

PENGARUH JARAK TEMBAGA ROTOR DISTRIBUTOR PENGAPIAN YANG TELAH DIMODIFIKASI TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN EMPAT SILINDER

Frado Ramadhan, Eddy Elfiano

Universitas Islam Riau, Indonesia

Emails: fradoramadhan@student.uir.ac.id, eddy_elfiano@eng.uir.ac.id

Abstrak

Kendaraan bermotor mengandalkan mesin pembakaran internal, di mana efisiensi sistem pengapian secara signifikan memengaruhi kinerja. Metode tradisional seperti pencampuran bioetanol mahal dan kurang praktis, mendorong perlunya peningkatan alternatif. Studi ini meneliti efek modifikasi jarak rotor tembaga di distributor pengapian terhadap kinerja mesin bensin empat silinder. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jarak rotor yang optimal untuk meningkatkan performa mesin, termasuk output daya, efisiensi bahan bakar, dan efisiensi termal, dengan menggunakan mesin Toyota Kijang 4K sebagai subjek uji. Pendekatan eksperimental kuantitatif digunakan, menguji jarak rotor 20 mm, 25 mm, dan 30 mm di bawah beban mesin dan RPM yang bervariasi. Data tentang daya efektif, konsumsi bahan bakar, dan efisiensi dikumpulkan dan dianalisis menggunakan persamaan standar. Jarak rotor 20 mm menunjukkan kinerja yang unggul, mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik (0,102 kg/kWh) dan meningkatkan efisiensi termal (0,799%) dibandingkan dengan konfigurasi standar. Studi ini memberikan solusi hemat biaya untuk meningkatkan kinerja engine melalui modifikasi rotor, menawarkan manfaat praktis untuk aplikasi otomotif dan berkontribusi pada kemajuan teknologi sistem pengapian. Penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi variasi material dan daya tahan jangka panjang.

Kata Kunci: tembaga rotor, distributor pengapian, mesin bensin empat silinder

Abstract

Motor vehicles rely on internal combustion engines, where ignition system efficiency significantly impacts performance. Traditional methods like bioethanol blending are costly and less practical, prompting the need for alternative enhancements. This study examines the effect of modifying the copper rotor distance in the ignition distributor on a four-cylinder gasoline engine's performance. The research aims to determine the optimal rotor distance for improving engine performance, including power output, fuel efficiency, and thermal efficiency, using the Toyota Kijang 4K engine as a test subject. A quantitative experimental approach was employed, testing rotor distances of 20 mm, 25 mm, and 30 mm under varying engine loads and RPMs. Data on effective power, fuel consumption, and efficiencies were collected and analyzed using standardized equations. The 20 mm rotor distance demonstrated superior performance, reducing specific fuel consumption (0.102 kg/kWh) and improving thermal efficiency (0.799%) compared to standard configurations. This study provides a cost-effective solution for enhancing engine performance through rotor modification, offering practical benefits for automotive applications and contributing to the advancement of ignition system technology. Future research could explore material variations and long-term durability.

Keywords: Copper Rotor, Ignition Distributor, Four Cylinder Gasoline Engine

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor merupakan salah satu alat transportasi yang memerlukan mesin sebagai penggerak mulanya, baik untuk kendaraan roda dua maupun untuk kendaraan roda empat (Goyi et al., 2021; Kriswinarto et al., 2020; Zaeni, 2023). Motor bakar merupakan salah satu mesin yang digunakan sebagai penggerak awal alat transportasi. Motor bakar adalah jenis mesin konversi energi yang merubah kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanik melalui proses pembakaran di ruang bakar (Budiono, 2020; Siddiq, 2018).

Perkembangan motor bakar, dalam hal ini motor bensin pada umumnya di titik beratkan pada upaya peningkatan kinerja yang dihasilkan seperti peningkatan daya, efisien, penghematan bahan bakar, emisi gas buang, serta kenyamanan pemakaian (Budiono, 2020; Firman et al., 2017).

Untuk dapat meningkatkan kinerja mesin dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya didapatkan dengan cara mencampur bahan bakar, campuran yang biasa digunakan adalah bioetanol atau alkohol dari tumbuhan tetapi jika campuran berlebihan performa malah menurun. Bioetanol dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena bersih dari emisi bahan pencemar udara (Yudistirani et al., 2019). Namun metode ini masih sangat jarang digunakan dalam dunia otomotif karena mahal biaya yang dibutuhkan untuk mengaplikasikan metode ini pada kendaraan karena dibutuhkan penambahan beberapa komponen pada mobil seperti *fuel pump*, tangki untuk bioethanol, dan selang khusus. Adapun cara lain untuk meningkatkan kinerja mesin juga dapat dilakukan dengan memaksimalkan sistem pengapian pada mesin terutama pada kendaraan bensin (Cintamobil.com, 2020; Jember, 2019; News, 2017).

Sistem pengapian pada motor bensin berfungsi menghasilkan tegangan yang tinggi untuk membentuk bunga api diantara elektrode busi. Pada kendaraan motor bensin dibutuhkan suatu sistem pengapian yang dapat menghasilkan percikan bunga api pada busi agar dapat membakar campuran bahan bakar dan udara (Almanda & Andrizal, 2021; Hidayat & Ikhsan, 2018; Pujiono, 2018). Penelitian ini fokus pada pengujian mesin bensin. Mesin bensin adalah salah satu kendaraan motor bensin yang cukup banyak penggunaannya, karena suku cadang mudah didapat, perawatannya juga relatif sederhana. Sistem pengapian pada mesin terdapat komponen-komponen yaitu baterai, koil pengapian, distributor, rotor, platina, kondensor, busi (Cintamobil.com, 2020; Dimu & Dimu, 2022).

Pengapian yang terdapat pada mesin bensin ini banyak dilakukan modifikasi-modifikasi di beberapa komponen pengapiannya dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja mesin. Salah satu modifikasi pengapian yang bisa dilakukan oleh para pemilik kendaraan bensin ini adalah dengan cara memodifikasi rotor yang terdapat didalam distributor pengapian dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja mesin dan meningkatkan efisiensi bahan bakar (Cintamobil.com, 2020; Curto-Risso et al., 2020).

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti ingin melakukan penelitian terhadap pengaruh rotor pengapian yang telah dimodifikasi dengan kinerja mesin bensin tersebut. Dengan harapan bisa memberikan solusi yang tepat kepada pemilik kendaraan yang masih menggunakan sistem pengapian dengan menggunakan rotor khususnya pengguna mobil bermesin bensin, bisa dimodifikasi agar kinerja mesin mobil meningkat tanpa harus penambahan atau penggantian pada kompenen mesin mobil (Kaminski et al., 2024; Tulus & Ariffin, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rotor distributor yang telah dimodifikasi terhadap kinerja mesin mobil, serta menentukan jarak tembaga pada rotor distributor yang paling optimal dalam meningkatkan performa mesin bensin (Harmanto, 2012). Ruang lingkup penelitian dibatasi pada analisis pengaruh rotor distributor yang dimodifikasi terhadap kinerja mesin mobil yang masih menggunakan sistem rotor distributor, dengan menggunakan mesin Toyota Kijang 4K sebagai alat uji. Manfaat dari penelitian ini meliputi pemanfaatan rotor distributor modifikasi untuk peningkatan performa mesin, pengembangan inovasi yang bermanfaat, memberikan solusi bagi pengguna mobil Toyota Kijang 4K dalam meningkatkan kinerja mesin, serta penerapan ilmu teknik mesin dalam praktik penelitian.

Penelitian saat ini menyelidiki dampak modifikasi jarak rotor tembaga di distributor pengapian terhadap kinerja mesin bensin empat silinder, khususnya berfokus pada mesin Toyota Kijang 4K. Tidak seperti penelitian sebelumnya yang terutama meneliti sistem

pengapian konvensional atau bahan bakar alternatif seperti bioetanol (Yudistirani et al., 2019), penelitian ini memperkenalkan pendekatan baru dengan mengoptimalkan jarak tembaga rotor untuk meningkatkan efisiensi mesin tanpa memerlukan komponen tambahan atau modifikasi bahan bakar. Sementara Firman et al. (2017) menganalisis efek modifikasi tutup distributor, penelitian ini secara unik mengeksplorasi penyesuaian jarak rotor yang tepat (20 mm, 25 mm, dan 30 mm) dan korelasi langsungnya dengan metrik kinerja mesin seperti efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, dan efisiensi volumetrik. Temuan ini mengungkapkan bahwa jarak rotor 20 mm menghasilkan kinerja yang optimal, membedakan penelitian ini dari pekerjaan sebelumnya yang tidak memiliki wawasan kuantitatif spesifik seperti itu.

