

# **DIESEL ENGINE MODIFICATION FROM INDIRECT TO DIRECT MONITORING OF THE COMBUSTION CHAMBER TEMPERATURE AND PRESSURE**

Haidir Juna<sup>1,a</sup>, Tatun Hayatun Nufus<sup>1,b</sup>, dan Ahmad Maksum<sup>2,c\*</sup>

<sup>1</sup>*Department of Mechanical Engineering, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425, Indonesia*

<sup>2</sup>*Research Center for Eco-friendly Technology, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425, Indonesia*

<sup>a</sup> *haidirjuna.poltek@gmail.com*, <sup>b</sup> *tatun.hayatun@mesin.pnj.ac.id*, <sup>c\*</sup> *ahmad.maksum@mesin.pnj.ac.id*

## **ABSTRACT**

*Along with the development of technology in the industry, especially automotive, professional workers who are reliable and mastering their fields in theory and practice are certainly expected by the industry. Ideally, educational institutions such as polytechnics should provide adequate equipment and facilities so that learning objective achieved. A critical process in the combustion engine system is the combustion process where a cycle of pressure and temperature changes at each stroke of the piston. Unfortunately, many students' understanding of the diesel engine cycle system still needs to be improved, even though the diesel engine cycle had discussed in the engine system course or thermodynamics. Therefore, this study was intended to modify the Diesel Engine in the heavy equipment workshop so that it can be used as a learning media for combustion engine and thermodynamic, especially the diesel cycle. This research started with the identification and preparation of equipment and materials, installation of pressure and temperature sensors, controller installation, calibration, and final testing. The results of the test show the correspondence between the theoretical cycle with the experimental cycle, although there are a few typical differences that usually occur between theoretical and practical in the field.*

**Keywords :** *Diesel Engine, Modification, Temperature, Pressure, Monitoring.*

## **ABSTRAK**

*Seiring dengan perkembangan teknologi di industri, khususnya otomotif, pekerja profesional yang andal dan menguasai bidang mereka dalam teori dan praktik tentu diharapkan oleh industri. Idealnya, lembaga pendidikan seperti politeknik harus menyediakan peralatan dan fasilitas yang memadai sehingga tujuan pembelajaran tercapai. Proses kritis dalam sistem mesin pembakaran adalah proses pembakaran di mana siklus tekanan dan suhu berubah pada setiap langkah piston. Sayangnya, pemahaman banyak siswa tentang sistem siklus mesin diesel masih perlu ditingkatkan, meskipun siklus mesin diesel telah dibahas dalam kursus sistem mesin atau termodinamika. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk memodifikasi Mesin Diesel di bengkel alat berat sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk mesin pembakaran dan termodinamika, terutama siklus diesel. Penelitian ini dimulai dengan identifikasi dan persiapan peralatan dan bahan, pemasangan sensor tekanan dan suhu, pemasangan pengontrol, kalibrasi, dan pengujian akhir. Hasil tes menunjukkan korespondensi antara siklus teoritis dengan siklus eksperimental, meskipun ada beberapa perbedaan khas yang biasanya terjadi antara teoritis dan praktis di lapangan.*

**Katakunsi :** *Mesin Diesel, Modifikasi, Suhu, Tekanan, Pemantauan.*

## PENDAHULUAN

Secara teoritis, siklus diesel dapat dijelaskan dengan diagram P-V dan T-S, di mana Tekanan (P) dan Volume (V) juga Suhu (T) dan Entropi (S) yang terjadi di ruang bakar. Namun demikian, kondisi parameter di lapangan ditemukan tidak ideal yang mengakibatkan oleh nilai pembacaan temperatur dan tekanan yang sangat jauh dari nilai teoritis. Nilai yang terbaca pada gauge tidak menggambarkan kondisi temperatur sebenarnya di ruang bakar, namun menunjukkan data suhu air pendingin. Kondisi ini meyulitkan pemakai dalam menggambarkan secara nyata hubungan antara diagram P-V dan T-S dengan kondisi ruang pembakaran yang sebenarnya. Akibatnya, banyak pemakai yang tidak memahami hubungan antara kondisi real yang salah penunjukkan dengan teori yang sudah ada.

