

ANALISIS EFISIENSI THERMAL MESIN DIESEL MENGGUNAKAN CYCLEPAD

YOLANDA J. LEWERISSA¹
MARLON HETHARIA²

¹Politeknik Saint Paul Sorong

²Universitas Kristen Papua

Email : ruselloanz@gmail.com; loanz345.rh@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui besar efisiensi thermal mesin diesel. Untuk mengetahui besar efisiensi thermal mesin diesel dengan menggunakan cyclepad.

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data praktis. Data pertama adalah data spesifikasi mesin Diesel tipe Volvo Penta D9-MH yang akan digunakan dalam perhitungan dengan menggunakan software cyclepad. Untuk memulai perhitungan diperlukan juga parameter awal yaitu proses setiap Langkah, Temperatur Awal (T), Tekanan Awal P (Tekanan Atmosfir), massa udara, nilai kalor bahan bakar dan nilai perbandingan udara dan bahan bakar.

Dari hasil penelitian menggunakan software cyclepad yaitu efisiensi termal untuk mesin diesel tipe Volvo Penta D9-MH diperoleh sebesar 58,43%. Sedangkan efisiensi mekanis mesin sebesar 91,80%, Temperatur maksimum sebesar 3385 °C, Temperatur minimum sebesar 27 °C, Tekanan Efektif Rata-rata sebesar 1907 kPa, Tekanan maksimum sebesar 6722 kPa, Tekanan minimum sebesar 100 kPa, kalor masuk sebesar 42,17 kJ, kalor buang sebesar 17,53 kJ, kerja masuk sebesar 7,91 kJ dan kerja keluar 32,55 kJ.

Kata Kunci : Efisiensi Termal, Cyclepad, Mesin Diesel

ABSTRACT

This research was conducted to find out the great thermal efficiency of diesel engines. To find out the great thermal efficiency of diesel engines by using a cyclepad. Research is conducted by taking practical data. The first data is data specifications of Volvo Penta D9-MH diesel engines that will be used in calculations using cyclepad software. To start the calculation, the initial parameters are also needed, namely the process of each Step, Initial Temperature (T), Initial Pressure P (Atmospheric Pressure), air mass, fuel heat value and air and fuel comparison value. From the results of the study using a software cyclepad, the thermal efficiency for Volvo Penta D9-MH diesel engines was obtained by 58.43%. While the mechanical efficiency of the engine is 91.80%, maximum temperature is 3385 °C, minimum temperature is 27 °C, Average Effective Pressure is 1907 kPa, maximum pressure is 6722 kPa, minimum pressure is 100 kPa, incoming heat is 42.17 kJ, exhaust heat is 17.53 kJ, entry work is 7.91 kJ and exit work is 32.55 kJ.

Keywords: Thermal Efficiency, Cyclepad, Diesel Engine

PENDAHULUAN

Sistem penggerak kapal terbagi menjadi tiga sistem yang merupakan sistem paling utama dalam penggerak kapal, yaitu mesin penggerak utama (main engine), sistem transmisi dan alat gerak (propulsor). Di dalam sebuah penggerak kapal terdapat beberapa tipe mesin penggerak seperti mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) dan mesin pembakaran luar (external combustion engine). Mesin pembakaran dalam adalah mesin pembakaran di mana terjadinya proses pembakaran di dalam silinder, contohnya mesin Otto dan mesin diesel,

yang mana untuk kapal digunakan mesin diesel dengan tipe mesin pembakaran dalam. Mesin pembakaran luar adalah mesin pembakaran di mana terjadinya proses pembakaran di luar silinder, contohnya adalah turbin uap (steam turbine) dan turbin gas (gas turbine), yang sering digunakan pada penggerak kapal adalah turbin uap tetapi ada juga yang menggunakan turbin gas. Sistem transmisi dalam kapal berfungsi untuk menyambungkan gerakan dari mesin penggerak utama (main engine) ke alat gerak kapal (propulsor). Alat gerak kapal (propulsor) berfungsi untuk menggerakkan kapal secara langsung yaitu baling-baling kapal. Sejauh ini

mesin diesel masih menjadi pilihan utama berbagai tipe kapal karena tingginya efisiensi termal, kemudahan instalasi, operasional, dan perawatannya.