METODE PENELITIAN

Didalam melakukan penelitian memiliki berbagai metode dalam melakukan penelitian. Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh Jarak Tembaga Rotor Distributor Pengapian Yang Telah Dimodifikasi Terhadap Kinerja Motor Bakar Bensin Empat Silinder” ini peneliti menggunakan metode kuantitatif yang dimana hasil dari penelitian ini berupa data yang diperoleh dari analisa pengujian terhadap objek penelitian.

Sebelum melakukan Penelitian, akan diawali dengan mempelajari objek penelitian dari berbagai macam literatur baik itu yang didapat pada media *online* ataupun *offline* (Buku ataupun skripsi dari mahasiswa sebelumnya). Kemudian mempersiapkan alat-alat dan bahan yang diperlukan selama proses pengujian sebagaimana yang telah tercantum dan dijelaskan pada sub bab berikutnya. Proses pengujian ini akan dilakukan dengan tiga tahapan yang berbeda beda, yaitu dengan set putaran mesin yang berbeda dan beban berubah-ubah, set putaran mesin konstan dan beban yang berubah-ubah, dan set putaran mesin konstan dan beban konstan, tahapan ini akan dilakukan pada rotor distributor yang telah dimodifikasi tersebut.

Adapun data penelitian yang akan dianalisa adalah sebagai berikut :

- 1). Menghitung daya poros efektif (N_e).
- 2). Tekanan efektif rata-rata (P_e).
- 3). Pemakaian bahan bakar (m_f).
- 4). Pemakaian bahan bakarv spesifik (B_e).
- 5). Efisiensi Thermal (η_t) dan Efisiensi Volumetrik (η_v).

Data yang diperoleh tersebut akan dihitung menggunakan persamaan yang telah tercantum pada sub bab sebelumnya. Setelah semua perhitungan data telah diselesaikan maka selanjutnya dilakukan analisa sebagai hasil akhir dari penelitian ini.

Penelitian dilaksanakan di laboratorium teknik mesin Universitas Islam Riau dengan jangka waktu yang digunakan peneliti untuk penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal dikeluarkannya ijin penelitian dalam kurun waktu kurang lebih 2 (dua) bulan, 1 bulan pengumpulan data dan 1 bulan pengolahan data yang meliputi penyajian dalam bentuk skripsi dan proses bimbingan berlangsung.

Penelitian ini menggunakan beberapa alat utama, yaitu mesin Toyota Kijang 4K sebagai objek uji yang masih menggunakan sistem pengapian konvensional, di mana rotor distribusinya dimodifikasi untuk meningkatkan performa mesin. Selain itu, digunakan pula tachometer untuk mengukur putaran poros (RPM), stopwatch untuk mencatat waktu penggunaan bahan bakar, timbangan untuk mengukur beban mesin dalam satuan kilogram, serta blower yang berfungsi sebagai pendingin kampas rem selama pengujian agar mencegah overheating.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan bakar jenis Pertalite, karena bahan bakar merupakan komponen penting dalam proses pembakaran mesin. Tanpa bahan bakar, proses pembakaran tidak dapat terjadi, sehingga mesin tidak dapat bekerja.

Pertalite dipilih karena sesuai dengan kebutuhan mesin yang diuji dan tersedia secara luas selama proses penelitian berlangsung.

Prosedur penelitian meliputi tiga tahap: sebelum pengujian, saat pengujian, dan setelah pengujian. Pada tahap persiapan, dilakukan pengecekan bahan bakar, air pendingin, fungsi blower, serta kondisi umum mesin dan keselamatan kerja. Saat pengujian, mesin dihidupkan hingga mencapai kondisi kerja normal (1000–1200 rpm), lalu dilakukan pengujian dengan kombinasi berbagai kondisi beban dan putaran. Pengamatan dilakukan terhadap massa beban, putaran mesin, dan waktu penggunaan bahan bakar. Setelah selesai, mesin distabilkan kembali sebelum dimatikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Pengujian Pada Rotor Standar

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Vbb cm ³	t (s)	T-In °C	T-Out °C	Qa m ³ /s	Vu m/s	Ta °C	Te °C
1	2000	10	50	88	61	71	15	2,55	29,1	132,1
2	2500	10	50	86	64	74	20	2,18	25,3	219,4
3	3000	10	50	75	68	78	25	3,32	29,3	193,4
4	3200	10	50	72	74	84	23	3,81	29,5	253,7
5	3300	10	50	84	77	87	22	3,8	29,5	253,6
6	3500	10	50	90	79	90	23	3,66	29,5	245,6

Tabel 2. Hasil Pengujian Pada Jarak Rotor 20 mm

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Vbb cm ³	t (s)	T-In °C	T-Out °C	Qa m ³ /s	Vu m/s	Ta °C	Te °C
1	2000	10	50	128	58	67	15	2,53	28,6	119
2	2500	10	50	115	68	76	20	2,18	28,7	181,3
3	3000	10	50	95	74	75	25	3,39	28,9	208,1
4	3200	10	50	94	76	84	23	3,82	29,1	217,3
5	3300	10	50	92	78	88	22	3,8	29,2	226,3
6	3500	10	50	96	78	89	23	3,65	29,4	231,4

Tabel 3. Hasil Pengujian Pada Jarak Rotor 25 mm

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Vbb cm ³	t (s)	T-In °C	T-Out °C	Qa m ³ /s	Vu m/s	Ta °C	Te °C
1	2000	10	50	98	67	77	15	2,57	29,3	135,2
2	2500	10	50	96	75	84	20	2,18	29,4	198,2
3	3000	10	50	88	75	85	25	3,36	29,5	206,4
4	3200	10	50	86	82	90	23	3,82	29,7	208,9
5	3300	10	50	84	84	92	22	3,8	29,9	221,4
6	3500	10	50	80	86	94	23	3,66	29,9	227,6

Tabel 4. Hasil Pengujian Pada Jarak Rotor 30 mm

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Vbb cm ³	t (s)	T-In °C	T-Out °C	Qa m ³ /s	Vu m/s	Ta °C	Te °C
1	2000	10	50	89	67	78	15	2,56	28,6	171,3
2	2500	10	50	86	76	85	20	2,19	29,3	206,8
3	3000	10	50	85	78	88	25	3,36	29,9	216,2
4	3200	10	50	83	83	90	23	3,82	30,4	231,3
5	3300	10	50	82	85	92	22	3,80	30,7	241,2
6	3500	10	50	84	86	94	23	3,66	31,0	242,3

Tabel 5. Hasil Perhitungan Pada Keadaan Stasioner Dengan Seluruh Variasi Jarak Rotor

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Vbb cm ³	t (s)	T-In °C	T-Out °C	Qa m ³ /s	Vu m/s	Ta °C	Te °C
1	1200	2	50	103	60	68	10	2,43	27,6	143,9

No	Putaran	Beban	Vbb	t	T-In	T-Out	Qa	Vu	Ta	Te
2	1200	2	50	120	63	70	10	2.44	28.1	143.5
3	1200	2	50	110	65	88	10	2.45	28.7	144.3
4	1200	2	50	98	65	88	10	2.48	29.2	145.5

Perhitungan Data hasil Pengujian

Perhitungan Data hasil Pengujian Pada Rotor Standar

1. Daya Poros Efektif (Ne)

$$\begin{aligned}
 T &= m \cdot g \cdot l \\
 &= 10 \text{ kg} \times 9.807 \text{ m/s}^2 \times 0.47 \text{ m} \\
 &= 46.09 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ne &= \frac{2\pi \times n \times T}{60 \times 1000} \\
 &= \frac{2 \times 3.14 \times 2000 \text{ Rpm} \times 46.09 \text{ N/M}}{60 \times 1000} \\
 &= 9.64 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

