

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI CELAH KATUP BUANG DAN PUTARAN MESIN TERHADAP EFISIENSI VOLUMETRIK PADA MESIN DIESEL EMPAT LANGKAH

Rotama Arifin Sidabutar,¹ Enzo W.B Siahaan², Hodmiantua Sitanggang³

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Darma Agung^{1,2,3}
Jl. DR. TD. Pardede No.21 Medan, 20153, SumateraUtara

Email : rotamaarifinsidabutar@gmail.com^{1)*}, enzo.battra84@gmail.com²⁾,
hodmiantuasitanggang@gmail.com³⁾

ABSTRAK

Mobil adalah salah satu alat transportasi yang paling sering digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari untuk bepergian, sehingga tidak bisa dipisahkan dari kehidupan masyarakat saat ini. Salah satu jenis mobil yang penting adalah mobil diesel. Kualitas mobil diesel sebagai kendaraan di dunia otomotif tidak bisa digantikan oleh mesin lain karena performanya yang unggul. Oleh karena itu, mesin ini memainkan peran penting dalam industri otomotif. Mesin diesel diharapkan dapat menghasilkan tenaga yang kuat untuk berbagai kondisi jalan, sehingga pengemudi merasa nyaman saat mengemudi. Daya mesin dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk proses pembakaran di ruang bakar. Salah satu faktor yang mempengaruhi kesempurnaan pembakaran adalah tekanan dan suhu udara yang masuk ke ruang bakar. Secara teori, udara yang masuk ke ruang bakar pada mesin diesel sama dengan volume langkah piston dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB). Namun, pada kenyataannya, terdapat penyimpangan yang menyebabkan volume udara yang masuk lebih kecil dari volume langkah piston. Rasio antara volume udara yang masuk ke ruang bakar dan volume langkah piston disebut efisiensi volumetrik. Untuk mengetahui besarnya efisiensi volumetrik rata-rata, dilakukan penyetelan celah katup buang yang bervariasi pada putaran mesin 1200 rpm, 1400 rpm, dan 1600 rpm. Penelitian ini mengkaji variasi penyetelan celah katup buang dengan celah 0,2 mm, 0,4 mm, dan 0,6 mm, yang diukur menggunakan Air Box Meter. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah eksperimen.

Kata Kunci : celah katup; mesin diesel; efisiensi volumetrik; putaran mesin

ABSTRACT

Cars are one of the most frequently used means of transportation by humans in daily life for traveling, so they cannot be separated from people's lives today. One of the important types of cars is diesel cars. The quality of diesel cars as vehicles in the automotive world cannot be replaced by other engines because of their superior performance. Therefore, this engine plays an important role in the automotive industry. Diesel engines are expected to produce strong power for various road conditions, so that the driver feels comfortable while driving. Engine power is affected by many factors, including the combustion process in the combustion chamber. One factor that affects the perfection of combustion is the pressure and temperature of the air entering the combustion chamber. In theory, the air entering the combustion chamber in a diesel engine is equal to the volume of the piston stroke from Top Dead Point (TMA) to Bottom Dead Point (TMB). However, in reality, there are deviations that cause the incoming air volume to be smaller than the piston stroke volume. The ratio between the volume of air entering the combustion chamber and the piston stroke volume is called volumetric efficiency. To determine the average volumetric efficiency, the exhaust valve gap tuning was varied at engine speeds of 1200 rpm, 1400 rpm, and 1600 rpm. This study examines variations in exhaust valve gap adjustments

with gaps of 0.2 mm, 0.4 mm, and 0.6 mm, as measured using an Air Box Meter. The research approach used was experimental.

Keywords: valve gap; diesel engine; volumetric efficiency; engine speed.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia otomotif di Indonesia terus maju seiring dengan kemajuan IPTEK, dengan berbagai industri mobil, mulai dari mobil niaga, mobil keluarga, hingga mobil mewah, berlomba-lomba untuk menguasai pasar internasional melalui penerapan teknologi canggih dalam produksinya, baik pada desain bodi maupun mesin yang semakin inovatif [1]. Fokus utama saat ini adalah peningkatan teknologi mesin, di mana para pemilik mobil rela mengeluarkan biaya tinggi untuk meningkatkan performa kendaraan mereka agar tangguh di berbagai medan.