Mesin diesel merupakan salah satu jenis dari mesin pembakaran dalam. Pada mesin diesel, penyalan bahan bakar terjadi karena bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara dengan kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Oleh sebab itu, mesin diesel disebut juga mesin dengan penyalan kompresi. Mesin dengan penyalan kompresi ini menghasilkan emisi gas buang yang cukup tinggi dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Kadar yang tinggi dari Nitrogen oksid (NO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan partikel emisi lain yang berhubungan dengan bahan bakar diesel merupakan isu yang telah lama muncul. Akan tetapi, sampai saat ini penggunaan mesin diesel tetap menjadi idola dalam dunia transportasi maupun dunia industri. Hal ini disebabkan karakteristik dari mesin diesel memiliki rasio kompresi tinggi sehingga mampu menghasilkan daya yang besar.

Prestasi sebuah mesin diesel dapat diukur dengan mengetahui besaran-besaran spesifikasi mesin diantaranya adalah efisiensi mesin. Besaran tersebut dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan teoritis yaitu perhitungan Termodinamika dan perhitungan motor bakar. Program cyclepad adalah salah satu program yang memudahkan dalam perhitungan besaran Termodinamika.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai efisiensi mesin menggunakan program cyclepad yang dapat memudahkan dalam perhitungan.

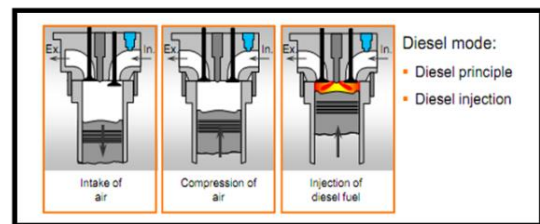
KAJIAN PUSTAKA

Prinsip Kerja Motor Diesel

Prinsip Kerja Motor diesel adalah :

- Langkah masuk (isap)
Katup masuk membuka, torak bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah). Jadi poros engkol memutar (terus) 180°. Tekanan di dalam silinder rendah. Disebabkan selisih tekanan antara udara luar dan tekanan rendah di dalam silinder, maka udara mengalir ke dalam silinder. Tidak terdapat katup pengatur seperti pada motor bensin. Udara dapat mengalir masuk tidak terbatas. Motor diesel bekerja dengan sisa

udara. Pada motor-motor besar dengan muatan penuh kira-kira mencapai jumlah 100%. Pada motor-motor kecil sekitar 40%. Dengan cara demikian sebuah motor diesel juga bekerja dengan penyemprotan bahan bakar maksimal tanpa asap. Dengan menggunakan kompresor silinder yang bertekanan, menyebabkan lebih banyak udara mengalir dalam silinder-silinder daripada pengisian secara alami.



Gambar 1. Cara Kerja Motor Diesel

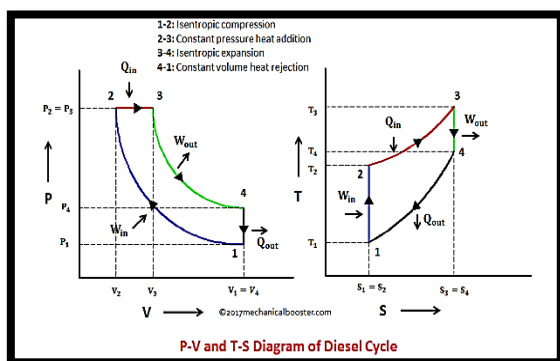
- Langkah kompresi
Selama langkah kompresi katup masuk dan katup keluar tertutup. Torak bergerak dari TMB ke TMA. Poros engkol berputar terus 1800 lagi. Udara yang ada dalam silinder, dimampatkan kuat di atas torak dan menyebabkan temperatur naik.
- Langkah Usaha
Selama langkah usaha, katup masuk dan katup keluar dalam keadaan tertutup. Pada akhir langkah kompresi, pompa penyemprotan bertekanan tinggi itu menyebabkan sejumlah bahan bakar dengan ketentuan sempurna ke dalam udara yang dimampatkan panas oleh sebuah pengabut. Bahan bakar itu terbagi sangat halus dan bercampur dengan udara panas. Karena temperature tinggi dari udara yang dimampatkan, maka bahan baker itu langsung terbakar. Akibatnya, tekanan naik dan torak bergerak dari TMA ke TMB. Poros engkol terus berputar lagi 180°. Untuk pembakaran bahan bakar 1 gram, secara toritis diperlukan 15,84 gram udara. Secara praktis, untuk pembakaran yang baik campuran bahan bakar-udara yang sempurna memerlukan perbandingan sempurna 20-25 gram udara.
- Langkah Keluar (Pembuangan)
Pada akhir langkah keluar katup pembuangan membuka. Torak bergerak dari TMB ke TMA dan mendorong gas-gas pembakaran ke luar melalui katup buang yang terbuka. Jadi, dipandang secara toritis