Mesin diesel digunakan sebagai tenaga sumber untuk membantu meringankan tugas manusia seperti motor penggerak, generator, angkutan darat dan laut. [1]. Keunggulan diesel ditemukan pada efisiensi termal yang tinggi dan konsumsi bahan bakar yang rendah, daya tahan dan daya tahan yang baik dibandingkan dengan mesin bensin. [2]. Proses pembakaran mesin diesel terjadi pada penyalaan kompresi mesin, saat udara segar memasuki ruang pembakaran. Bahan bakar diesel diinjeksikan ke dalam ruang bakar di dekat ujung langkah kompresi, sehingga terjadi penyalaan otomatis dan diikuti oleh peningkatan tekanan dan suhu yang dihasilkan dari udara yang dimampatkan ruang [3]. Mesin diesel dibagi menjadi dua kategori berdasarkan sistem pembakaran yaitu mesin diesel injeksi tidak langsung dan mesin diesel injeksi langsung [4].

Beberapa modifikasi mesin diesel juga telah dilakukan dan diuji kinerjanya oleh para peneliti dalam negeri [5] dan peneliti luar negeri [6]. Namun, penelitian ini masih menggunakan sensor tekanan dan suhu yang terletak masih jauh dari ruang bakar (masih asi).

Pertama teknologi mesin pengapian kompresi mesin diesel injeksi tidak langsung (IDI). Sistem IDI beroperasi saat udara segar dimampatkan ruang bakar saat bahan bakar diesel diinjeksikan di prechamber atau swirl chamber di dekat ujung langkah kompresi. Efek pusaran udara menyala pre chamber atau swirl chamber, high pressure, dan

suhu adalah faktor utama dalam sistem ini [7]. Kerugian dari sistem Injeksi Tidak Langsung (IDI) adalah pembakaran membutuhkan durasi yang lebih lama karena perambatan api pada bentuk pembakaran ruang yang menyebabkan panas menghilang dinding pembakaran menjadi lebih tinggi. Menurunkan rasio kompresi dan proses pembakaran yang lebih lama pada sistem IDI menyebabkan efisiensi termal yang lebih rendah dari sistem DI [8, 9]. Keuntungan IDI sistem lebih adaptif dengan kualitas rendah bahan bakar dan kebisingan rendah.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi Mesin Perkin P13.5-4 di bengkel alat berat sehingga dapat secara langsung memantau suhu dan tekanan

pembakaran, sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk mesin pembakaran internal dan teori termodinamika, terutama siklus diesel.

Mesin pembakaran internal didefinisikan sebagai mesin dengan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin itu sendiri, yaitu ruang bakar. Pembakaran itu terjadi ketika bahan bakar disemprotkan bertemu dengan udara dan panas yang cukup, yang dikompresi selama piston bergerak ke atas [10]. Pembakaran bahan bakar dalam bentuk ledakan akan menghasilkan kenaikan panas mendadak, dan tekanan menjadi tinggi di ruang bakar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah, yang berlanjut dengan poros engkol yang berputar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah, yang berlanjut dengan poros engkol yang berputar.

Mesin pembakaran internal (ruang bakar) terjadi ketika bahan bakar disemprotkan bertemu dengan udara dan panas yang cukup, yang dikompresi selama piston bergerak ke atas [10]. Pembakaran bahan bakar dalam bentuk ledakan akan menghasilkan kenaikan panas mendadak, dan tekanan menjadi tinggi di ruang bakar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah, yang berlanjut dengan poros engkol yang berputar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah, yang berlanjut dengan poros engkol yang berputar. Dengan gerakan piston untuk mendapatkan satu siklus proses, mesin pembakaran internal dibagi menjadi dua jenis, yaitu: mesin diesel (4 stroke) dan mesin bensin (2 stroke) [11].

Dalam mesin diesel, siklus daya terdiri dari 4 (empat) pukulan piston atau 2 (dua) putaran poros engkol. Sedangkan pada mesin bensin, satu siklus daya hanya membutuhkan 2 (dua) stroke piston atau satu putaran poros engkol.

Proses setiap langkah yang terjadi pada mesin diesel dapat dilihat pada Gambar 1.