Daya mesin, yang sangat menentukan ketangguhan kendaraan, dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk proses pembakaran di ruang bakar. Pada motor diesel, udara dikompresi hingga mencapai tekanan dan suhu tinggi sebelum bahan bakar diinjeksikan dan terbakar. Idealnya, mesin empat langkah dapat mengisap udara sebanyak volume langkah piston untuk setiap langkah isap, tetapi kenyataannya, jumlah udara yang masuk lebih sedikit daripada volume ideal. Perbandingan ini disebut efisiensi volumetrik, yang meningkat dengan semakin banyaknya udara yang masuk ke silinder[2].

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi volumetrik pada motor diesel meliputi kecepatan udara yang masuk melalui katup dan besarnya sudut overlapping, yang terjadi ketika katup buang belum menutup penuh sementara katup masuk sudah mulai membuka, membantu membersihkan gas buang dan mendinginkan silinder. Sudut overlapping yang besar meningkatkan efisiensi volumetrik, yang dipengaruhi oleh celah katup masuk dan buang. Katup masuk mengontrol jumlah udara yang masuk ke ruang bakar, sedangkan katup buang mengatur pembuangan gas. Celah katup yang rapat memungkinkan katup membuka lebih awal dan menutup lebih lama, meningkatkan efisiensi

volumetrik karena lebih banyak udara masuk dan gas buang lebih mudah dikeluarkan[3].

Pengujian efisiensi volumetrik dilakukan dengan alat Air Box Meter, dan hasilnya dianalisis berdasarkan teori untuk menentukan efek variasi penyetelan celah katup buang pada efisiensi volumetrik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui adanya perubahan terhadap efisiensi volumetrik rata-rata dari variasi penyetelan celah katup buang pada motor diesel. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini membatasi objek pada celah katup buang saja, dengan penyetelan celah katup buang pada 0,2 mm, 0,4 mm, dan 0,6 mm [4].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mesin Diesel 4 Langkah

Motor diesel, juga dikenal sebagai motor penyalan kompresi (Compression Ignition Engine), menggunakan udara terkompresi untuk menyalakan bahan bakar [5]. Motor empat langkah bekerja dengan empat langkah piston dan dua putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali langkah kerja. Bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder sebagai butiran halus atau kabut, yang kemudian menguap dan bercampur dengan udara bertekanan dan bersuhu tinggi, menghasilkan pembakaran [6]. Gas pembakaran yang dihasilkan mendorong piston ke bawah, dan gerakan ini diubah menjadi gerak putar oleh poros engkol melalui connecting rod. Kepala silinder memiliki katup masuk untuk memasukkan udara murni dan katup buang untuk mengeluarkan gas hasil pembakaran.

Cara Kerja Motor Diesel Empat Langkah diantaranya [7] :

1. Langkah Isap

Katup masuk membuka sebelum piston mencapai Titik Mati Atas (TMA) dan menutup setelah piston melewati Titik Mati Bawah (TMB). Gerakan piston menuju TMB menciptakan kevakuman di dalam silinder,

mengisap udara luar melalui katup masuk yang terbuka.

2. Langkah Kompresi

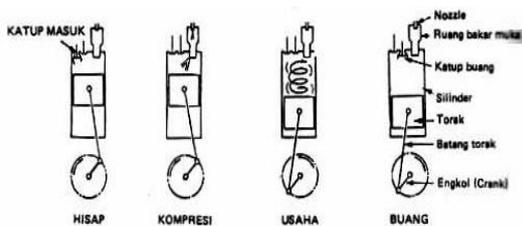
Katup masuk dan buang tertutup, piston bergerak dari TMB ke TMA, memampatkan udara dalam silinder hingga tekanan mencapai $\pm 30 - 50 \text{ kg/cm}^2$ dan suhu 550°C .

3. Langkah Ekspansi

Bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder sebelum piston mencapai TMA, menyebabkan pembakaran. Tekanan dan suhu maksimum terjadi beberapa saat setelah piston melewati TMA. Panas pembakaran mendorong piston dari TMA ke TMB, mengubah gerakan menjadi putaran melalui connecting rod dan poros engkol.

4. Langkah Buang

Katup buang membuka sebelum piston mencapai TMB, membiarkan gas buang keluar karena tekanan gas lebih tinggi dari udara luar. Piston bergerak dari TMB ke TMA, memaksa gas buang keluar dari silinder. Proses kemudian berulang dari langkah isap.