pada motor diesel empat tak, katup masuk (isap) dan katup keluar (buang) bersama-sama menutup dan hanya selama 180° menghasilkan usaha. (Hetharia, 2012)

Siklus Diesel

Dalam usaha menganalisa proses motor bakar umumnya digunakan siklus udara sebagai siklus ideal, dimana siklus udara menggunakan beberapa keadaan yang sama dengan siklus yang sebenarnya, yaitu urutan proses, perbandingan kompresi dan pemilihan temperature dan tekanan.

Siklus toritis untuk penyalan kompresi 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2, dengan pemanasan pada tekanan kontstant, dimana udara dikompresikan sampai mencapai temperatur nyala bahan bakar, kemudian bahan bakar diinjeksikan dengan laju penyemprotan sedemikian rupa sehingga dihasilkan proses pembakaran pada tekanan konstant, dimana penyalan bahan bakar diakibatkan oleh suatu kompresi. (Arif, 2011)



Gambar 2. Siklus Diesel

Cyclepad

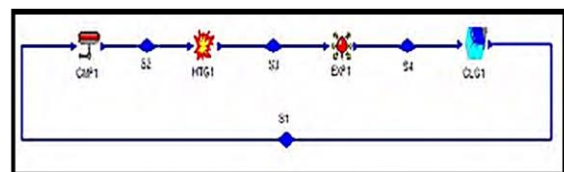
Profesor Kenneth Forbus dari Departemen Pendidikan dan ilmu komputer di Northwestern University telah mengembangkan perangkat lunak komputer cerdas yang ideal bagi analisis termodinamika bernama Cyclepad. Cyclepad adalah perangkat lunak teknik kognitif. Perangkat ini menciptakan virtual laboratorium di mana konsep-konsep Termodinamika dapat dipelajari dengan efisien. Cyclepad dapat digunakan untuk hukum termodinamika dan bagaimana menerapkannya. Jika pengguna membuat kesalahan dalam desain, program ini dapat mengingatkan pengguna prinsip-prinsip penting atau desain langkah-langkah yang mungkin telah diabaikan.

Cyclepad memungkinkan pengguna untuk memecahkan masalah desain dalam langkah logis. Hal ini memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi, studi parametrik, dan optimasi pada sistem termodinamika. Perangkat ini akan menampilkan hasil numerik nilai P-v, T-s dan diagram P-v dan T-s. Hal ini memungkinkan para pemakai untuk menganalisa dan mendesain sistem termodinamika mudah dan cepat. Perangkat ini memiliki fitur yang cerdas, sangat berbeda dari perangkat lunak lain.

Cyclepad telah digunakan di U.S. Naval Academy sejak 1996 oleh Profesor Wu untuk beberapa perhitungan termodinamika. Perangkat ini telah diterima dengan baik dan telah diamati menciptakan desain yang lebih baik. Cyclepad ini dirancang untuk menganalisis termodinamika dalam simulator.

Cyclepad memberikan pemahaman kualitatif Termodinamika yang lebih baik karena kemampuan simulasi memungkinkan bagaimana mengubah satu parameter dapat mempengaruhi nilai-nilai parameter lain yang merupakan bagian dari sistem yang sama. Tanpa simulator, analisis Termodinamika secara tradisional hanya akan terlalu banyak memakan waktu saat melakukan perhitungan. Evaluasi kualitatif dari Cyclepad telah menunjukkan bahwa menggunakan Cyclepad memiliki pemahaman persamaan Termodinamika yang lebih baik.