2. Tekanan Efektif Rata-rata (Pe)

$$\begin{aligned}
 Pe &= \frac{Ne}{vl \times z \times n \times a} \\
 &= \frac{9.64 \text{ kW}}{0,0003223 \text{ m}^3 \times 4 \times 2000 \text{ Rpm} \times 1/2} \\
 &= 7.848 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

3. Pemakaian Bahan Bakar (mf)

$$\begin{aligned}
 mf &= \frac{Vbb}{t} \times \rho_{bb} \times \frac{3600}{1000} \\
 &= \frac{50 \text{ ml}}{88 \text{ s}} \times 0,77 \text{ kg/l} \times \frac{3600}{1000} = 1.57 \text{ kg/h}
 \end{aligned}$$

4. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (Be)

$$\begin{aligned}
 Be &= \frac{mf}{Ne} \\
 &= \frac{1.57 \text{ kg/h}}{9.64 \text{ kW}} \\
 Be &= 0.162 \text{ kg/kWh}
 \end{aligned}$$

5. Perbandingan Bahan Bakar dan Udara

$$\begin{aligned}
 \frac{f}{A} &= \frac{mf}{vu} = \frac{mf}{Vu \times A \times \rho^u} \\
 &= \frac{1.57 \text{ kg/h}}{2.55 \text{ m/s} \times 0,00196 \text{ m}^2 \times 1.225 \text{ kg/m}^3} \\
 &= \frac{1.57 \text{ kg/h}}{0.0061 \text{ kg/s}} \\
 &= \frac{1.57 \text{ kg/h}}{22.04 \text{ kg/h}} \\
 &= 0.071
 \end{aligned}$$

6. Laju Air Pendingin (ma)

$$\begin{aligned}
 ma &= \rho_a \times QA \\
 &= 1129 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 15 \text{ LPM} \times (0.00001666) \\
 &= 0.282 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

0.00001666 adalah hasil dari konversi dari LPM ke m³/s

7. Efisiensi Volumetric (ηv)

$$\begin{aligned}
 mia &= Vl \times z \times n \times a \times \rho^u \\
 &= 0.0003223 \text{ m}^3 \times 4 \times 2000 \text{ Rpm} \times \frac{1}{2} \times 1.225 \\
 &= 1.579 \text{ kg/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_v &= \frac{vu}{mia} \times 100\% \\ &= \frac{22.041 \text{ kg/h}}{1.579} \times 100\% \\ &= 13.957\end{aligned}$$

8. Efisiensi Termal (η_{th})

$$\begin{aligned}\eta_{th} &= \frac{Ne}{Q} \times 100\% \\ Q &= \frac{1.57 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 44260.12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3600} \\ &= 19.364 \text{ kW} \\ \eta_{th} &= \frac{Ne}{Q} \times 100\% \\ &= \frac{9.65 \text{ kW}}{19.364 \text{ kW}} \times 100\% = 0.498\end{aligned}$$

Tabel hasil Perhitungan

Tabel 6. Hasil Perhitungan Dengan Rotor Standar

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Ne kW	Pe Kg/Cm2	mf Kg/h	Be kg/kWh	F/A	m (kg/s)	η_v (%)	η_{th} (%)
1	2000	10	9,65	7,484	1,575	0,163	0,071	0,282	13,957	0,498
2	2500	10	12,06	7,484	1,612	0,134	0,086	0,376	9,545	0,609
3	3000	10	14,47	7,484	1,848	0,128	0,064	0,470	12,114	0,637
4	3200	10	15,44	7,484	1,925	0,125	0,058	0,433	13,033	0,652
5	3300	10	15,92	7,484	1,650	0,104	0,050	0,414	12,605	0,785
6	3500	10	16,89	7,484	1,540	0,091	0,049	0,433	11,447	0,892

Tabel 7. Hasil Perhitungan Dengan Jarak Rotor 10 mm

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Ne kW	Pe Kg/Cm2	mf Kg/h	Be kg/kWh	F/A	ma (kg/s)	η_v (%)	η_{th} (%)
1	2000	10	9,649	7,484	1,083	0,112	0,050	0,282	13,847	0,725
2	2500	10	12,060	7,484	1,205	0,100	0,064	0,376	9,545	0,814
3	3000	10	14,472	7,484	1,459	0,101	0,050	0,470	12,369	0,807
4	3200	10	15,437	7,484	1,474	0,096	0,045	0,433	13,067	0,852
5	3300	10	15,919	7,484	1,507	0,095	0,046	0,414	12,605	0,859
6	3500	10	16,884	7,484	1,444	0,086	0,046	0,433	11,415	0,951

Tabel 8. Hasil Perhitungan Dengan Jarak Rotor 15 mm

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Ne kW	Pe Kg/Cm2	mf Kg/h	Be kg/kWh	F/A	ma (kg/s)	η_v (%)	η_{th} (%)
1	2000	10	9,649	7,484	1,414	0,147	0,064	0,2821371	14,066	0,555
2	2500	10	12,060	7,484	1,444	0,120	0,077	0,3761828	9,545	0,679
3	3000	10	14,472	7,484	1,575	0,109	0,054	0,4702285	12,260	0,747
4	3200	10	15,437	7,484	1,612	0,104	0,049	0,43261022	13,067	0,779
5	3300	10	15,919	7,484	1,650	0,104	0,050	0,41380108	12,605	0,785
6	3500	10	16,884	7,484	1,733	0,103	0,055	0,43261022	11,447	0,793

Tabel 9. Hasil Perhitungan Dengan Jarak Rotor 20 mm

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Ne kW	Pe Kg/Cm2	mf Kg/h	Be kg/kWh	F/A	ma (kg/s)	η_v (%)	η_{th} (%)
1	2000	10	9,649	7,484	1,557	0,161	0,070	0,282	14,011	0,504
2	2500	10	12,060	7,484	1,612	0,134	0,085	0,376	9,589	0,609
3	3000	10	14,472	7,484	1,631	0,113	0,056	0,470	12,260	0,770
4	3200	10	15,437	7,484	1,670	0,108	0,051	0,433	13,067	0,752
5	3300	10	15,919	7,484	1,690	0,106	0,051	0,414	12,605	0,766
6	3500	10	16,884	7,484	1,650	0,098	0,052	0,433	11,447	0,832

Tabel Hasil Perhitungan Pada Keadaan Stasioner Dengan keseluruhan Jarak Rotor

Tabel 10. Hasil Rata-rata Seluruh Perhitungan

No	Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Ne kW	Pe Kg/Cm ²	mf Kg/h	Be kg/kWh	F/A	ma (kg/s)	η_v (%)	η_{th} (%)
1	1200	2	1,16	1,497	1,346	1,162	0,064	0,188	22,166	0,070
2	1200	2	1,16	1,497	1,155	0,997	0,055	0,188	22,258	0,082
3	1200	2	1,16	1,500	1,260	1,086	0,059	0,188	22,349	0,075
4	1200	2	1,16	1,500	1,414	1,219	0,066	0,188	22,622	0,067

Tabel 11. Hasil Rata-rata Perhitungan Daya Poros Efektif/ Ne (kW)

Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Daya Poros Efektif/ Ne (kW)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 10 mm	Jarak Rotor 15 mm	Jarak Rotor 20 mm
2000	10	9,65	9,649	9,649	9,649
2500	10	12,06	12,060	12,060	12,060
3000	10	14,47	14,472	14,472	14,472
3200	10	15,44	15,437	15,437	15,437
Rata-rata		12,905	12,905	12,905	12,905

Tabel 12. Hasil Rata-rata Perhitungan Tekanan Efektif Rata-rata/ Pe (kg/cm²)

Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Tekanan Efektif Rata-rata/ Pe (kg/cm ²)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 20 mm	Jarak Rotor 25 mm	Jarak Rotor 30 mm
2000	10	7,484	7,484	7,484	7,484
2500	10	7,484	7,484	7,484	7,484
3000	10	7,484	7,484	7,484	7,484
3200	10	7,484	7,484	7,484	7,484
Rata-rata		7,484	7,484	7,484	7,484

Tabel 13. Hasil Rata-rata Perhitungan Pemakaian Bahan Bakar /mf (kg/h)

Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Pemakaian Bahan Bakar /mf (kg/h)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 20 mm	Jarak Rotor 25 mm	Jarak Rotor 30 mm
2000	10	1,575	1,083	1,414	1,557
2500	10	1,612	1,205	1,444	1,612
3000	10	1,848	1,459	1,575	1,631
3200	10	1,925	1,474	1,612	1,670
Rata-rata		1,740	1,305	1,511	1,617

Tabel 14. Hasil Rata-rata Perhitungan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik /Be (kg/kWh)

Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Pemakaian Bahan Bakar Spesifik /Be (kg/kWh)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 20 mm	Jarak Rotor 25 mm	Jarak Rotor 30 mm
2000	10	0,163	0,112	0,147	0,161
2500	10	0,134	0,100	0,120	0,134
3000	10	0,128	0,101	0,109	0,113
3200	10	0,125	0,096	0,104	0,108
Rata-rata		0,137	0,102	0,120	0,129

Tabel 15. Hasil Rata-rata Perhitungan Perbandingan Bahan Bakar dan Udara (F/A)

Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Perbandingan Bahan Bakar dan Udara (F/A)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 20 mm	Jarak Rotor 25 mm	Jarak Rotor 30 mm
2000	10	0,071	0,050	0,064	0,070
2500	10	0,086	0,064	0,077	0,085
3000	10	0,064	0,050	0,054	0,056
3200	10	0,058	0,045	0,049	0,051
Rata-rata		0,070	0,052	0,061	0,066

Tabel 16. Hasil Rata-rata Perhitungan Laju Air Pendingin/ ma (kg/s)

Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Laju Air Pendingin/ ma (kg/s)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 20 mm	Jarak Rotor 25 mm	Jarak Rotor 30 mm
2000	10	0,282	0,282	0,282	0,282
2500	10	0,376	0,376	0,376	0,376
3000	10	0,470	0,470	0,470	0,470
3200	10	0,433	0,433	0,433	0,433
Rata-rata		0,390	0,390	0,390	0,390

Tabel 17. Hasil Rata-rata Perhitungan Efisiensi Volumetrik/ η_v (%)

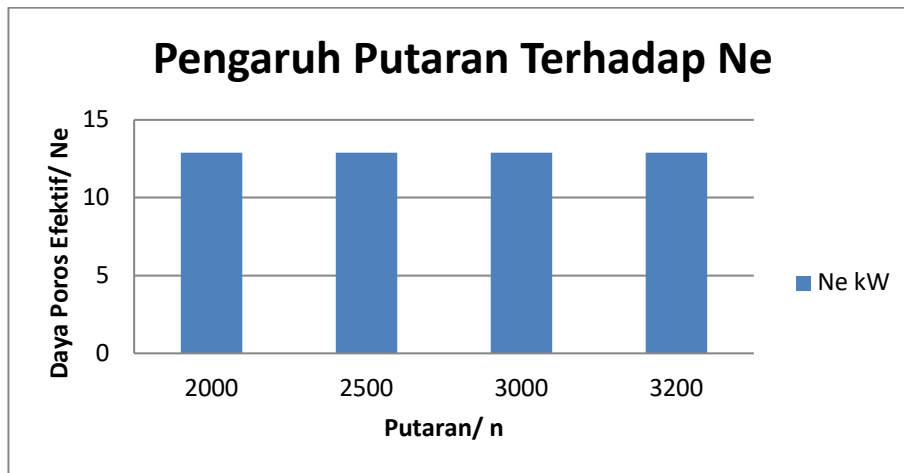
Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Efisiensi Volumetrik/ η_v (%)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 20 mm	Jarak Rotor 25 mm	Jarak Rotor 30 mm
2000	10	13,957	13,847	14,066	14,066
2500	10	9,545	9,545	9,545	9,545
3000	10	12,114	12,369	12,260	12,260
3200	10	13,033	13,067	13,067	13,067
Rata-rata		12,162	12,207	12,235	12,232

Tabel 18. Hasil Rata-rata Perhitungan Efisiensi Thermal/ η_{th} (%)

Putaran (Rpm)	Beban (kg)	Efisiensi Thermal/ η_{th} (%)			
		Rotor Standar	Jarak Rotor 20 mm	Jarak Rotor 25 mm	Jarak Rotor 30 mm
2000	10	0,498	0,725	0,555	0,504
2500	10	0,609	0,814	0,679	0,609
3000	10	0,637	0,807	0,747	0,770
3200	10	0,652	0,852	0,779	0,752
Rata-rata		0,599	0,799	0,690	0,659

Grafik dan Analisa

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Daya Poros Efektif



Gambar 1. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Daya Poros Efektif

Berdasarkan grafik berjudul “Pengaruh Putaran Terhadap Ne”, berikut adalah analisa mendetail mengenai hubungan antara putaran mesin dan daya poros efektif (Ne):

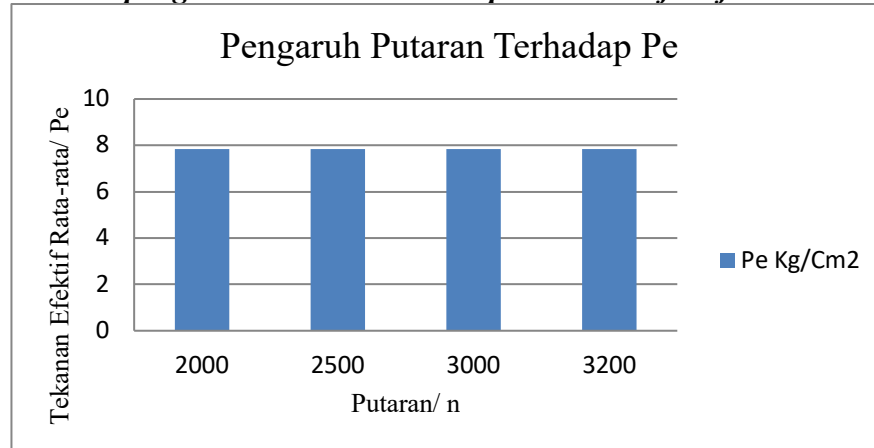
Sumbu X (Horizontal): Menunjukkan nilai putaran mesin (n) dalam satuan RPM, yaitu: 2000, 2500, 3000, dan 3200 Rpm. Sumbu Y (Vertikal): Menunjukkan Daya Poros Efektif (Ne) dalam satuan kilowatt (kW). Daya poros efektif Ne pada semua nilai putaran tampak hampir konstan, berada pada kisaran sekitar 13 kW. Tidak terdapat perubahan signifikan antara Ne pada 2000 Rpm hingga 3200 Rpm.

Secara umum, tidak terdapat kenaikan atau penurunan. Ini menunjukkan bahwa dalam rentang putaran 2000 hingga 3200 RPM, daya yang dihasilkan oleh poros tidak banyak berubah, sehingga putaran tidak terlalu mempengaruhi daya poros efektif secara signifikan.

Efisiensi sistem kemungkinan tinggi, karena daya poros tetap stabil walau putaran meningkat. Bisa jadi sistem berada dalam zona kerja optimal, di mana mesin atau alat yang digunakan mampu mempertahankan keluaran daya konstan meski ada perubahan kecepatan putar.

Kemungkinan lain, beban kerja atau torsi relatif konstan, sehingga Ne tidak terpengaruh oleh peningkatan putaran. Maka bisa disimpulkan bahwa daya poros efektif (Ne) cenderung konstan terhadap perubahan putaran dalam rentang 2000–3200 RPM. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa mesin berada pada efisiensi optimal. Sistem penggerak atau mekanisme transmisi bekerja secara efisien. Tidak ada kenaikan beban atau resistansi yang signifikan terhadap putaran. Dalam aplikasi industri atau otomotif, ini menguntungkan karena memungkinkan penggunaan putaran yang lebih tinggi tanpa kehilangan daya.