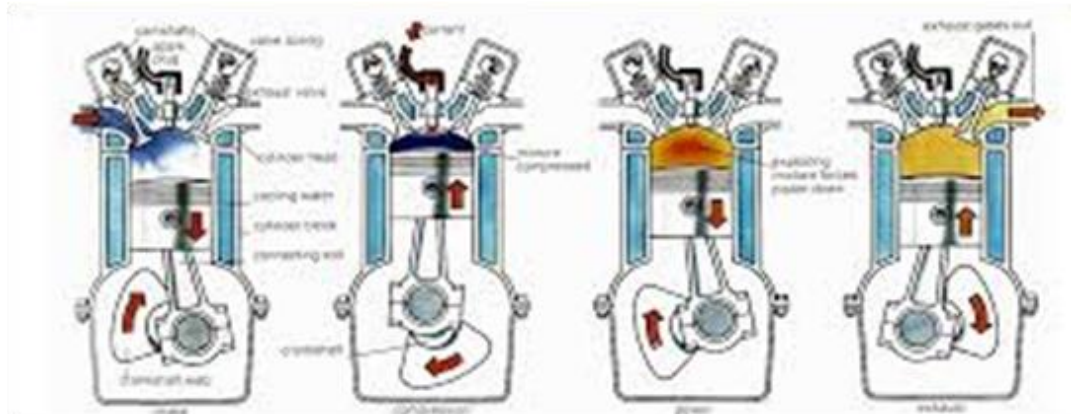


Figure 1: Illustration of four steps (suction – compression – power – exhaust) in the diesel engine cycle [12]

Pada langkah hisap, piston bergerak dari Top Death Center (TDC) ke Bottom Death Center (BDC), katup hisap terbuka, dan katup buang ditutup, sehingga tekanan di dalam

silinder menjadi lebih rendah dari luar. tekanan (vakum) dan udara dapat disedot secara alami ke dalam silinder.

Pada langkah kompresi, piston bergerak dari BDC ke TDC. Pada saat itu, katup hisap dan katup buang keduanya tertutup, sehingga udara di dalam silinder ditekan dan menyebabkan panas dan tekanan tinggi. Pada akhir langkah kompresi ini, bahan bakar disemprotkan dengan tekanan yang sangat tinggi melalui lubang yang sangat kecil, menghasilkan pembakaran (dalam bentuk ledakan).

Pembakaran dalam bentuk ledakan di akhir langkah kompresi atau awal langkah daya menghasilkan tekanan yang sangat tinggi di ruang bakar, akibatnya piston didorong dari TDC ke BDC pada langkah daya ini.

Pada akhir langkah daya, katup buang terbuka dan menyebabkan gas buang didorong keluar melalui katup buang karena dorongan piston yang bergerak dari BDC ke TDC.

Berbeda dengan mesin diesel, siklus mesin bensin diilustrasikan pada Gambar 2.