Gambar 1. Prinsip kerja motor diesel empat langkah

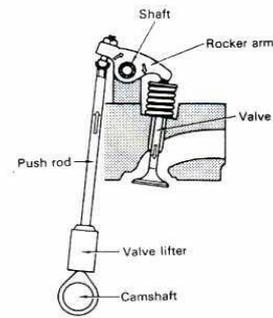
2.2. Mekanisme Penggerak Katup

Mekanisme penggerak katup mengendalikan pemasukan udara dan pengeluaran gas buang pada mesin empat langkah. Terdapat dua macam mekanisme penggerak katup yang umum digunakan: sistem katup pada kepala atau Over Head Valve (OHV), dan sistem poros nok pada kepala silinder atau Over Head Cam (OHC), yang terbagi menjadi satu poros nok (Single Over Head Cam, SOHC) dan dua poros nok (Double Over Head Cam, DOHC) [8].

Pada sistem OHV, poros nok berada pada poros silinder dan menggerakkan katup melalui tappet (valve lifter), batang penekan (push rod), dan pelatuk (rocker arm). Pada sistem OHC,

khususnya SOHC, poros nok (cam shaft) langsung menggerakkan pelatuk yang kemudian menggerakkan katup, bahkan ada yang menggerakkan katup langsung tanpa pelatuk.

Celah katup adalah jarak antara tuas penekan pada pelatuk dan batang katup. Penyetelan celah katup penting untuk memastikan ketepatan waktu pembukaan dan penutupan katup, yang berdampak pada tenaga mesin. Celah katup yang terlalu besar menimbulkan bunyi berisik dan menurunkan tekanan kompresi karena sedikitnya bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Sebaliknya, celah yang terlalu kecil menyebabkan kebocoran pada langkah kompresi karena katup terbuka terlalu lama, membocorkan gas dalam ruang bakar. Penyetelan celah katup harus sesuai dengan ketentuan pabrik, dan biasanya dilakukan pada ujung pelatuk yang berhubungan dengan batang katup, menggunakan baut penyetel.



Gambar 2. Susunan bagian-bagian mekanisme penggerak katup model OHV

2.3. Efisiensi Volumetrik

Mesin membutuhkan bahan bakar dan udara untuk bekerja. Performa optimal memerlukan pengukuran yang tepat dari kedua elemen ini. Namun, mengukur udara yang masuk pada mesin pembakaran dalam cukup sulit karena aliran yang tidak konstan dan sifat udara yang dapat dimampatkan [5].

Pada mesin empat langkah, idealnya udara yang dihisap sama dengan volume langkah piston, tetapi kenyataannya berbeda. Perbandingan antara jumlah udara yang sebenarnya dihisap dan jumlah udara yang ideal disebut "efisiensi volumetrik." Efisiensi volumetrik (η_v) dipengaruhi oleh kondisi isap (p , T). Misalnya, penggunaan

saringan udara menurunkan efisiensi karena hambatan yang ditimbulkan. Untuk menghindari kesalahan ini, kondisi udara atmosfer biasanya digunakan dalam pengujian.

Efisiensi volumetrik juga dapat diukur menggunakan alat Air Box Meter, dengan rumus:

$$\eta_v = \frac{\text{Volume udara sebanyak volume langkah piston pada (p,T)}}{\text{Volume udara terisap pada (p,T)}}$$

Kecepatan udara dihitung berdasarkan perbedaan tekanan manometer di saluran masuk udara:

$$C = \sqrt{2gH_{udara}}$$

dimana H adalah perbedaan head udara akibat aliran. Perbedaan head diukur dalam satuan kolom air dan dikonversi ke kolom udara:

$$p = H_{air} \times 1 \times \rho_{air} \quad p = H_{udara} \times 1 \times \rho_{udara}$$

$$H_{udara} = H_{air} \times \rho_{air} / \rho_{udara}$$

Laju aliran volume udara dihitung dengan rumus :

$$Q = Cd \cdot A \cdot \frac{\sqrt{2g(H_{air} \times \rho_{air})}}{\rho_{udara}}$$

Laju aliran massa udara:

$$M_{udara} = Q \cdot \rho_{udara}$$

Laju swept volume piston dari TMA ke TMB:

$$Q_{swept} = \frac{\{\frac{\pi}{4} D^2 x L x N x n\} / 2}{60 s}$$

2.4. Efek Celah Katup Terhadap Kinerja Mesin

Katup merupakan komponen logam tahan suhu tinggi yang terpasang pada kepala silinder dan berfungsi mengatur aliran udara masuk dan gas buang. Katup masuk membuka dan menutup saluran udara ke dalam silinder, sementara katup buang mengatur pembuangan gas hasil pembakaran [9].