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Tekanan Efektif Rata-rata



Gambar 2. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Tekanan efektif Rata-rata

Berdasarkan grafik berjudul "Pengaruh Putaran Terhadap Pe", berikut adalah analisis lengkap dan mendalam mengenai hubungan antara putaran mesin (n) dengan tekanan efektif rata-rata (Pe) yang ditampilkan:

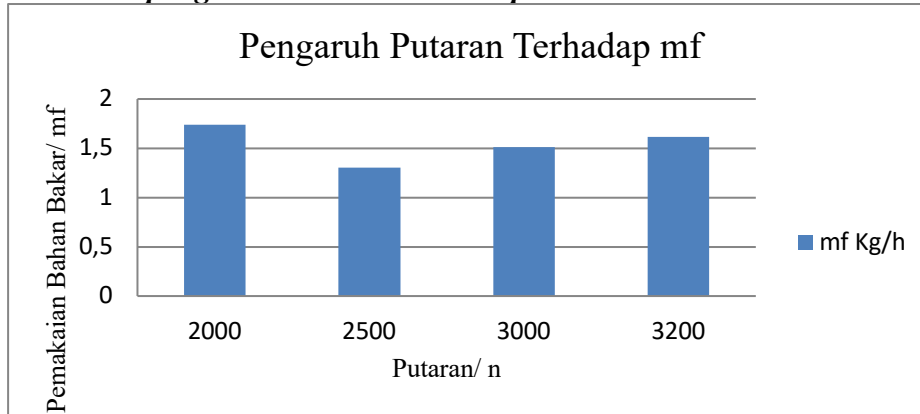
Sumbu X (Horizontal): Putaran mesin (n) dalam satuan RPM: 2000, 2500, 3000, dan 3200. Sumbu Y (Vertikal): Tekanan efektif rata-rata (Pe) dalam satuan Kg/Cm². Data Grafik: Grafik batang menunjukkan nilai Pe pada tiap putaran. Nilainya tampak konstan di sekitar 7.8 Kg/Cm². Nilai Pe tetap stabil dari putaran 2000 Rpm hingga 3200 Rpm.

Tidak tampak fluktuasi signifikan yang menunjukkan adanya pengaruh langsung dari peningkatan putaran terhadap tekanan efektif rata-rata. Tekanan efektif rata-rata (Pe) merupakan indikator dari tekanan rata-rata di dalam silinder selama siklus kerja mesin. Pe berkaitan erat dengan efisiensi pembakaran dan kemampuan mesin menghasilkan tenaga.

Pe yang konstan menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung stabil, tanpa perubahan signifikan dalam efisiensi termodinamika saat putaran bertambah. Ini bisa terjadi karena pengaturan injeksi bahan bakar atau waktu pengapian yang konsisten. Desain ruang bakar dan sistem *intake/exhaust* yang mampu menyesuaikan dengan berbagai kecepatan mesin. Karena Pe tidak berubah, maka kenaikan putaran tidak menurunkan efisiensi tekanan pembakaran. Mesin mampu mempertahankan tekanan efektif yang sama meski RPM meningkat, yang menunjukkan kinerja mesin efisien dan responsif. Hal ini sangat menguntungkan untuk aplikasi yang membutuhkan torsi merata dan kinerja stabil di berbagai kecepatan putaran.

Dari penjelasan diatas, kesimpulan Tekanan efektif rata-rata (Pe) tidak terpengaruh secara signifikan oleh kenaikan putaran dari 2000 RPM hingga 3200 RPM. Stabilitas Pe menunjukkan bahwa efisiensi pembakaran mesin dan torsi per siklus tetap konstan, meski kecepatan rotasi mesin berubah. Mesin dengan karakteristik seperti ini biasanya cocok untuk aplikasi industri atau kendaraan yang memerlukan tenaga stabil. Menunjukkan adanya performa pembakaran yang baik dan sistem pengaturan mesin yang presisi.

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Pemakaian Bahan Bakar



Gambar 3. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Pemakaian Bahan Bakar

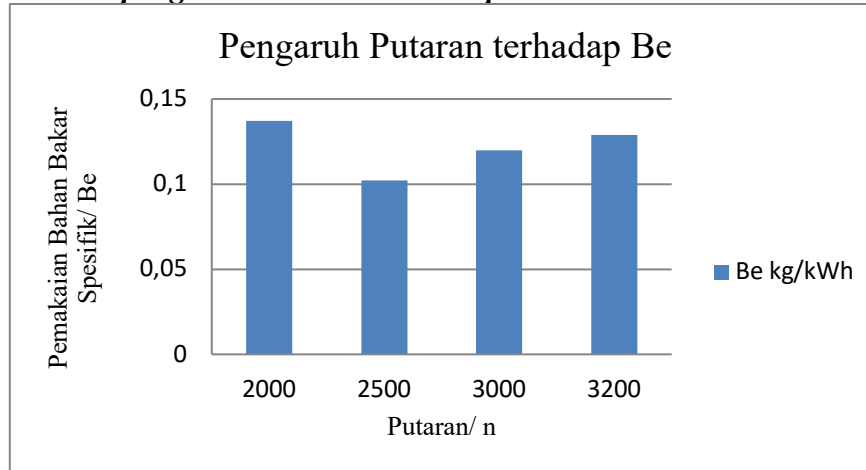
Sumbu X (Horizontal): Menunjukkan Putaran Mesin (n) dalam satuan RPM, yaitu: 2000, 2500, 3000, dan 3200. Sumbu Y (Vertikal): Menunjukkan Pemakaian bahan bakar (mf) dalam satuan Kg/h (kilogram per jam). Grafik batang menunjukkan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi pada masing-masing putaran.

Pada 2000 Rpm, konsumsi bahan bakar berada di titik tertinggi sekitar 1.75 Kg/h. Pada 2500 Rpm, konsumsi bahan bakar menurun ke titik terendah sekitar 1.3 Kg/h. Pada 3000 Rpm, nilai mulai meningkat lagi menjadi sekitar 1.55 Kg/h. Pada 3200 Rpm, bahan bakar terus meningkat hingga sekitar 1.65 Kg/h.

Terlihat adanya penurunan konsumsi bahan bakar dari 2000 ke 2500 RPM, kemudian peningkatan bertahap kembali hingga 3200 RPM. Pola ini membentuk kurva U (*U-shape*), yang umum pada grafik efisiensi bahan bakar relatif terhadap Rpm. Penurunan bahan bakar pada 2500 RPM bisa menandakan bahwa mesin bekerja paling efisien pada titik ini (RPM optimal). Pada putaran ini, pembakaran dan torsi berada dalam keseimbangan ideal, menghasilkan tenaga maksimum dengan konsumsi minimum. Kenaikan pemakaian bahan bakar pada 3000 dan 3200 RPM bisa terjadi karena injeksi bahan bakar meningkat untuk menjaga daya saat putaran naik. Kerugian mekanis dan termal meningkat pada RPM tinggi, sehingga butuh lebih banyak bahan bakar untuk kompensasi.

Kesimpulannya, pemakaian bahan bakar tidak linier terhadap peningkatan putaran. RPM 2500 merupakan titik terhemat dalam konsumsi bahan bakar dan paling efisien dari segi kinerja mesin. Pada Rpm terlalu rendah (2000) atau terlalu tinggi (3000 ke atas), konsumsi meningkat, karena pembakaran kurang optimal atau kerugian gesekan meningkat.

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik



Gambar 4. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

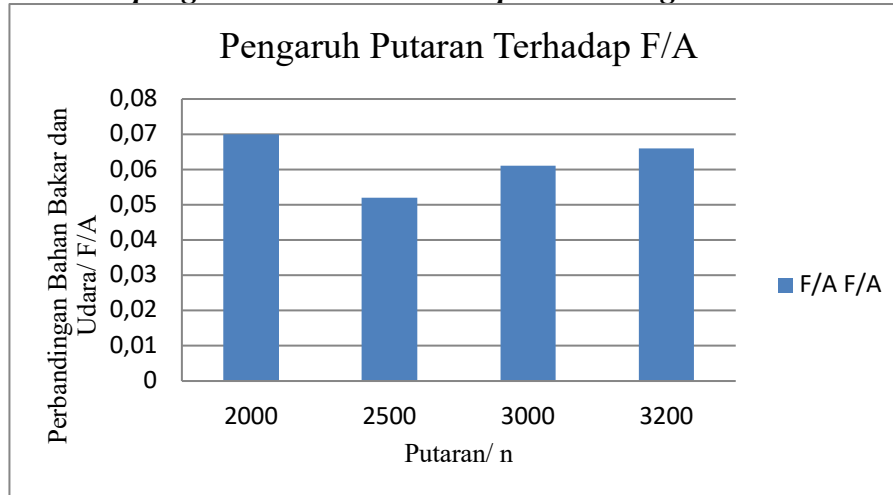
Sumbu X (Horizontal): Menunjukkan putaran mesin dalam satuan RPM (2000, 2500, 3000, 3200). Sumbu Y (Vertikal): Menunjukkan Be (Specific Fuel Consumption) dalam satuan kg/kWh. Isi grafik menunjukkan nilai pemakaian bahan bakar spesifik pada setiap tingkat putaran.

