \frac{3600}{SFC \cdot Q_{HV}} \quad (4)$$

Dimana  $\eta_f$  adalah efisiensi termal; P adalah daya (kW); *mf* adalah laju alir bahan bakar per satuan waktu (g/s); *Q<sub>HV</sub>* adalah *heating value* bahan bakar (MJ/Kg); SFC adalah *specific fuel consumption* (g/kW.h).

### 2.3.5 Mean effective pressure (MEP)

*Mean effective pressure* atau juga disebut tekanan efektif rata-rata adalah tekanan rata-rata di dalam silinder untuk satu siklus mesin. MEP merupakan parameter untuk mengukur performa mesin dan tidak merefleksikan tekanan pada ruang pembakaran.

$$MEP = \frac{P \cdot n \cdot g \cdot 10^3}{V \cdot d \cdot N} \quad (5)$$

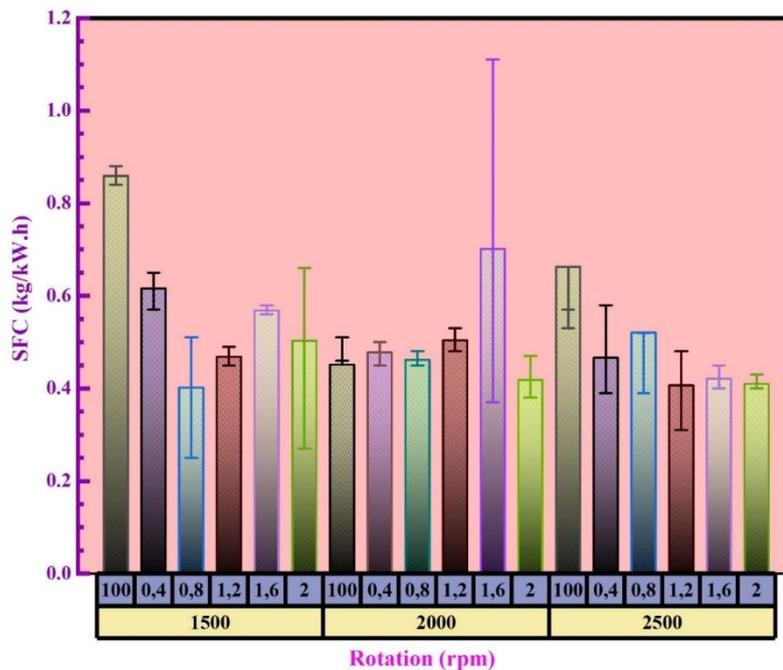
Dimana P adalah daya (kW); nN adalah jumlah langkah per satu *power stroke*, Vd adalah volume silinder yang terpindahkan (dm<sup>3</sup>); dan N adalah putaran mesin (rpm).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Specific Fuel Consumption (SFC)

*Specific fuel consumption* merupakan salah satu variabel parameter performa mesin motor bakar karena dari SFC dapat diketahui seberapa banyak bahan bakar yang terkonsumsi dalam menghasilkan satu *power*. Hal ini dapat mengukur seberapa efisien mesin menggunakan bahan bakar yang disuplai dan menjadikannya kerja. Nilai SFC yang diinginkan yaitu serendah mungkin, karena diinginkan hasil *power* yang besar dengan menggunakan sedikit bahan bakar. Maka dari itu semakin kecil nilai SFC yang didapat semakin baik (Heywood, 2018). Pada Gambar 2 merupakan grafik data SFC hasil dari pengujian performa mesin motor bakar.

Pada penggunaan ME nilai SFC terbaik diperoleh pada komposisi 0,8% (ME08) dengan putaran mesin 1.500 rpm, yaitu sebesar 0,4016 kg/kW.h. Sedangkan nilai SFC terburuk pada saat penggunaan metanol terjadi pada saat komposisi metanol yang digunakan sebesar 0,4% (ME04) dengan putaran mesin 1.500 rpm, nilai SFC yang diperoleh sebesar 0,616 kg/kW.h. Pada saat tidak dilakukan penambahan aditif, (B100) pada putaran mesin 1.500 dan 2.500 rpm, SFC yang diperoleh masing-masing sebesar 0,8592 dan 0,6624 kg/kW.h. Pada penambahan metanol nilai SFC yang diperoleh mengalami penurunan. Saat ME08 pada