Celah katup, yaitu jarak antara tuas penekan dan batang katup, harus disesuaikan dengan ketentuan pabrik. Celah katup yang terlalu besar menyebabkan suara berisik dan menurunkan tekanan kompresi karena kurangnya bahan bakar yang masuk. Sebaliknya, celah katup yang terlalu kecil dapat menyebabkan kebocoran kompresi dan pembukaan katup yang terlalu lama.

Efek celah katup yang tidak sesuai dapat dijelaskan berikut ini :

1. Celah terlalu rapat :
 - a. Katup terbuka terlalu lama.
 - b. Udara berlebihan masuk ke ruang bakar (katup masuk terlalu rapat).
 - c. Pembuangan gas lebih bersih (katup buang terlalu rapat).
 - d. Mesin tidak berjalan sempurna, tidak bertenaga, dan tidak stasioner.
2. Celah terlalu renggang :
 - a. Katup terbuka terlalu singkat.
 - b. Udara kurang masuk ke ruang bakar (katup masuk terlalu renggang).
 - c. Mesin sulit dihidupkan.
 - d. Pembuangan gas tidak bersih (katup buang terlalu renggang).
 - e. Mesin berisik, tidak bertenaga, cepat panas, dan tidak stasioner.

Penyetelan katup dilakukan di ujung pelatuk yang dilengkapi baut penyetel. Agar performa mesin tetap optimal, penyetelan celah katup perlu dilakukan secara rutin sebagai bagian dari perawatan berkala [10].

2.5. Putaran Mesin

Putaran mesin adalah besarnya gerak putar atau keliling poros engkol yang diukur dalam rpm, dengan menggunakan alat ukur *tachometer* [11]. Gerak putar ini terjadi akibat adanya gas hasil pembakaran yang mendorong torak ke bawah. Dengan perantaraan *connecting rod* gerakan tersebut diubah dan diteruskan ke poros engkol menjadi gerak putar. Putaran mesin sangat ditentukan oleh kualitas pembakaran. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses pembakaran di dalam silinder pada motor diesel antara lain : kualitas bahan bakar, tekanan udara masuk, temperatur udara masuk, perbandingan kompresi dan kecepatan motor. saluran udara ke dalam silinder, sementara katup buang mengatur pembuangan gas hasil pembakaran [12].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode

Metode pengumpulan data adalah cara-cara yang digunakan oleh peneliti untuk mengumpulkan data [13]. Metode yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian adalah dengan cara melakukan eksperimen. yaitu variasi penyetelan celah katup buang dilihat

perubahannya terhadap efisiensi volumetrik rata-rata pada mesin diesel.

Variabel dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Jenis variable dan parameter pengujian.

No	Jenis Variabel	Parameter Pengujian
1.	Variabel Bebas	Celah katup Buang : 0.2; 0.4; 0.6 mm
2.	Variabel Terikat	Nilai efisiensi volumetrik rata - rata
3.	Variabel Kontrol	Celah katup masuk 0.4 mm; Temperatur kerja vaksin 80°C, Putaran mesin 1200 rpm, 1400 rpm; dan 1600 rpm

3.2. Proses Pengumpulan Data

1. Tahap persiapan

Langkah - langkah pada tahap persiapan eksperimen antara lain sebagai berikut :

- a. Siapkan bahan dan peralatan yang akan digunakan selama penelitian.
- b. Lakukan pengecekan keadaan mesin dalam kondisi normal.
- c. Lakukan tune-up mesin agar sesuai dengan spesifikasi mesin.
- d. Lakukan pemanasan awal mesin dengan asumsi bahwa mesin telah mencapai suhu kerja mesin kira-kira selama 10 – 15 menit

2. Tahap pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

- a. Lakukan penyetelan celah katup buang yang diinginkan misalnya celah katup buang 0,4 mm.
- b. Pasang *air box meter* pada mesin yaitu dengan cara menghubungkan slang dari alat ukur ke intake manifold yang mana filter udaranya telah dilepas.
- c. Hidupkan mesin.
- d. Setel putaran mesin hingga 1200 rpm menggunakan tachometer diesel.
- e. Aktifkan stop watch.
- f. Amati pengukuran tinggi fluida pada *manometer* dan temperatur ruang pada *thermometer*.