Be adalah singkatan dari Brake Specific Fuel Consumption (BSFC). Menggambarkan seberapa banyak bahan bakar (dalam kg) yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kilowatt jam daya (kWh). Semakin rendah nilai Be, semakin efisien mesin bekerja. Pada 2000 Rpm Be sekitar 0.14 kg/kWh. Pada 2500 Rpm Be menurun signifikan ke titik terendah sekitar 0.105 kg/kWh. Pada 3000 Rpm Be meningkat ke sekitar 0.12 kg/kWh. Pada 3200 Rpm Be naik lagi ke sekitar 0.13 kg/kWh. Grafik menunjukkan pola kurva U terbalik: efisiensi tertinggi (Be terendah) berada pada 2500 RPM, dan Be meningkat pada putaran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari itu.

- Pada 2500 RPM, mesin mencapai efisiensi bahan bakar terbaik.
- Ini artinya, mesin pada RPM ini mengubah bahan bakar menjadi energi mekanis dengan kerugian paling minimal.
- Kemungkinan besar, pada titik ini:
 - Campuran udara-bahan bakar berada dalam rasio ideal.
 - Tekanan pembakaran dan waktu pengapian sangat optimal.
 - Gesekan mekanis masih rendah.
- Pada 2000 RPM, Be tinggi karena:
 - Mesin bekerja di bawah beban optimal.
 - Terjadi pembakaran tidak sempurna karena kecepatan rendah.
- Pada 3000–3200 RPM, Be kembali naik karena:
 - Kehilangan mekanik meningkat (gesekan lebih besar).
 - Efisiensi volumetrik bisa menurun pada RPM tinggi karena waktu isapan lebih singkat.
 - Pembakaran bisa menjadi lebih boros untuk mempertahankan daya.

Kesimpulannya grafik menunjukkan bahwa mesin paling efisien dalam konsumsi bahan bakar pada RPM 2500. Baik RPM yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi akan meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik, menunjukkan penurunan efisiensi. Informasi ini sangat penting untuk menentukan RPM kerja ideal bagi kendaraan atau mesin agar hemat bahan bakar dan ramah lingkungan.

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Perbandingan Bahan Bakar dan Udara



Gambar 5. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Perbandingan Bahan Bakar dan Udara

Sumbu X (Horizontal): Menunjukkan putaran mesin (RPM): 2000, 2500, 3000, dan 3200. Sumbu Y (Vertikal): Menunjukkan rasio F/A (Fuel to Air), yaitu perbandingan antara jumlah bahan bakar yang digunakan dengan jumlah udara yang masuk. Nilai F/A diberikan dalam angka desimal, yang menggambarkan seberapa banyak bahan bakar per unit udara.

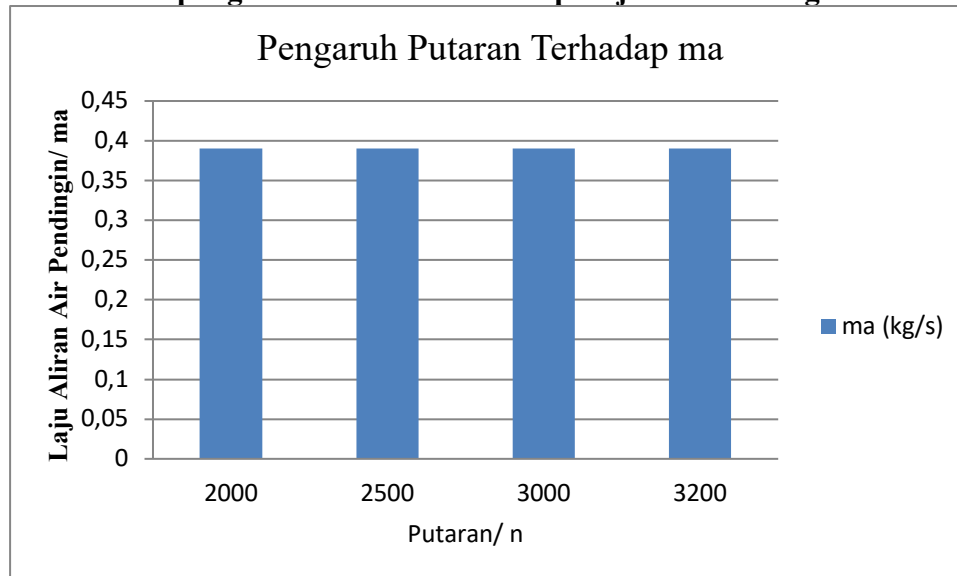
F/A = Fuel / Air, yaitu perbandingan massa bahan bakar terhadap massa udara. Nilai F/A tinggi atau campuran lebih kaya bahan bakar (*rich mixture*). Nilai F/A rendah campuran lebih sedikit bahan bakar (*lean mixture*). Campuran ideal (stoikiometrik) pada mesin bensin biasanya sekitar 0.068 (14.7:1 A/F), namun bisa berbeda untuk mesin diesel dan tergantung kondisi operasi.

- 2000 RPM: Nilai F/A sekitar 0.07.
- 2500 RPM: Nilai menurun drastis menjadi sekitar 0.052.
- 3000 RPM: Nilai mulai naik lagi ke sekitar 0.061.
- 3200 RPM: F/A naik lebih lanjut ke sekitar 0.067.
- Grafik membentuk kurva U: F/A terendah pada 2500 RPM, lalu naik kembali saat RPM meningkat.
- Ini menunjukkan campuran paling efisien atau *lean* terjadi pada 2500 RPM.

Pada 2500 RPM, F/A rendah menandakan mesin bekerja dengan campuran udara lebih besar daripada bahan bakar, mendekati kondisi *lean burn*. Kondisi ini menghemat bahan bakar, menurunkan emisi, dan meningkatkan efisiensi termal sesuai dengan analisis Be sebelumnya. Campuran Lebih banyak Pada 2000 RPM, campuran lebih banyak terjadi karena kebutuhan torsi dasar dan stabilitas pembakaran pada putaran rendah. Udara yang masuk lebih sedikit sehingga rasio F/A lebih besar. Pada RPM tinggi (3000–3200), F/A meningkat kembali artinya adalah Sistem injeksi menambahkan lebih banyak bahan bakar untuk mengimbangi peningkatan kebutuhan daya. Menghindari overheating dan detonasi pada RPM tinggi.

Kesimpulannya F/A paling rendah (campuran paling lean dan efisien) terjadi pada 2500 RPM, yang juga bertepatan dengan konsumsi bahan bakar total (mf) terendah, Be (BSFC) terendah, efisiensi mesin paling tinggi secara keseluruhan. Ini memperkuat kesimpulan bahwa 2500 RPM adalah titik kerja optimal mesin, baik dari segi konsumsi, efisiensi, maupun pembakaran.

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Laju Air Pendingin



Gambar 6. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Laju Air Pendingin

Berikut adalah penjelasan dan analisis lengkap terhadap grafik “Pengaruh Putaran Terhadap m_a ”, yaitu laju aliran air pendingin (m_a) terhadap putaran mesin (n). Sumbu X (horizontal): Putaran mesin dalam satuan RPM (2000, 2500, 3000, 3200). Sumbu Y (vertikal): Laju aliran air pendingin dalam kg/s. Nilai m_a terlihat konstan sekitar 0.39 kg/s pada seluruh rentang putaran.