Siklus Diesel diusulkan oleh Rudolf Diesel pada tahun 1890. Siklus Diesel seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 agak mirip dengan siklus Otto, kecuali bahwa pengapian campuran bahan bakar udara disebabkan oleh pembakaran spontan karena suhu tinggi yang dihasilkan dari mengompresi campuran untuk tekanan yang sangat tinggi. Komponen dasar siklus Diesel yang sama dengan siklus Otto, kecuali bahwa busi digantikan oleh injeksi bahan bakar dan stroke piston diperpanjang untuk memberikan rasio kompresi yang lebih besar. (Wu, 2007)



Gambar 3. Siklus Diesel pada Cyclepad

Siklus Diesel terdiri dari empat proses :
1-2 isentropik kompresi tekanan konstan
2-3 panas masuk
3-4 isentropik ekspansi volume konstan

4-1 panas mengeluarkan.

Proses panas masuk pada siklus diesel terjadi pada proses tekanan konstan. Diagram P-v dan T-s untuk siklus Diesel dapat dilihat pada gambar 2.

Empat proses dalam siklus diesel merupakan sistem tertutup yang menerapkan hukum pertama dan hukum kedua termodinamika untuk menghasilkan :

$$W_{12} = \int p dV \quad (1)$$

$$Q_{12} - W_{12} = m(u_2 - u_1), Q_{12} = 0 \quad (2)$$

$$W_{23} = \int p dV = m(p_3 v_3 - p_2 v_2) \quad (3)$$

$$Q_{23} = m(u_3 - u_2) + W_{23} = m(h_3 - h_2) \quad (4)$$

$$W_{34} = \int p dV \quad (5)$$

dan

$$Q_{41} - 0 = m(u_1 - u_4) \quad (6)$$

Kerja bersih (W_{net}) sama dengan panas bersih (Q_{net}), maka

$$W_{net} = W_{12} + W_{23} + W_{34} \\ = Q_{net} = Q_{23} + Q_{41} \quad (7)$$

Efisiensi termal dari Siklus adalah :

$$\eta = W_{net}/Q_{23} = Q_{net}/Q_{23} = 1 - (Q_{41}/Q_{23}) \\ = 1 - \{(u_4 - u_1)/(h_3 - h_2)\} \quad (8)$$

Untuk efisiensi termal siklus Otto ideal dapat disederhanakan jika udara diasumsikan berupa cairan yang bekerja dengan panas spesifik konstan. Persamaan (8) menjadi :

$$\eta = 1 - \{(T_4 - T_1)/[k(T_3 - T_2)]\} \\ = 1 - (r)^{1-k} \{[(r_c)^k - 1]/[k(r_c - 1)]\} \quad (8)$$

di mana r adalah rasio kompresi dan r_c adalah rasio cut-off dari mesin yang didefinisikan dalam persamaan :

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

dan

$$r_c = \frac{V_3}{V_2}$$

Mesin Diesel dapat dirancang untuk beroperasi pada rasio kompresi yang jauh lebih tinggi dan bahan bakar yang lebih halus daripada siklus Otto. Mesin Diesel memiliki rasio kompresi yang lebih tinggi dan sedikit lebih efisien daripada mesin Otto.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di kampus Politeknik Katolik Saint Paul Sorong pada bulan Januari 2021 sampai dengan bulan Oktober 2021.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk memperoleh sumber pustaka adalah metode kepustakaan, dimana sumber-sumber pustaka diambil dari buku-buku referensi, jurnal-jurnal penelitian dan media elektronika. Dan menggunakan metode eksperimen yaitu dengan melakukan pemecahan perhitungan untuk masing-masing besaran pada tiap-tiap persamaan

menggunakan cyclepad sehingga mendapatkan hasil perhitungan yang maksimal.

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data praktis. Data pertama adalah data spesifikasi mesin Diesel yang akan digunakan dalam perhitungan.

Untuk menghitung efisiensi thermal dari mesin Diesel tipe Volvo Penta D9-MH dalam penelitian ini menggunakan cyclepad.