- g. Catat hasil pengamatan dalam lembar observasi.
- h. Ulangi langkah a – g hingga diperoleh tiga kali pengulangan.
- i. Lakukan percobaan yang sama seperti langkah-langkah yang sudah tersebut di atas untuk celah katup buang lainnya.

3.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin diesel dengan spesifikasi berikut :

- a. Tipe mesin : Empat silinder empat langkah
- b. Ruang bakar : Swirl chamber type (tak langsung)
- c. Diameter x langkah (mm) : 88 × 92
- d. Isi silinder (CC) : 2238
- e. Perbandingan kompresi : 21 : 1
- f. Putaran stasioner (rpm) : 725 – 775
- g. Tekanan kompresi (kg/cm²) : ± 25 s/d 32
- h. Tipe pompa bahan bakar : Model Bosch distributor VE
- i. Tipe governor : Mekanik/sentrifugal
- j. Tipe nozzle : *Throttle type*
- k. Tekanan nozzle (kg/cm²) : 185
- l. Celah katup masuk (mm) : 0,4
- m. Celah katup buang (mm) : 0,4
- n. Katup masuk membuka : 11^o sebelum TMA
- o. Katup masuk menutup : 49^o setelah TMB
- j. Katup buang membuka : 51^o sebelum TMB
- k. Katup buang menutup : 9^o setelah TMA

2. Air box meter digunakan untuk mengukur volume udara yang masuk ke dalam silinder pada tekanan dan suhu udara sekitarnya.

3. Tachometer diesel berguna untuk menghitung jumlah putaran mesin pada setiap kondisi percobaan. Sebelum pengukuran dimulai, jarum penunjuk pada alat ukur disetel ke posisi nol melalui pengaturannya. Setelah jarum penunjuk berada pada posisi nol, tachometer dapat digunakan. Pengukuran dimulai dengan menempelkan ujung tachometer pada lubang tengah magnet dan menekan tombol start. Layar besar akan menampilkan putaran yang dihasilkan oleh jarum penunjuk. Setelah itu, jarum tachometer dikembalikan ke posisi nol untuk pengukuran berikutnya.

4. Stop watch digunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan pada setiap kondisi percobaan.
5. Thermometer digunakan untuk mengukur suhu ruangan selama percobaan.
6. Tool sets digunakan untuk melakukan tune-up pada mesin.
7. Manometer digunakan untuk mengukur tekanan kompresi.
8. Data yang diperoleh selama percobaan akan dicatat untuk analisis lebih lanjut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian yang dilakukan maka diperoleh beberapa data yang dapat ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Hubungan antara putaran mesin terhadap celah katup buang dan temperatur.

Putaran Mesin (rpm)	Celah Katup Buang (mm)					
	0,2		0,4		0,6	
	ΔH (mm)	T (°C)	ΔH (mm)	T (°C)	ΔH (mm)	T (°C)
1200	15	30	12,7	31	10	31
1400	20,7	30	18	31	16,3	31
1600	28	30	24	31	22	31

Tabel 3. Hubungan antara putaran mesin dan variasi celah katup buang dengan nilai efisiensi volumetrik rata – rata.

Putaran Mesin (rpm)	Nilai Efisiensi Volumetrik Rata – Rata (%)		
	0.2	0.4	0.6
1200	83.65	77.00	68.42
1400	84.16	78.68	74.94
1600	85.72	79.49	76.11

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hubungan antara efisiensi volumetrik rata-rata terhadap putaran mesin pada celah katup buang

Berdasarkan data hasil perhitungan efisiensi volumetrik rata-rata dalam tabel 3, dapat dijabarkan bahwa semakin rapat celah katup buang pada setiap putaran mesin, efisiensi