Gambar 2. Specific fuel consumption hasil uji performa motor bakar

putaran mesin 1.500 rpm yang merupakan SFC terbaik, mengalami penurunan nilai SFC sebesar 39,37% dan pada saat ME04 pada putaran 1.500 rpm, yang merupakan SFC terburuk pada saat penambahan metanol, mengalami penurunan SFC sebesar 7%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Meng et al. (2016) mengenai potensi penggunaan aseton sebagai *oxygenated additive*, dengan menggunakan mesin SI berspesifikasi 575 cc, satu silinder. SFC terendah yang dihasilkan pada saat penambahan aditif campuran aseton dan etanol berada pada AE10 dengan putaran mesin 1.200 rpm dan variasi BMEP 5 bar, yaitu sebesar 372,95 g/kW.h atau 0,372 kg/kW.h. Sebaliknya pada saat tidak dilakukan penambahan pada bahan bakar (G100) nilai SFC lebih rendah dibandingkan pada saat dilakukan penambahan aditif, pada putaran yang sama dan variasi BMEP yang sama, 1.200 rpm dan 5 bar, nilai SFC yang dihasilkan sebesar 356,26 g/kW.h atau sama dengan 0,356 kg/kW.h (Meng et al., 2016).

Setelah dievaluasi, penambahan aditif metanol pada bahan bakar memberikan efek baik terhadap SFC, dimana SFC yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan metanol mengandung gugus oksigen. Saat metanol ditambahkan dapat memberikan oksigen lebih banyak pada pembakaran.

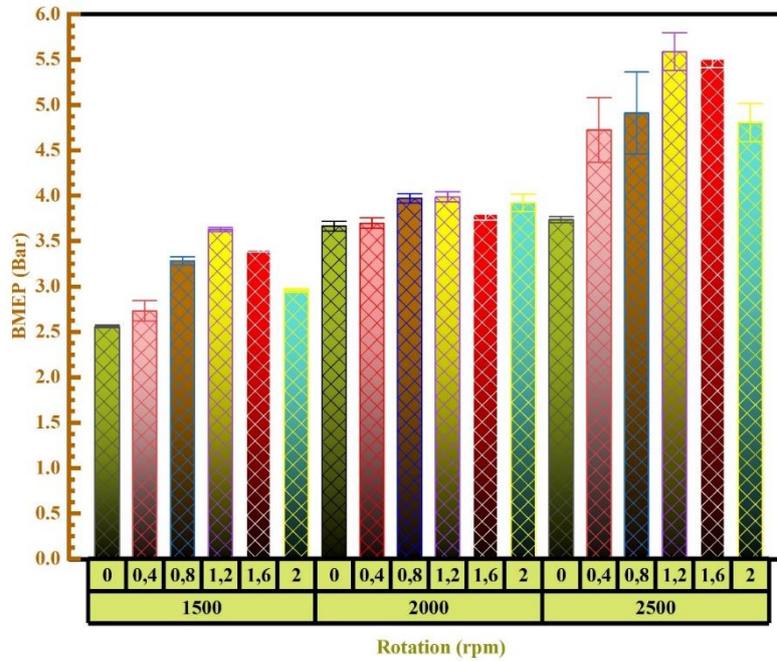
### 3.2 Brake Mean Effective Pressure (BMEP)

*Brake mean effective pressure* (BMEP) pada dasarnya merupakan rata-rata gaya tekan (tekanan) yang mendorong piston yang berada di dalam mesin ke bawah dan diukur menggunakan output torsi mesin. Dalam perhitungan BMEP, daya rem dan putaran mesin merupakan paramter utama, sehingga pada putaran mesin konstan karena BMEP dan daya rem memiliki variasi yang sama (Zare et al., 2016).