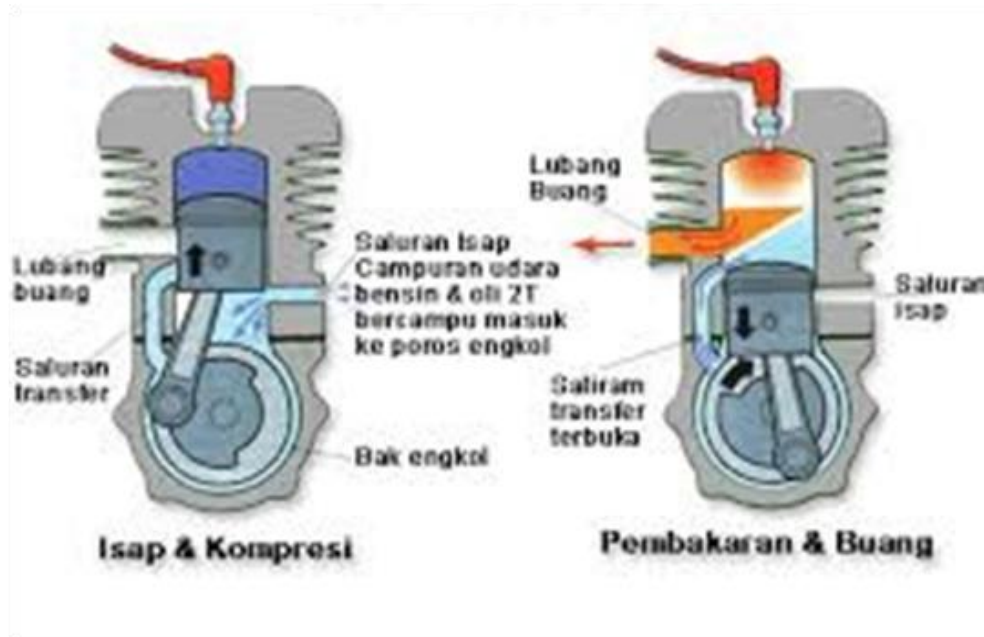


Figure 2: Illustration of two steps in the gasoline engine cycle [12].

Langkah pertama dari siklus bensin dimulai ketika piston bergerak dari TDC ke BDC di mana udara masuk melalui katup hisap, diikuti oleh kompresi, dan kemudian bahan bakar

disuntikkan ke dalam ruang bakar pada akhir langkah kompresi ini, menyebabkan proses pembakaran di ruang bakar.

Sebagai hasil dari pembakaran di ruang bakar, tekanan tinggi mendorong piston dari TDC ke BDC untuk melakukan langkah daya diikuti oleh langkah pembuangan. Langkah ini disebut langkah kedua dalam siklus mesin bensin.

### Efisiensi Termal dan Diagram P-V dalam Mesin Diesel

Siklus mesin pembakaran adalah proses berulang yang berkelanjutan di mana kondisi gas dalam ruang bakar berubah pada setiap langkah proses. Sementara itu, efisiensi termal didefinisikan sebagai persentase energi panas yang digunakan dari kandungan bahan bakar untuk dikonversi menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran internal. Secara teoritis, hubungan antara tekanan dan volume ruang bakar serta hubungan antara suhu dan entropi dapat digambarkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

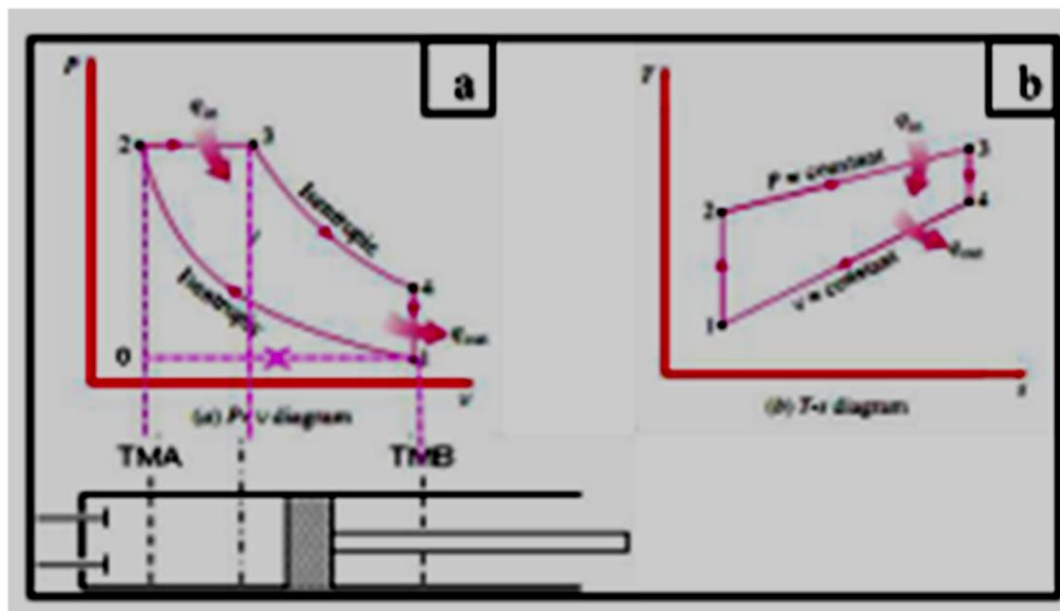


Figure 3: Illustration diagram of (a) the relationship between pressure (P) and volume (V) of combustion chamber, and (b) the relationship between temperature and entropy inside combustion chamber [1].