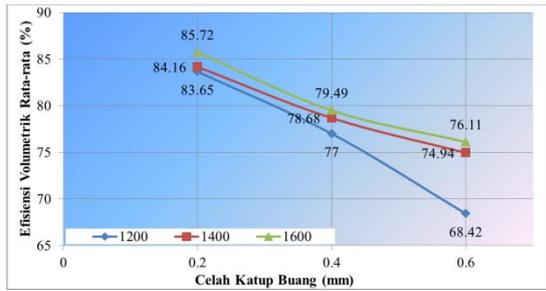
volumetrik rata-rata cenderung meningkat. Hal serupa juga terjadi dengan peningkatan putaran mesin hingga mencapai 1600 rpm pada setiap variasi celah katup buang, yang menghasilkan peningkatan efisiensi volumetrik rata-rata. Efisiensi volumetrik tertinggi tercatat pada celah katup buang 0,2 mm dengan putaran mesin 1600 rpm, sementara yang terendah terjadi pada celah katup buang 0,6 mm dengan putaran mesin 1200 rpm.

Celah katup buang yang rapat menyebabkan pembukaan katup lebih lama dan penutupan lebih lambat, meningkatkan sudut overlapping. Overlapping diperlukan untuk membersihkan sisa gas pembakaran dari silinder dan mendinginkan dindingnya agar lebih banyak udara dapat masuk. Penyetelan dengan celah katup buang yang semakin rapat memperpanjang pembukaan katup, memungkinkan pengeluaran gas buang secara menyeluruh. Sebagai hasilnya, udara yang masuk melalui katup masuk menjadi lebih banyak, meningkatkan efisiensi volumetrik rata-rata.

Sebaliknya, celah katup buang yang renggang membuat pembukaan katup lebih singkat dan penutupan lebih cepat, mengurangi sudut overlapping. Penyetelan dengan celah katup buang yang semakin renggang memperpendek pembukaan katup, menghambat pengeluaran gas buang dari ruang bakar. Akibatnya, udara yang masuk melalui katup masuk menjadi berkurang, menyebabkan penurunan efisiensi volumetrik rata-rata.

Peningkatan putaran mesin hingga 1600 rpm pada setiap variasi celah katup buang juga cenderung meningkatkan efisiensi volumetrik rata-rata. Hal ini karena pada putaran mesin yang tinggi, gas buang dapat keluar dari ruang bakar dengan cepat, meninggalkan ruang bakar yang kosong untuk penyerapan lebih banyak udara. Pada putaran mesin yang rendah, gas buang tidak dapat keluar dengan cepat, menghambat jumlah udara yang masuk ke ruang bakar.

Berdasarkan tabel hasil perhitungan efisiensi volumetrik rata-rata di atas dapat dibuat grafik hasil penelitian sebagai berikut :

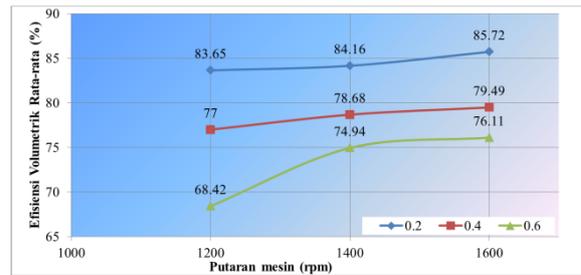


Gambar 3. Grafik hubungan antara volumetrik rata-rata terhadap celah katup buang pada putaran mesin 1200 rpm, 1400 rpm, dan 1600 rpm

Berdasarkan grafik hasil penelitian pada gambar 3 menunjukkan bahwa dengan celah katup buang yang semakin rapat pada setiap putaran mesin, efisiensi volumetrik rata-rata yang dihasilkan cenderung meningkat. Demikian juga dengan putaran mesin yang semakin tinggi hingga 1600 rpm pada setiap variasi celahn katup buang, efisiensi volumetrik rata-rata yang dihasilkan juga cenderung Efisiensi Volumetrik Rata-rata (%) Celah Katup Buang (mm) meningkat. Efisiensi volumetrik rata-rata tertinggi adalah yang dihasilkan oleh putaran mesin 1600 rpm dengan celah katup buang 0,2 mm, sedangkan efisiensi volumetrik rata-rata terendah adalah yang dihasilkan oleh putaran mesin 1200 rpm dengan cела katup buang 0,6