Dari Gambar 3 terlihat pada penggunaan aditif metanol, nilai BMEP terbesar yang diperoleh yaitu pada saat komposisi metanol 1,20% (ME120) dengan putaran 2.500 rpm, yaitu sebesar 5,5868 bar dan yang terendah pada komposisi metanol 0,40% (ME04) dengan putaran 1.500 rpm, dengan nilai BMEP sebesar 2,7288 bar. Pada saat tidak dilakukan penambahan (B100) pada putaran mesin 1.500 rpm dan 2.500 rpm, BMEP yang diperoleh masing-masing sebesar 2,5596 dan 3,7356 bar. Dilakukan perbandingan BMEP yang diperoleh saat dilakukan penambahan aditif metanol dan saat tidak dilakukan penambahan (B100) dan diperoleh hasil mengalami peningkatan BMEP. Pada penambahan aditif metanol 1,20% pada putaran 2.500 rpm yang merupakan BMEP terbesar mengalami peningkatan sebesar 49,55% sedangkan penambahan aditif metanol 0,40% pada putaran 1.500 rpm mengalami peningkatan sebesar 6,61%. Selanjutnya, Veza et al. (2020) telah melakukan penelitian mengenai *engine performance* dengan menggunakan tiga macam aditif. Aditif A yang mengandung campuran minyak, dimetil heptana, trimetil dan lainnya, aditif B pembersih dengan deterjen polieteramin (PEA) kemurnian tinggi, dan aditif C dengan formula *biodegradable* terkonsentrasi dengan konsentasi yang sama yaitu 0, 5, 10, 15, dan 20%. Hasil yang diperoleh yaitu semakin tinggi konsentrasi aditif yang ditambahkan maka semakin tinggi nilai BMEP (Veza et al., 2020). Hal tersebut dikarenakan adanya aditif yang ditambahkan pada bahan bakar dapat meningkatkan kandungan energi bahan bakar, dan berpengaruh signifikan terhadap performa mesin (Zare et al., 2016).

### 3.3 Brake Thermal Efficiency

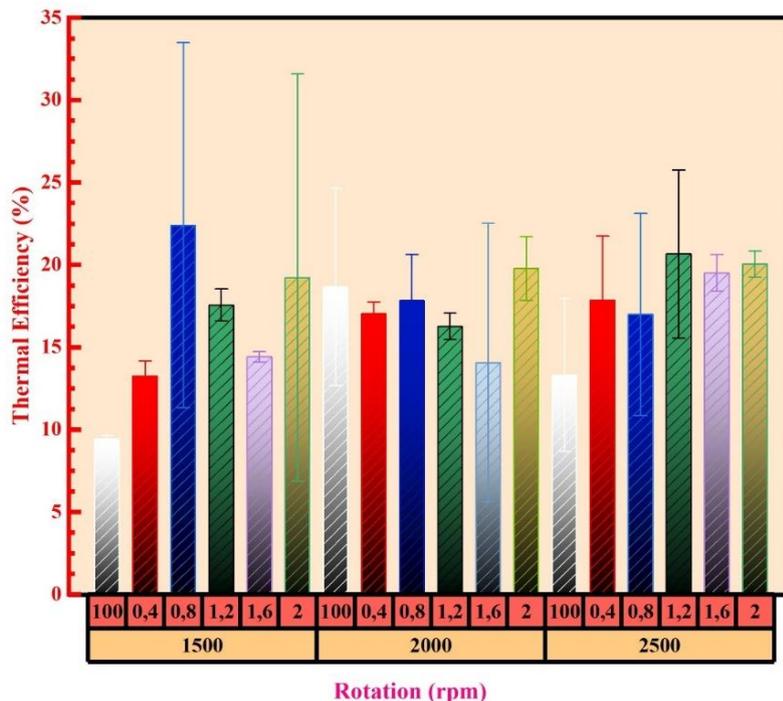
*Brake Thermal Efficiency* (BTE) menunjukkan seberapa baik mesin dapat mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi mekanik dan



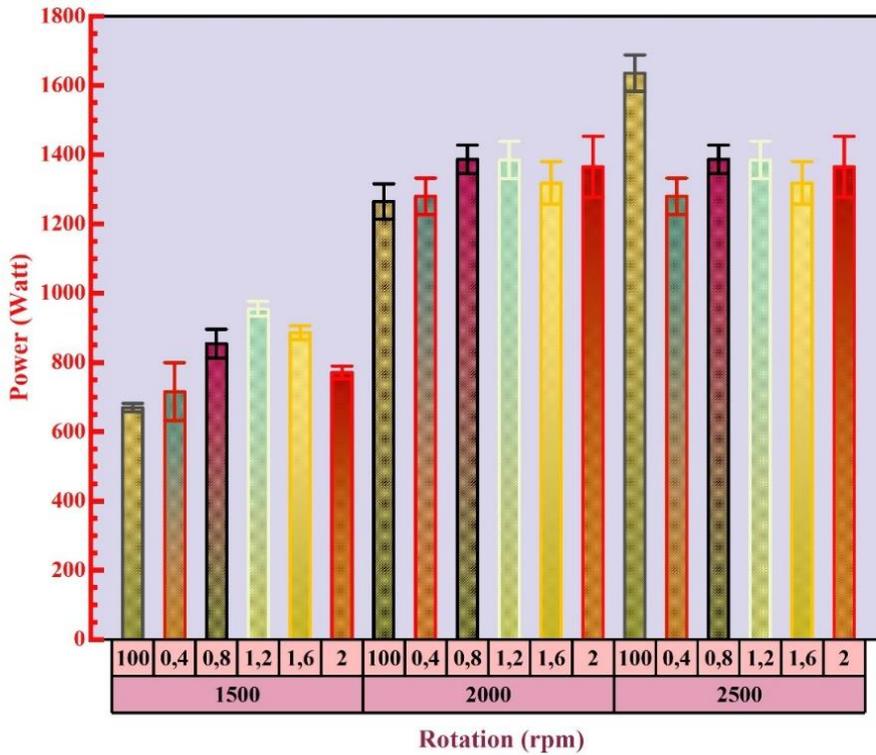
**Gambar 3.** Hasil uji performa motor bakar terhadap *brake mean effective pressure* (BMEP)