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental, di mana tahapannya dijelaskan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

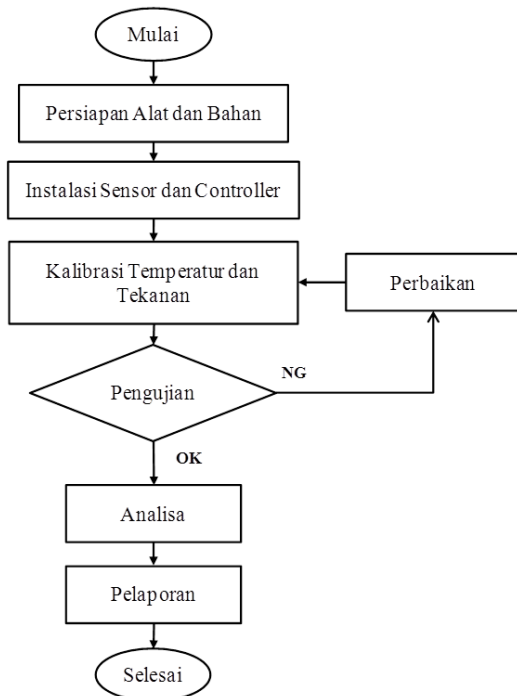


Figure 4: Experimental Flowchart

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin diesel Perkin P135-4 dengan 3 silinder yang memiliki daya 13,5 hp dan dipasang pada generator set seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Figure 5: The engine used in this study is the Perkin P135-4 diesel engine with 3 cylinders which has a power of 13.5 HP and installed on generator set.

Pemasangan sensor tekanan dan suhu dilakukan dengan memanfaatkan steker pemanas yang ada, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Steker pemanas berlubang sesuai dengan ukuran ujung sensor.

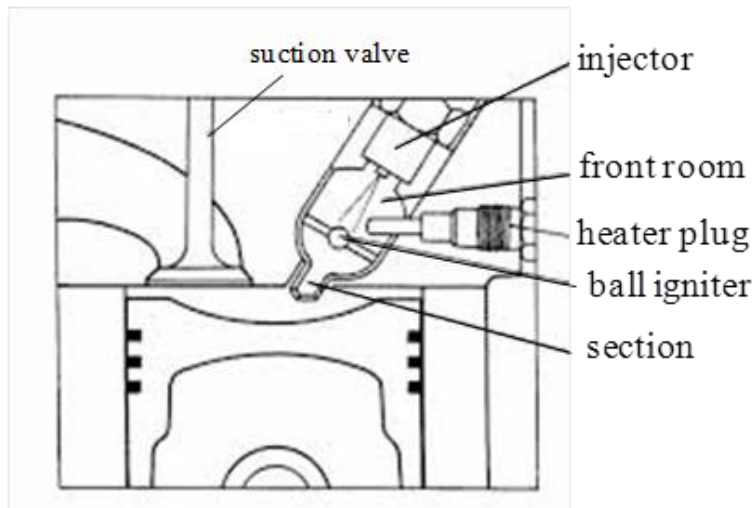
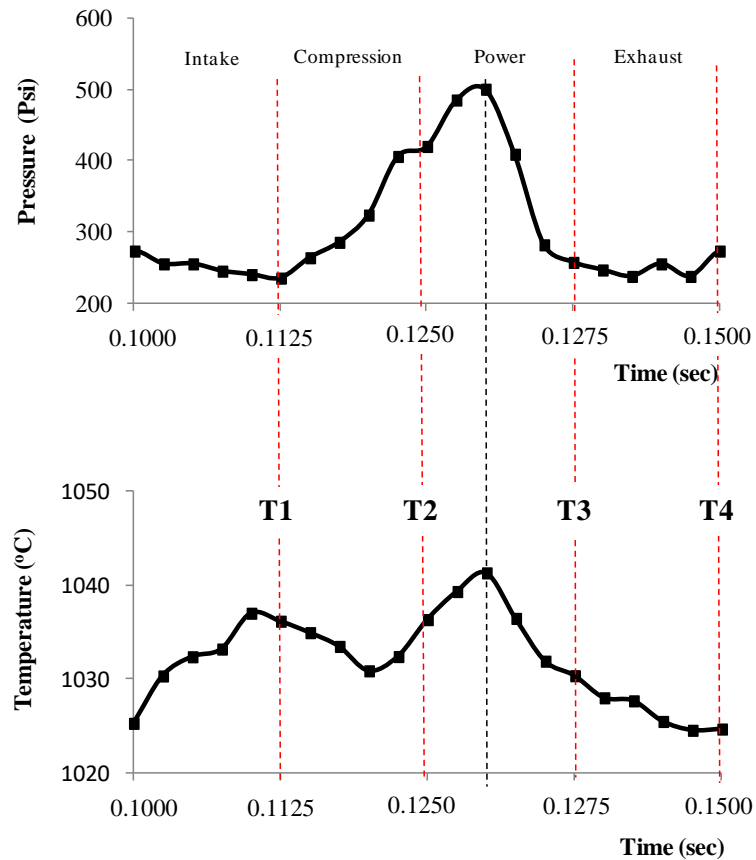