Dari grafik terlihat bahwa laju aliran air pendingin tetap stabil di semua tingkat putaran (2000–3200 RPM). Ini menunjukkan bahwa sistem pendingin dirancang agar memiliki flow rate konstan, tidak tergantung secara langsung terhadap perubahan RPM. Pompa air pendingin biasanya digerakkan oleh sabuk yang terhubung ke crankshaft. Meskipun RPM naik, desain sistem sering kali membuat debit air pendingin tidak berubah signifikan. Dalam beberapa sistem, thermostat atau katup *bypass* membantu menjaga stabilitas laju aliran agar suhu kerja mesin tetap konstan, bukan semata-mata menyesuaikan dengan RPM.

1. Kinerja Termal Mesin Terjaga

- Dengan m_a konstan, maka sistem pendinginan mampu mempertahankan temperatur mesin dalam kisaran kerja optimal.
- Hal ini mencegah fluktuasi suhu ekstrem yang bisa menyebabkan kerusakan komponen internal.

2. Efisiensi Sistem Pendingin

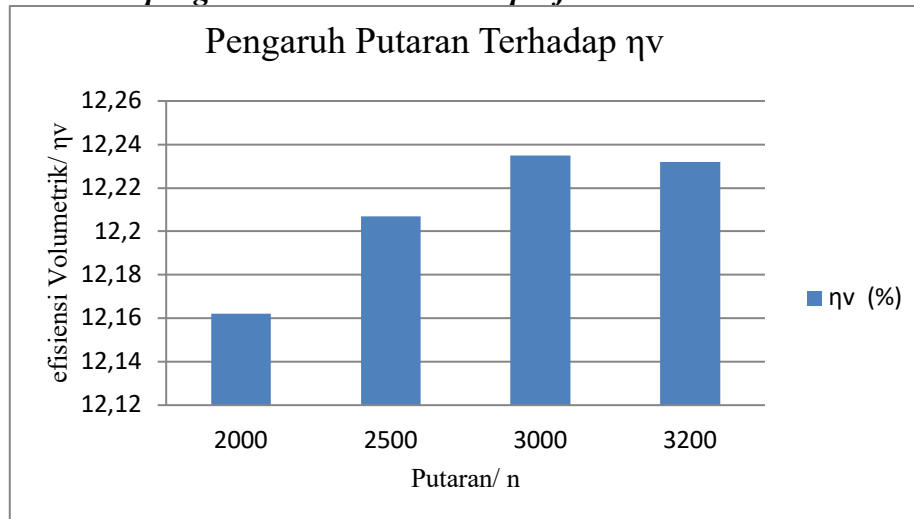
- Laju air pendingin yang tidak berfluktuasi besar menandakan sistem yang efisien, dan tidak boros energi hanya karena mesin berputar lebih cepat.

3. Indikasi Desain Mesin yang Baik

- Sistem pendinginan ini kemungkinan menggunakan kontrol aktif (misalnya pompa elektrik atau pengaturan termostat) agar performa termal mesin stabil di berbagai kondisi beban dan putaran.

Kesimpulannya, laju aliran air pendingin (m_a) tetap konstan sekitar 0.39 kg/s meskipun terjadi peningkatan putaran mesin dari 2000 hingga 3200 RPM. Ini mencerminkan bahwa desain sistem pendinginan yang stabil dan andal. Perlindungan suhu mesin agar tetap dalam batas optimal. Efisiensi energi karena tidak meningkatkan debit pendingin secara berlebihan saat tidak diperlukan.

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Efisiensi Volumetrik



Gambar 7. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Efisiensi Volumetrik

Berikut adalah penjelasan dan analisis lengkap terhadap grafik "Pengaruh Putaran terhadap Efisiensi Volumetrik (η_v)" pada mesin. Sumbu X (horizontal): Menampilkan putaran mesin (n) dalam satuan RPM: 2000, 2500, 3000, dan 3200. Sumbu Y (vertikal): Menampilkan efisiensi volumetrik (η_v) dalam persentase (%). Terlihat bahwa efisiensi volumetrik meningkat dari 2000 ke 3000 RPM, lalu sedikit menurun pada 3200 RPM.

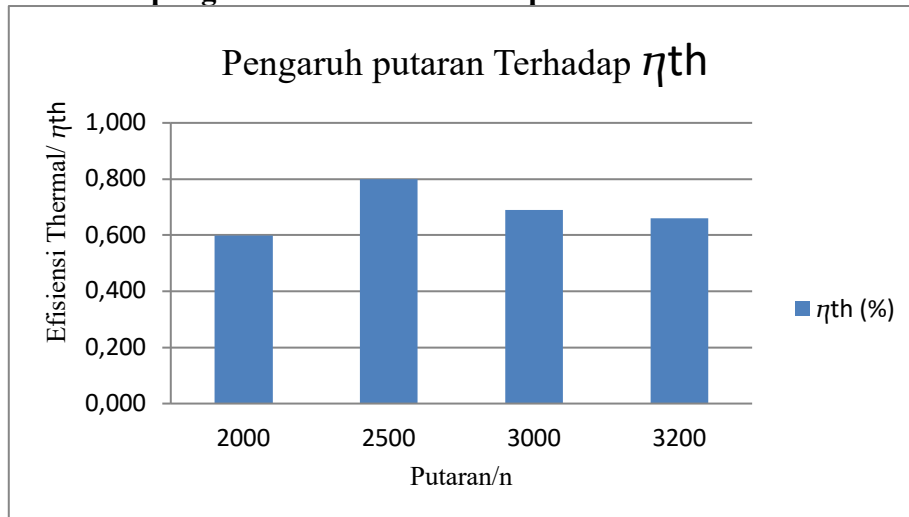
Efisiensi volumetrik adalah perbandingan antara volume udara aktual yang masuk ke dalam silinder dengan volume teoritis maksimum (volume silinder). Nilai η_v menunjukkan seberapa efektif mesin mengisi silinder dengan udara pada tiap siklus. Pada 2000 RPM \rightarrow 3000 Rpm efisiensi meningkat dari sekitar 12.16% \rightarrow 12.24%, sedangkan pada 3000 \rightarrow 3200 Rpm efisiensi sedikit turun menjadi sekitar 12.23%.

- Peningkatan η_v (2000–3000 RPM):
 - Pada putaran rendah, kecepatan aliran udara masuk masih belum optimal.
 - Saat RPM meningkat, vakum hisap menjadi lebih kuat, menyebabkan lebih banyak udara masuk ke dalam silinder (η_v naik).
- Penurunan η_v (3200 RPM):
 - Di RPM tinggi, waktu buka katup lebih singkat karena siklus mesin lebih cepat.
 - Ini bisa menyebabkan udara tidak sempat masuk secara penuh, apalagi jika sistem pemasukan udara tidak memiliki desain optimasi (misalnya tanpa turbo atau variable valve timing).
 - Munculnya turbolensi, hambatan intake, atau "valve overlap" dapat mengurangi efisiensi volumetrik di putaran sangat tinggi.

Faktor yang dapat mempengaruhi η_v adalah Desain manifold udara dan katup masuk. Panjang dan diameter saluran intake. Suhu udara masuk (udara dingin lebih padat). Valve timing dan lift *camshaft*. Keberadaan sistem *forced induction* (*turbocharger/supercharger*).

Kesimpulannya, efisiensi volumetrik meningkat seiring naiknya putaran mesin hingga 3000 RPM, yang mencerminkan kondisi optimal aliran udara masuk. Sedikit penurunan pada 3200 RPM menunjukkan bahwa pada kecepatan tinggi, mesin mengalami keterbatasan dalam pengisian udara akibat siklus hisap yang terlalu cepat atau hambatan sistem intake. Secara umum, η_v berada di kisaran stabil dan cukup baik, namun mungkin masih bisa ditingkatkan dengan optimasi sistem intake atau penggunaan teknologi katup variabel.

Grafik dan Analisa pengaruh Putaran Terhadap Efisiensi Thermal



Gambar 8. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap Efisiensi Thermal

Berikut adalah analisis dan penjelasan lengkap terhadap grafik "Pengaruh Putaran terhadap Efisiensi Termal (η_{th})". Sumbu X (horizontal): Menunjukkan putaran mesin (RPM): 2000, 2500, 3000, dan 3200. Sumbu Y (vertikal): Menunjukkan efisiensi termal (η_{th}) dalam persentase (%). Grafik menunjukkan bahwa efisiensi termal naik dari 2000 ke 2500 RPM dan mengalami penurunan dari 2500 ke 3200 RPM.