Parameter-parameter awal yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan data dari software cyclepad. Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang penelitian yang dilakukan.

PEMBAHASAN

Data Awal

Data awal yang digunakan adalah data spesifikasi mesin.

Tabel 1. Data Spesifikasi

Technical Data				
Engine designation	D9 MH			
No. of cylinders and configuration	in-line 6			
Method of operation	4-stroke, direct-injected, turbocharged diesel engine with aftercooler			
Bore/stroke, mm (in.)	120/138 (4.72/5.43)			
Displacement, l (in ³)	9.4 (571)			
Compression ratio	20.2:1			
Dry weight bobtail, kg (lb)	1150 (2535)			
Dry weight with reverse gear MG5114SC, kg (lb)	1375 (3031)			
Dry weight with reverse gear MG5114DC, kg (lb)	1575 (3472)			
	Rating 1 1800 rpm	Rating 1 1800 rpm	Rating 1 2200 rpm	Rating 2 2200 rpm
Crankshaft power, kW (hp)	221 (300)	261 (355)	261 (355)	313 (425)
Max. torque, Nm (lbf.ft) @ 1400 rpm	1501 (1107)	1501 (1107)	1501 (1107)	1651 (1217)
Specific fuel consumption,				
g/kWh (lb/hph) @ 1800 rpm	205 (0.332)	205 (0.332)		
g/kWh (lb/hph) @ 2200 rpm			219 (0.355)	222 (0.36)

Untuk memulai perhitungan diperlukan juga parameter awal yaitu proses setiap Langkah, Temperatur Awal (T), Tekanan Awal P (Tekanan Atmosfir), massa udara, nilai kalor bahan bakar dan nilai perbandingan udara dan bahan bakar.

Proses setiap langkah yaitu langkah kompresi dalam model adiabatik dan isentropik, langkah pembakaran dalam model isobarik, langkah ekspansi dalam model adiabatik dan isentropik, langkah buang dalam model isochorik, sedangkan nilai temperatur awal, tekanan awal, massa udara, nilai kalor bahan bakar dan nilai perbandingan udara dan bahan bakar dapat dilihat pada Tabel II.

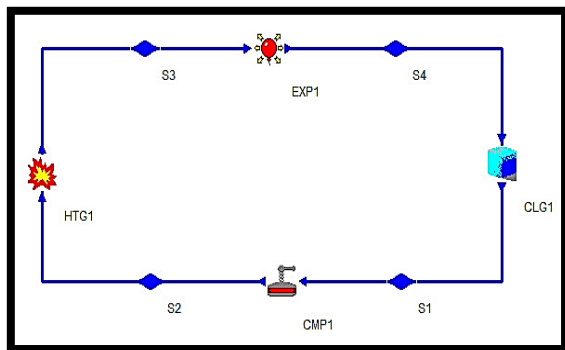
TABEL II

DATA SPESIFIKASI

PARAMETER	NILAI
Temperatur Awal (T)	27 °C
Tekanan Awal (P)	100,00 kPa
Massa Udara (m)	0,0158 kg
Rasio Kompresi	20,2 : 1
Nilai Kalor Bahan Bakar (HV)	42700 kJ/kg
Nilai Perbandingan Udara dan Bahan Bakar (A/F)	15,0

Perhitungan Nilai Efisiensi Thermal Menggunakan Cyclepad

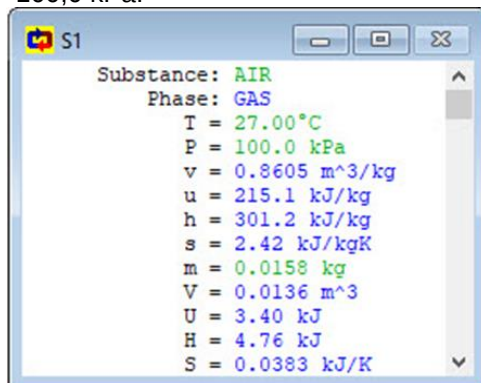
Perhitungan diawali dengan menggambar siklus pada software, seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan Siklus Diesel pada Cyclepad