Figure 6: Perkin P135-4 diesel engine combustion chamber.

## HASIL dan PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, data tekanan dan suhu yang diperoleh dari sensor yang telah terhubung ke NIDAC diambil untuk setiap interval waktu 0,0025 detik selama sekitar 11 detik saat mesin berjalan tanpa beban. Hasil analisis data pengukuran menunjukkan bahwa ada banyak siklus identik dalam interval waktu pengukuran di mana salah satu siklus disajikan pada Gambar 7. Kenaikan / penurunan nilai tekanan dengan peningkatan / penurunan volume ruang bakar akibat gerakan piston timbal balik.

T<sub>0</sub> ke T<sub>1</sub> suhu ruang bakar meningkat pada tekanan yang relatif konstan sekitar 230 Psi. Fenomena ini menunjukkan proses adiabatik pada intake stroke di mana piston bergerak dari TDC ke BDC.



Gambar 7: The results of direct measurements of pressure and temperature in the combustion chamber in one cycle of diesel cycles.

dimana jumlah pekerjaan dapat dihitung sesuai dengan rumus:

$$W_{0-1} = P_0 (V_1 - V_0) \quad (1)$$

dengan,

$P_0$  = Tekanan pada titik 0, dalam kPa

$V_1$  = Volume pada titik 1, dalam m<sup>3</sup>

$V_0$  = Volume pada titik 0, dalam m<sup>3</sup>

$W_{0-1}$  = Pekerjaan dihasilkan dari titik 0 ke 1, dalam kJ.

b) Langkah Kompresi/ kompresi adiabatik (proses 1 -2)

Poros engkol terus berputar, piston bergerak dari TMB ke TMA, kedua katup tertutup. Udara murni yang terhisap tadi terkompresi dalam ruang bakar. Karena terkompresi suhu



dan tekanan udara tersebut naik hingga mencapai 35 atm, pada perbandingan kompresi kurang lebih 20 : 1.

Untuk gas ideal

$$P.V = m.R.T \quad (1)$$

Dimana,

$P_1$  = tekanan pada titik 1 (kPa)

$P_2$  = tekanan pada titik 2 (kPa)

$T_1$  = temperatur pada titik 1 (K)

$T_2$  = temperatur pada titik 2 (K)

$V_1$  = volume pada titik 1 (m<sup>3</sup>)

$V_2$  = volume pada titik 2 (m<sup>3</sup>)

$W_{1-2}$  = kerja pada siklus 1-2 (kJ)

$C_p$  = panas jenis gas pada tekanan konstan (kJ/kg.K)

$K = C_p/C_v$ , dimana  $K$  adalah perbandingan panas jenis tekanan konstan dan panas jenis volume konstan.

c) Langkah Pembakaran/ ekspansi pada temperature konstan (proses 2 -3)

Udara yang terdapat di dalam silinder di dorong ke ruang bakar pendahuluan (precombustion chamber) yang terdapat pada bagian atas masing-masing ruang bakar. Pada akhir langkah pembakaran, ignition nozzle terbuka dan menyembrotkan kabut bahan bakar ke dalam ruang bakar pendahuluan dan campuran udara bahan bakar selanjutnya terbakar oleh panas yang dibangkitkan oleh tekanan.