Efisiensi termal adalah perbandingan antara energi output (kerja efektif mesin) dengan energi input (energi dari bahan bakar). Semakin tinggi η_{th} , berarti semakin efisien mesin mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. 2000 Rpm efisiensi termal sekitar 0,6 (60%), 2500 Rpm efisiensi termal maksimum, sekitar 0,8 (80%), 3000 Rpm dan 3200 Rpm efisiensi menurun ke 0,69 (69%) dan 0,66 (66%)

- Peningkatan hingga 2500 RPM:
 - Pada RPM rendah (2000), pembakaran belum sepenuhnya optimal, bisa karena kecepatan pembakaran lebih lambat dibandingkan siklus mesin.
 - Saat RPM meningkat ke 2500, kondisi mesin mendekati efisiensi puncak, di mana pembakaran, pemakaian bahan bakar, dan daya output saling seimbang.
- Penurunan setelah 2500 RPM:
 - Pada 3000 dan 3200 RPM, meskipun daya meningkat, pemakaian bahan bakar juga naik dan efisiensi pembakaran bisa menurun.
 - Mungkin terjadi losses akibat gesekan yang meningkat, waktu pembakaran yang terlalu pendek, atau pemborosan bahan bakar (over-fueling).
 - Selain itu, pada putaran tinggi, efek turbo-lag, timing pengapian yang tidak optimal, dan pembakaran tidak sempurna bisa menyebabkan energi bahan bakar tidak sepenuhnya dimanfaatkan menjadi kerja.

Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Termal adalah Kualitas pembakaran yang dipengaruhi oleh campuran udara-bahan bakar dan sistem pengapian. Efisiensi volumetrik (Semakin baik udara masuk, semakin baik pembakaran). Suhu kerja mesin Terlalu tinggi dapat menyebabkan rugi kalor. Terlalu rendah menyebabkan incomplete combustion. Gesekan internal mesin. Waktu pembukaan katup & durasi pembakaran (valve timing dan ignition timing). Karakteristik beban mesin (full load vs part load).

Kesimpulan, efisiensi termal tertinggi tercapai pada 2500 Rpm, yang kemungkinan merupakan titik kerja paling optimal bagi mesin ini. Di bawah atau di atas titik tersebut, efisiensi cenderung menurun karena pembakaran tidak sempurna, rugi kalor, atau ketidakseimbangan antara suplai bahan bakar dan waktu pembakaran. Grafik ini menunjukkan pentingnya mengetahui Rpm ideal untuk operasi ekonomis mesin, khususnya untuk konsumsi bahan bakar yang efisien.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai pengaruh jarak tembaga rotor distributor pengapian yang telah dimodifikasi terhadap kinerja mesin bensin empat silinder menunjukkan bahwa variasi jarak rotor berpengaruh signifikan terhadap performa mesin, termasuk daya, tekanan efektif rata-rata, konsumsi dan efisiensi bahan bakar, perbandingan udara-bahan bakar, efisiensi volumetrik, dan efisiensi termal. Jarak rotor yang terlalu panjang cenderung menyebabkan konsumsi bahan bakar yang boros, sedangkan jarak yang tidak terlalu panjang lebih hemat bahan bakar, dengan jarak optimal ditemukan pada 20 mm. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengkaji variasi bentuk dan material rotor, melakukan uji coba pada tipe mesin yang berbeda, meneliti dampaknya terhadap emisi gas buang, menguji ketahanan rotor dalam jangka panjang, serta memanfaatkan simulasi numerik dengan perangkat lunak teknik untuk memperoleh hasil yang lebih efisien dan komprehensif, sehingga dapat memperluas kontribusi terhadap pengembangan sistem pengapian kendaraan bermotor.

DAFTAR PUSTAKA

- Almanda, I., & Andrizal, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Variasi Busi dan Bahan Bakar Pada Sepeda Motor Matic 110 CC Terhadap Torsi dan Daya. *AEEJ: Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 2(2), 113–122.
- Budiono, D. (2020). *Pengaruh ignition timing dengan bahan bakar LPG terhadap unjuk kerja mesin bensin empat langkah satu silinder*. <https://adoc.pub/pengaruh-ignition-timing-dengan-bahan-bakar-lpg-terhadap-unj.html>
- Cintamobil.com. (2020). *Mengenal sistem pengapian mesin bensin modern*. <https://cintamobil.com/perawatan-dan-service/mengenal-sistem-pengapian-mesin-bensin-modern-aid16511>
- Curto-Risso, P. L., Medina, A., Calvo Hernández, A., Guzmán-Vargas, L., & Angulo-Brown, F. (2020). *On cycle-to-cycle heat release variations in a simulated spark ignition heat engine*. <https://arxiv.org/abs/1005.5410>
- Dimu, R. J., & Dimu, R. J. (2022). *Analisa Pengaruh Penyetelan Celah Platina Terhadap Tegangan Pengapian Pada Mobil Toyota Kijang 5k Analysis Of Influence Of Slit Setup Platinum Ignition Voltage On The Car Against The Toyota Kijang 5 K*. 127–131.
- Firman, M., Irfansyah, M., & Prasetyo, R. A. (2017). Analisa Pengaruh Perubahan Sudut Pengapian Distributor Toyota Kijang 4K Terhadap Unjuk Kerja Mesin. *Jurnal Teknik Meisn UNISKA*, 03(01), 14–19.
- Goyi, H. L. A. U., Mahendra, S., & Fatra, F. (2021). Pengaruh variasi derajat pengapian terhadap performa mesin 4 tak 100 cc. *Journal of Vocational Education and Automotive Technology*, 3(2), 114–122. <https://e-journal.ivet.ac.id/index.php/joveat/article/view/1893>

- Harmanto, W. (2012). *Pengaruh variasi stroke up dan sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah*. <https://adoc.pub>
- Hidayat, N., & Ikhsan, R. (2018). Alat peraga sistem pengapian elektronik arus searah/Cdi-Dc pada sepeda motor Shogun 110. *Polhasains: jurnal sains dan terapan Politeknik Hasnur.*, 6(01), 31–34.
- Jember, U. (2019). *Pengaruh variasi volume silinder (bore up) dan sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah*. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/4775>
- Kaminski, T., Wendeker, M., Urbanowicz, K., & Litak, G. (2024). *Combustion process in a spark ignition engine: Dynamics and noise level estimation*. <https://arxiv.org/abs/nlin/0312067>
- Kriswinarto, B. Y., Sukadana, I. G. K., & Adnyana, I. W. B. (2020). Pengaruh variasi timing pengapian terhadap torsi, daya dan konsumsi bahan bakar mesin injeksi 1500 cc. *Teknik Desain Mekanika*, 9(1). <https://ojs.unud.ac.id/index.php/mekanika/article/view/62415>
- News, B. (2017). *Pemeriksaan dan perbaikan distributor pengapian konvensional*. <https://www.bintannews.com/2022/08/pemeriksaan-dan-perbaikan-distributor.html>
- Pujiono, A. (2018). Modifikasi Sistem Pengapian Konvensional Platina Menjadi Sistem Pengapian Cdi Pada Motor Honda CB Tahun 1977. *Surya Teknika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 40–59.
- Siddiq, M. (2018). *Analisa performance motor bakar bensin empat langkah satu silinder menggunakan camshaft modifikasi dengan variasi derajat pengapian menggunakan CDI BRT programmable*. <https://repository.uir.ac.id/4919/>
- Tulus, S., & Ariffin, A. K. (2023). *Numerical algorithm development for optimizing the engine stroke of linear generators*. <https://arxiv.org/abs/2011.03266>
- Yudistirani, S. A., Mahmud, K. H., Ummamy, F. A., & Ramadhan, A. I. (2019). *Analisa Performa Mesin Motor 4 Langkah 110cc Dengan Menggunakan Campuran Bioetanol-Pertamax*. 11(1), 85–90.
- Zaeni, A. (2023). Variasi jarak celah busi terhadap performa daya mesin motor Revo FI. *SENASTER: Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan*, 4(1). <https://journal.untidar.ac.id/index.php/senaster/article/view/724>