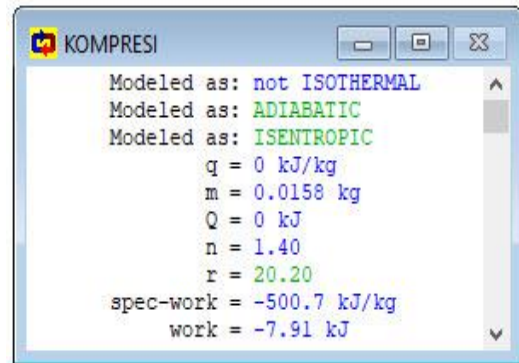
Perhitungan selanjutnya input data pada masing-masing titik-titik siklus yang diuraikan sebagai berikut :

- 1) *Data perhitungan hasil input pada S1:* Hasil input pada titik 1 memperoleh nilai volume, volume spesifik, energi dalam, energi dalam spesifik, entalpi, entalpi spesifik, entropi dan entropi spesifik untuk $T_1 = 27 \text{ oC}$ dan $P_1 = 100,0 \text{ kPa}$.



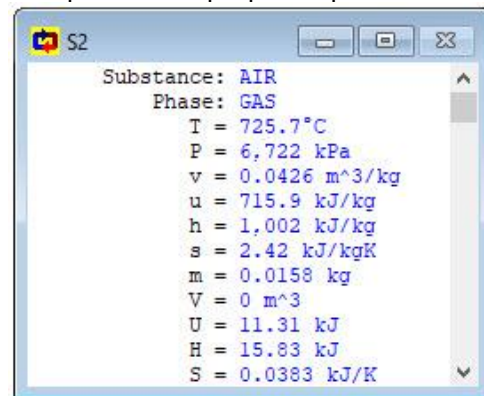
Gambar 5. Hasil input titik 1

- 2) *Data perhitungan hasil input pada langkah kompresi (CMP1):* Hasil input pada langkah kompresi menghasilkan nilai kelengkungan isentropik, nilai kerja dan kerja spesifik.



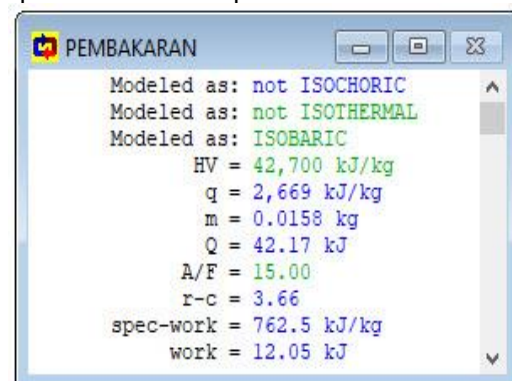
Gambar 6. Hasil input pada langkah kompresi

- 3) *Data perhitungan hasil input pada S2:* Hasil input pada titik 2 menghasilkan nilai temperatur pada titik 2, tekanan pada titik 2, nilai volume, volume spesifik, energi dalam, energi dalam spesifik, entalpi, entalpi spesifik, entropi dan entropi spesifik pada titik 2 siklus.



Gambar 7. Hasil input pada titik 2

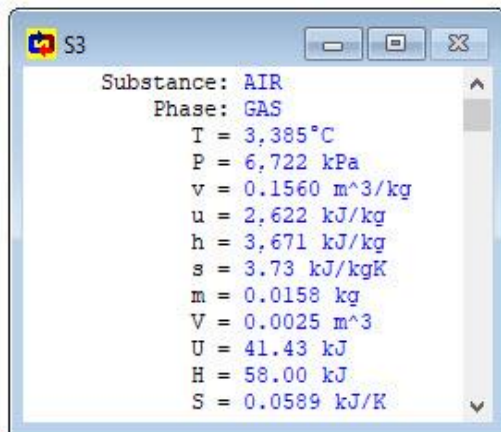
- 4) *Data perhitungan hasil input pada langkah pembakaran (HTG1):* Hasil input pada langkah pembakaran menghasilkan nilai kalor masuk, kalor spesifik, kerja dan kerja spesifik pada tekanan tetap.