d) Langkah Usaha / ekspansi adiabatis (proses 3 -4)

Energi pembakaran mengekspansikan gas dengan sangat cepat dan piston terdorong ke bawah. Gaya yang mendorong piston ke bawah (dari TMA ke TMB) diteruskan ke batang piston dan poros engkol. Kedua katup masih dalam keadaan tertutup. Gaya dorong ke bawah diteruskan oleh batang piston ke poros engkol untuk diubah menjadi gerak rotasi. Langkah usaha ini berhenti ketika katup buang mulai membuka beberapa derajat sebelum torak mencapai TMB.

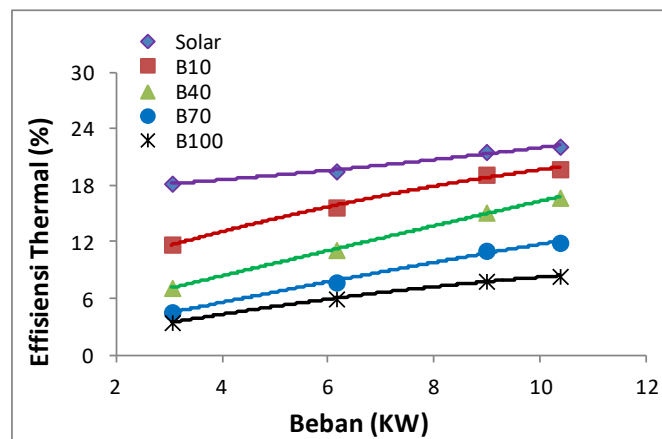


Figure 7: The results of the calculation of the thermal efficiency of diesel fuel and various bio-diesel fuels under load conditions 3, 6, 9, and 10.5 kW.

## **KESIMPULAN**

Pada penelitian ini, engine telah berhasil dimodifikasi sehingga data tekanan dan temperatur ruang bakar dapat dicatat secara langsung. Data-data temperatur dan tekanan yang tercatat pada saat engine dijalankan, dapat dianalisis dan menghasilkan grafik hubungan antara tekanan (P) dan (V), juga antara temperatur (T) dan entropi (S). Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat digunakan dalam proses pembelajaran.

## **UCAPAN TERIMAKASIH**

Terima kasih khusus kepada Politeknik Negeri Jakarta untuk dukungan keuangan dari penelitian ini melalui Hibah Penelitian Staf Pendidikan pada tahun 2021.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. S. Ahmad and B. Sudarman, J. Tek. ITS 4, (2017).
- [2] M. M. Abdelaal, M. M. Al-Ashmawy, and B. A. Rabee, J. Al Azhar Univ. Eng. Sect. 12, 1329 (2017).
- [3] P. S. G.E Kusuma, Emie Santoso, Mardi Santoso, Semin. MASTER 2017 PPNS 1509, 142 (2017).
- [4] D. Almanda and Supriyanto, ELEKTUM 12, 1 (2016).
- [5] A. Nasyrudin, Modifikasi Mesin Sistem Konvensional Menjadi Sistem Injeksi Bahan Bakar Elektronik Pada Toyota Kijang 5K (Sistem Bahan Bakar), Universitas Sebelas Maret, 2012.
- [6] W. Wijayanto and E. Apriyanti, METANA 14, 60 (2018).
- [7] R. J. Brown, M. N. Nabi, F. M. Hossain, Z. D. Ristovski, T. A. Bodisco, and A. Zare, Energy Convers. Manag. 148, 251 (2017).
- [8] G. Gonca and E. Dobrucali, Renew. Energy 93, 658 (2016).
- [9] T. Mohand, L. Khaled, L. Abdelkrim, K. Cheikh, and A. Sary, Appl. Energy 161, 320 (2015).
- [10] A. K. Samlawi, Motor Bakar (Teori Dasar Motor Diesel) (Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, 2018).
- [11] Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Motor Diesel Dan Instalasi

Tenaga Kapal Niaga (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2018).

- [12] R. Isermann, *Combustion Engine Diagnosis - Model-Based Condition Monitoring of Gasoline and Diesel Engines and Their Components* (Springer, Darmstadt, Germany, 2017).