mewakili efisiensi konversi energi bahan bakar yang berbeda. Namun, input energi bahan bakar berubah dengan sifat bahan bakar, terutama berdasarkan nilai kalor yang lebih rendah seperti yang dihitung untuk campuran bahan bakar (Cabir & Yakın, 2024). BTE untuk bahan bakar biodiesel lebih rendah daripada karakteristik bahan bakar diesel. BTE menurun dengan campuran biodiesel karena nilai kalor yang rendah, viskositas yang lebih tinggi, volatilitas yang tinggi. Beberapa peneliti telah mempelajari dampak aditif pada BTE. Biodiesel minyak jarak (B100) dicampur dengan aditif magnalium (Al-Mg) dan diuji pada mesin diesel kecepatan konstan beban variabel

dan dari hasil ditemukan bahwa BTE meningkat dengan penambahan 1% magnesium (Al-Mg). Penambahan metanol secara signifikan dapat meningkatkan BTE. Namun pada penelitian ini pada Gambar 4, didapatkan nilai efisiensi termal tertinggi pada campuran metanol-bensin sebesar 1,20% (ME12) dengan kecepatan 2.500 rpm, sedangkan hasil terendah terdapat pada campuran metanol-bensin sebesar 0,4% (ME4) dengan kecepatan 1.500 rpm. Ini menunjukkan bahwa semakin besar campuran metanol-bensin dan semakin besar kecepatan yang digunakan maka semakin besar nilai efisiensi termal yang diperoleh.



**Gambar 4.** Profil *brake thermal efficiency* dengan berbagai rotasi

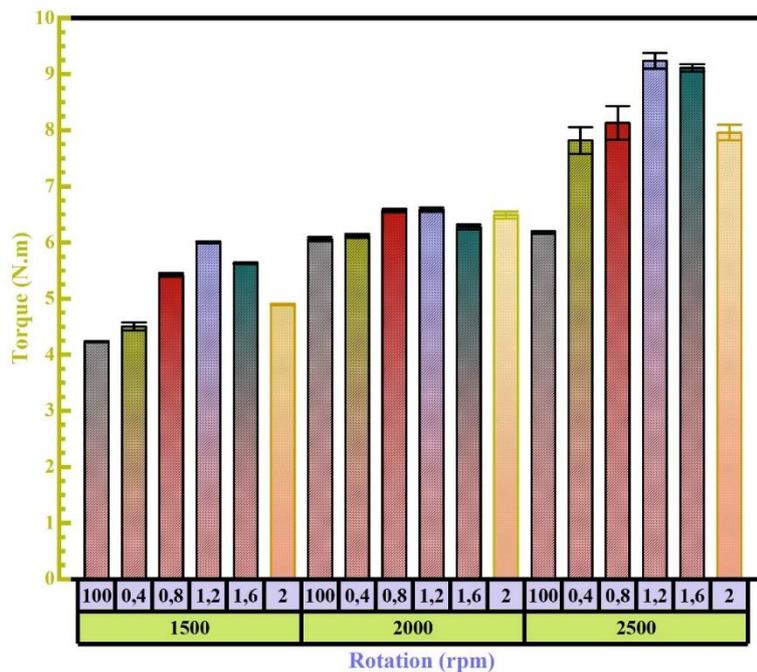


Gambar 5. Performa *power* pada motor bakar dengan berbagai profil dari rotasi

### 3.4 Performa Power

Variabel yang merupakan parameter performa mesin motor bakar setelah torsi yaitu daya (*power*). Daya atau *power* merupakan parameter seberapa besar tenaga mesin motor bakar yang dihasilkan tiap satuan waktu. *Power* berhubungan dan berbanding lurus dengan torsi, sehingga semakin besar torsi yang dihasilkan maka *power* yang dihasilkanpun semakin besar. Sama seperti torsi, diinginkan nilai *power* sebesar mungkin, karena semakin besar *power* yang dihasilkan maka semakin besar tenaga yang