Gambar 8. Hasil input pada langkah pembakaran

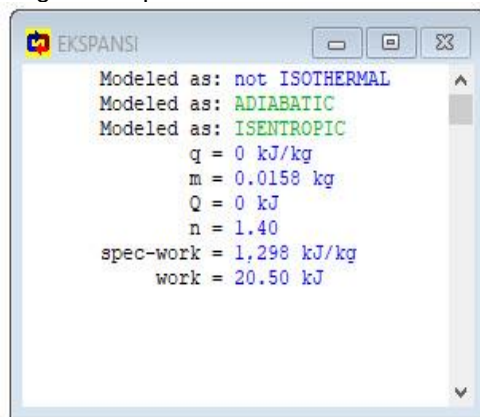
- 5) *Data perhitungan hasil input pada S3:* Hasil input pada titik 3 menghasilkan nilai temperatur pada titik 3, tekanan pada titik 3, nilai volume, volume spesifik, energi dalam,

energi dalam spesifik, entalpi, entalpi spesifik, entropi dan entropi spesifik pada titik 3 siklus.



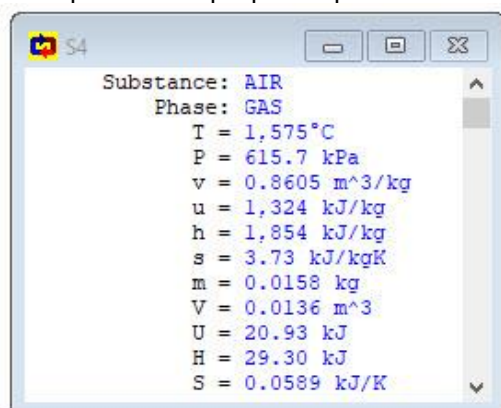
Gambar 9. Hasil input pada titik 3

- 6) Data perhitungan hasil input pada langkah ekspansi (EXP1): Hasil input pada langkah ekspansi menghasilkan nilai kelengkungan isentropik, nilai kerja dan kerja spesifik pada langkah ekspansi.



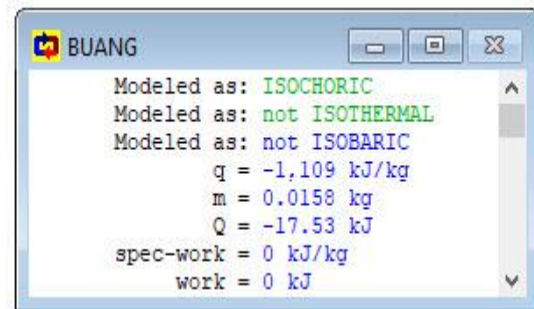
Gambar 10. Hasil input pada langkah ekspansi

- 7) Data perhitungan hasil input pada S4: Hasil input pada titik 4 menghasilkan nilai temperatur pada titik 4, tekanan pada titik 4, nilai volume, volume spesifik, energi dalam, energi dalam spesifik, entalpi, entalpi spesifik, entropi dan entropi spesifik pada titik 4 siklus.



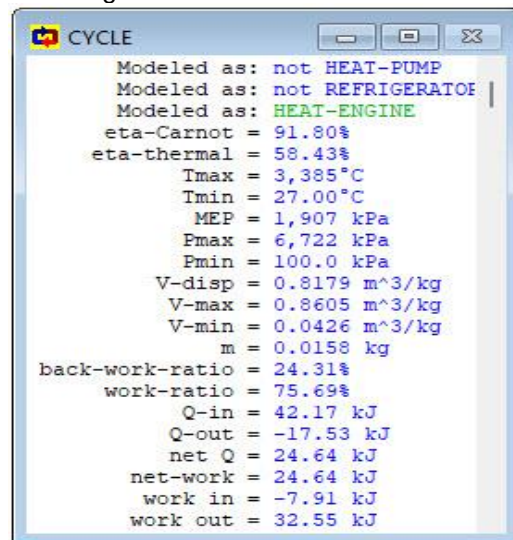
Gambar 11. Hasil input pada titik 4

- 8) Data perhitungan hasil input pada langkah buang (CLG1): Hasil input pada langkah buang menghasilkan nilai kalor buang dan kalor spesifik pada volume tetap.