4.2.2. Hubungan antara efisiensi volumetrik rata-rata terhadap putaran mesin pada celah katup buang

Berdasarkan grafik hasil penelitian pada gambar 4 menunjukkan bahwa dengan putaran mesin yang semakin tinggi hingga 1600 rpm pada setiap variasi celah katup buang, efisiensi volumetrik rata-rata yang dihasilkan cenderung meningkat. Efisiensi volumetrik rata-rata tertinggi adalah yang dihasilkan oleh celah katup buang 0,2 mm dengan putaran mesin 1600 rpm sedangkan efisiensi volumetrik rata-rata terendah adalah yang dihasilkan oleh celah katup buang 0,6 mm dengan putaran mesin 1200 rpm.



Gambar 4. Grafik hubungan antara efisiensi volumetrik rata-rata terhadap putaran mesin pada celah katup buang

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa ada perubahan efisiensi volumetrik rata-rata akibat variasi penyetelan celah katup buang dengan perubahan putaran mesin yang telah ditentukan. Berikut adalah perubahan efisiensi volumetrik rata-rata untuk setiap variasi putaran mesin dan celah katup buang yang diberikan diantaranya :

1. Dari variasi celah katup yang divariasikan pada putaran 1200 rpm maka nilai efisiensi volumetrik yang dihasilkan pada ukuran celah katup 0,2 mm dengan nilai rata – rata 83,65 %.
2. Dari variasi celah katup yang divariasikan pada putaran 1400 rpm maka nilai efisiensi volumetrik yang dihasilkan pada ukuran celah katup 0,2 mm dengan nilai rata – rata 84,65 %.
3. Dari variasi celah katup yang divariasikan pada putaran 1600 rpm maka nilai efisiensi volumetrik yang dihasilkan pada ukuran celah katup 0,2 mm dengan nilai rata – rata 85,65 %.
4. Dari ketiga variasi celah katup dan putaran mesin maka dapat ditentukan nilai efisiensi volumetrik yang paling efisien terdapat pada celah katup 0,2 mm dengan putaran 1600 rpm yaitu sebesar nilai rata – rata 85,65%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. G. Sumilat, M. Mangantar, and J. B. Maramis, 'Komparasi Kinerja Keuangan Pada Perusahaan Otomotif Di Bei (Studi Pada Perusahaan Dengan Single Segmen Vs Multi Segmen)', *J. Emba J. Ris. Ekon. Manajemen, Bisnis Dan Akunt.*, vol. 9, no. 1, 2021.

- [2] A. Yani, 'ANALISIS PUTARAN MESIN DIESEL 16 SILINDER MENGGUNAKAN ALAT DYNAMOMETER TERHADAP TORSI MESIN, DAYA MESIN DAN KOMSUMSI BAHAN BAKAR', *J. Taguchi J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 2, no. 2, pp. 162–174, 2022.
- [3] U. J. I. V. P. C. K. BUANG and M. DIESEL, 'FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG'.
- [4] S. Arikunto, 'Prosedur penelitian suatu pendekatan praktek', (*No Title*), 2010.
- [5] K. U. K. M. D. INJEKSI and L. B. B. G. CNG-SOLAR, 'Prawoto1, 2), H. Sumartono0 dan L. Shalahuddin0'.
- [6] U. M. Sugeng and I. MT, 'BAP. Motor Bakar'.
- [7] C. N. Grimaldi and F. Millo, *Internal Combustion Engine (ICE) Fundamentals* , vol. 21. 2015.
- [8] R. Van Basshuysen and F. Schäfer, *Internal combustion engine handbook*. SAE International, 2016.
- [9] R. Stone, *Introduction to internal combustion engines*, vol. 3. Springer, 1999.
- [10] D. Asyari, 'Manajemen perawatan mesin', 2019.
- [11] Mohod, T. R, Bhansali, S. S, S. M. Moghe, and T. B. Kathoke, 'Preheating of Biodiesel for the Improvement of the Performance Characteristics of Di Engine : A Review', *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 747–753, 2014, doi: 10.12691/ajme-6-2-4.
- [12] H. N. Gupta, *Fundamentals of internal combustion engines*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2012.
- [13] N. Martono, *Metode penelitian kuantitatif: Analisis Isi dan Analisis Data Sekunder (sampel halaman gratis)*. RajaGrafindo Persada, 2010.