dapat dikeluarkan mesin motor bakar tersebut. Pada Gambar 5 semakin tinggi putaran mesin yang digunakan semakin besar juga nilai *power* yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa nilai *power* terbesar didapatkan pada putaran mesin 2.500 rpm. Pada penggunaan ME menghasilkan *power* terbesar pada saat komposisi ME sebesar 0,8% (ME08) yaitu dengan *power* sebesar 2.508,52 W. Sedangkan untuk bahan bakar dengan penambahan metanol menghasilkan *power* terendah pada saat ME04 dan putaran mesin 1.500 rpm, yaitu 715,64 W. Sedangkan *power* terbesar



Gambar 6. Performa *torque* pada motor bakar dengan berbagai profil dari rotasi

saat penggunaan B100 berada saat putaran mesin 2.500 rpm, yaitu sebesar 1.635,4 W. Pada penambahan metanol ke bahan bakar juga menghasilkan peningkatan terhadap *power* mesin. Pada *power* terbesar yang dihasilkan saat penambahan metanol, yaitu saat ME08 pada putaran mesin 2.500 rpm mengalami peningkatan jika dibanding saat B100 pada putaran yang sama peningkatan yang terjadi sebesar 53,38%. Sedangkan pada saat penambahan metanol dengan torsi terendah, yaitu saat ME04 dengan putaran mesin 1.500 rpm, mengalami peningkatan sebesar 6,85% dibandingkan saat B100 pada putaran mesin yang sama. Dari grafik dan pembahasan, secara langsung kita dapat mengetahui bahwa penambahan metanol mampu meningkatkan *power* yang dihasilkan oleh mesin.

### 3.5 Performa Torque

Besarnya torsi menunjukkan seberapa besar gaya dorong yang dapat dikeluarkan oleh mesin. Sedangkan *power* merupakan laju kerja yang dihasilkan. *Power* merupakan produk yang dihasilkan dari torsi dan kecepatan sudut. Jadi semakin besar torsi suatu mesin maka semakin besar juga gaya dorong yang dapat dihasilkan dan semakin besar juga *power* mesin tersebut, yang mana dapat menunjukkan bahwa semakin bagus juga performa mesin tersebut (Pan et al., 2018). Dari Gambar 6 terlihat bahwa penambahan metanol pada bahan bakar menghasilkan torsi terbesar saat komposisi ME yang ditambahkan pada bahan bakar sebesar 1,2 % (ME12) dengan putaran mesin sebesar 2.500 RPM, yaitu sebesar 9,236 Nm. Sedangkan torsi terendah berada pada penggunaan penambahan metanol dengan komposisi sebesar 0,4% (ME04) dengan putaran mesin 1.500 rpm, yaitu 4,504 Nm. Pada penggunaan bahan bakar bensin tanpa penambahan nitroetana maupun metanol (B100) menghasilkan torsi yang paling kecil pada putaran mesin 1500 rpm yaitu 4,232 Nm. Pada saat tidak dilakukan penambahan apapun pada bahan bakar (B100) torsi terbesar diperoleh saat putaran mesin sebesar 2.500 rpm, yaitu 6,18 Nm. Peningkatan torsi pada saat penambahan metanol dengan torsi terbaik, yaitu saat ME12 dengan putaran mesin 2.500 rpm, dibandingkan saat penggunaan B100 pada putaran mesin yang sama sebesar 49,45%.

## 4. KESIMPULAN

Penggunaan zat aditif dapat meningkatkan performa pada pembakaran internal pada mesin empat langkah dengan menambahkan metanol sebagai zat aditif. Pada saat ratio ME08 dengan putaran mesin 1.500 rpm, didapatkan *specific fuel consumption* terbaik sebesar, 39,37%. Sedangkan efisiensi thermal pada rasio ME08 sangat tinggi hingga mencapai 23,5%. Performa mesin ini dapat menunjukkan seberapa baik mesin dapat mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi mekanik dan mewakili efisiensi konversi energi bahan bakar yang berbeda. Selain itu, gaya dorong yang dapat dikeluarkan oleh mesin berupa torsi, dengan gaya dorong bahan bakar sebesar 1,2 % (ME12) dengan putaran mesin sebesar 2.500 RPM,