Gambar 12. Hasil input pada langkah buang

Setelah hasil input langkah buang diperoleh, maka program cyclepad merangkum keseluruhan hasil perhitungan siklus pada mesin kalor sebagai berikut :



Gambar 13. Hasil siklus mesin kalor

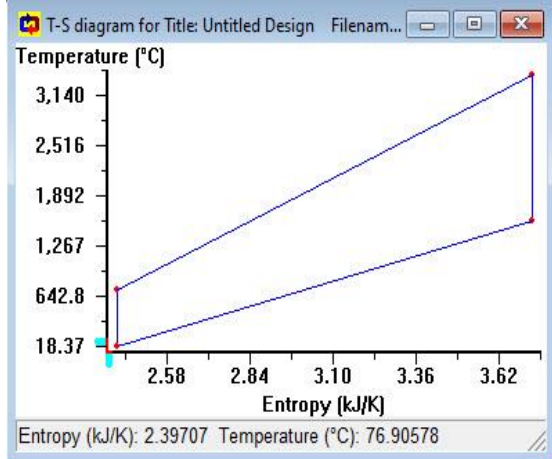
Hasil siklus menunjukkan nilai efisiensi mekanis, efisiensi thermal, temperatur maksimum, temperatur minimum, Tekanan Efektif Rata-rata, tekanan maksimum, tekanan minimum, volume silinder, kalor masuk, kalor buang, kerja masuk dan kerja bersih.

Pembahasan

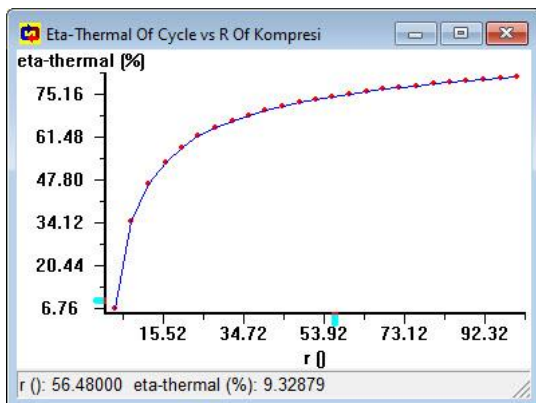
Penelitian ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan termodinamika dari siklus mesin kalor sangat mudah dan cepat menggunakan program cyclepad. Hasil akhir perhitungan sesuai tujuan penelitian yaitu efisiensi termal untuk mesin diesel tipe Volvo Penta D9-MH diperoleh sebesar 58,43%. Selain nilai efisiensi termal, juga diperoleh beberapa nilai dari besaran termodinamika yang lazim ditentukan dalam perhitungan besaran-besaran untuk siklus mesin kalor. Efisiensi mekanis mesin sebesar

91,80%, Temperatur maksimum sebesar 3385 °C, Temperatur minimum sebesar 27 °C, Tekanan Efektif Rata-rata sebesar 1907 kPa, Tekanan maksimum sebesar 6722 kPa, Tekanan minimum sebesar 100 kPa, kalor masuk sebesar 42,17 kJ, kalor buang sebesar 17,53 kJ, kerja masuk sebesar 7,91 kJ dan kerja keluar 32,55 kJ.

Hasil perhitungan menggunakan program cyclepad ini juga menghasilkan diagram yaitu :



Gambar 14. Hubungan T dan s



Gambar 14. Hubungan η_{th} dan r

PENUTUP

Hasil akhir perhitungan menggunakan cyclepad sesuai tujuan penelitian yaitu efisiensi termal untuk mesin diesel tipe Volvo Penta D9-MH diperoleh sebesar 58,43 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, E. (2011). *Thermodinamika Teknik*. Makassar: Membumi Publishing.
- Hetharia, M. (2012). Analisa Pengaruh Kapasitas Udara Untuk Campuran Bahan Bakar Terhadap Prestasi Mesin Diesel. *Arika Jurnal Teknik Industri*, 19-26.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental*. United States: McGraw-Hill, Inc.

Pulkrabek, W. W. (t.thn.). *Enginnering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice Hall.

Wu, C. (2007). *Thermodynamics and Heat Powered Cycles; A Cognitive Engineering Approach*. New York: Nova Science Publishers.