yaitu sebesar 9,236 Nm. Selain itu, metanol dapat menghasilkan *power* terbesar pada saat komposisi ME sebesar 0,8% (ME08) yaitu dengan *power* sebesar 2.508,52 W. Untuk bahan bakar dengan penambahan metanol menghasilkan *power* terendah pada saat ME04 dan putaran mesin 1.500 rpm, yaitu 715,64 W. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji korosi dan uji penambahan inhibitor pada campuran bahan bakar sehingga mendapatkan data yang lebih komprehensif yang dapat diaplikasikan di kendaraan bermesin *gasoline*.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan Fakultas Teknologi dan Industri Institut Teknologi Sumatera dengan nomor hibah 14961/IT9.3.3/KU.00.01/2023 yang telah mendanai penelitian ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahdiat, A. (2023). Pertumbuhan jumlah mobil di indonesia 10 tahun terakhir. Retrieved 28 January <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/03/15/ini-pertumbuhan-jumlah-mobil-di-indonesia-10-tahun-terakhir> (accessed on 28 January).
- Aniekan, I., & Basse, M. (2024). Computational fluid dynamics of four stroke in-cylinder charge behavior at distinct valve lift opening clearance in spark ignition reciprocating internal combustion reault engine. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 8(1), 1-22.
- Boretti, A. (2024). A high-efficiency internal combustion engine using oxygen and hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50, 847-856.
- Breeze, P. (2017). *Piston engine-based power plants*. Academic Press.
- Cabir, B., & Yakin, A. (2024). Evaluation of gasoline-phthalocyanine fuel blends in terms of engine performance and emissions in gasoline engines. *Journal of the Energy Institute*, 112, 101483.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Education.
- Irawan, R. B. (2008). Pengaruh methanol terhadap pengurangan emisi gas buang carbon monoksida pada kendaraan motor bensin. *TRAKSI*, 6(1).
- Kusuma, I. G. B. W. (2002). Alat Penurun emisi gas buang pada motor, mobil, motor tempel dan mesin pembakaran tak bergerak. *Makara Journal of Technology*, 6(3), 147108.
- Meng, L., Zeng, C., Li, Y., Nithyanandan, K., Lee, T. H., & Lee, C.-f. (2016). An experimental study on the potential usage of acetone as an oxygenate additive in PFI SI engines. *Energies*, 9(4), 256.
- Ningrat, A., Kusuma, I., & Adnyana, I. W. B. (2016). Pengaruh penggunaan bahan bakar pertalite terhadap akselerasi dan emisi gas buang pada sepeda motor bertransmisi otomatis. *Jurnal Mettek*, 2(1), 59-67.

- Pan, M., Wei, H., Feng, D., Pan, J., Huang, R., & Liao, J. (2018). Experimental study on combustion characteristics and emission performance of 2-phenylethanol addition in a downsized gasoline engine. *Energy*, 163, 894-904.
- Saxena, V., Kumar, N., & Saxena, V. K. (2017). A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled CI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 563-588.
- Shayan, S. B., Seyedpour, S., Ommi, F., Moosavy, S., & Alizadeh, M. (2011). Impact of methanol-gasoline fuel blends on the performance and exhaust emissions of a SI engine. *International Journal of Automotive Engineering*, 1(3), 219-227.
- Veza, I., Said, M. F. M., & Latiff, Z. A. (2020). Improved performance, combustion and emissions of SI engine fuelled with butanol: A review. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 17(1), 7648-7666.
- Wu, G., Ma, Q., Wei, L., Jiang, G., Wang, T., & Li, T. (2024). Characteristics of particulate matter emissions for low-sulfur heavy oil used in low-speed two-stroke diesel engines of ocean-going ships. *Journal of Thermal Science*, 1-12.
- Zare, A., Nabi, M. N., Bodisco, T. A., Hossain, F. M., Rahman, M. M., Ristovski, Z. D., & Brown, R. J. (2016). The effect of triacetin as a fuel additive to waste cooking biodiesel on engine performance and exhaust emissions. *Fuel*, 182, 640-649.
- Zhu, T., Qiu, Y., Yan, X., Gao, Z., Zhu, L., & Huang, Z. (2024). Effects of intake conditions on a dual-fuel spark-assisted compression ignition engine with polyoxymethylene dimethyl ether and methanol as fuels. *Fuel*, 357, 129709.