



Analisis Performa *Auxiliary Plate-Fin Cooler* (Hayden 679) dalam Menjaga Stabilitas Termal *Automatic Transmission Fluid* pada Mesin Diesel

Zulfikar Nadirsyah^{1*}, Muhamad Safii², Althesa Androva³

¹⁻³Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang, Indonesia

E-mail: znadirsyah@gmail.com¹, althesaandrova@upgris.ac.id², muhammadsafii@upgris.ac.id³

*Penulis Korespondensi: znadirsyah@gmail.com

Abstract. *Automatic Transmission Fluid (ATF) degradation due to high thermal loads is the main cause of automatic transmission failure in high-torque diesel vehicles. This study aims to analyze the effectiveness of installing an external plate-fin oil cooler (Hayden 679) in maintaining ATF thermal stability. The test object used was a Chevrolet Captiva Diesel 2.0L VCDi with a 6-speed automatic transmission. ATF temperature data was acquired in real-time via the OBD-II protocol under heavy load conditions (road gradient > 15° and a constant speed of 110 km/h). The results showed that the auxiliary cooler was able to limit the maximum ATF temperature to 79°C, which is within the ideal range of 70–90°C. When compared to the standard system that reaches > 90°C, a peak temperature reduction of 14°C was obtained, which represents a thermal reduction efficiency of 15.05% and a heat dissipation of 1.4 kW. It was concluded that the use of Hayden 679 was effective in improving the thermal stability and durability of diesel transmission components.*

Keywords: *ATF; Hayden 679; Plate-Fin Cooler; Stabilitas Termal; Transmisi Diesel.*

Abstrak. Fluida Transmisi Otomatis (Automatic Transmission Fluid atau ATF) yang mengalami degradasi akibat beban termal tinggi merupakan salah satu penyebab utama kerusakan pada sistem transmisi otomatis, terutama pada kendaraan diesel bertorsi besar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pemasangan pendingin oli eksternal tipe plate-fin Hayden 679 dalam menjaga stabilitas termal ATF pada kondisi pengoperasian berat. Objek penelitian adalah Chevrolet Captiva Diesel 2.0L VCDi dengan transmisi otomatis 6-percepatan. Data temperatur ATF diperoleh secara real-time melalui protokol OBD-II selama pengujian pada jalan dengan kemiringan lebih dari 15° dan kecepatan konstan 110 km/jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendingin tambahan mampu membatasi temperatur maksimum ATF hingga 79°C, sehingga tetap berada dalam kisaran temperatur ideal 70–90°C. Dibandingkan sistem standar yang mencapai temperatur di atas 90°C, penggunaan Hayden 679 menghasilkan penurunan temperatur puncak sebesar 14°C, dengan efisiensi reduksi termal sebesar 15,05% dan kemampuan pelepasan panas sebesar 1,4 kW. Temuan ini menunjukkan bahwa Hayden 679 efektif meningkatkan stabilitas termal ATF, memperpanjang umur pakai fluida, serta meningkatkan keandalan dan daya tahan komponen transmisi otomatis pada kendaraan diesel berperforma tinggi.

Kata Kunci: *ATF; Hayden 679; Plate-Fin Cooler; Stabilitas Termal; Transmisi Diesel.*

1. LATAR BELAKANG

Transmisi otomatis pada mesin diesel common-rail beroperasi di bawah tekanan hidrolik yang tinggi untuk menyalurkan torsi yang besar. Salah satu tantangan utama pada sistem ini adalah tata kelola termal. Panas berlebih (overheating) pada ATF menjadi akar penyebab dari sekitar 90% kegagalan transmisi otomatis. Temperatur ATF yang melebihi 90°C dapat memicu pemutusan rantai kimia zat aditif dan penurunan viskositas secara drastis (da Silva et al., 2022; A. R. E. M. et al., 2023). Degradasi pelumas akibat panas mengikuti pendekatan kinetika kimia Hukum Arrhenius, di mana setiap kenaikan 10°C di atas batas optimal akan melipatgandakan laju oksidasi kimia yang berujung pada kerusakan fatal transmisi (A. R. E. M. et al., 2023).

Terdapat kesenjangan (research gap) pada literatur saat ini, di mana riset tentang efektivitas oil cooler eksternal sering dilakukan melalui simulasi laboratorium. Data empiris

mengenai laju termal penukar panas tipe plate-fin yang diukur langsung pada kendaraan SUV diesel bertorsi tinggi di iklim tropis yang ekstrem masih sangat terbatas (Gu et al., 2020). Penelitian terdahulu oleh da Silva et al. (2022) dan A. R. E. M. et al. (2023) menyoroti kerusakan kimiawi ATF akibat beban geser suhu tinggi. Sementara itu, kajian desain pendingin oleh Gu et al. (2020) membuktikan efisiensi dimensi dari model plate-fin. Studi perpindahan panas shell-and-tube juga dieksplorasi oleh Hosseini et al. (2007).

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur performa termal secara empiris dari oil cooler Hayden 679 (tipe plate-fin) pada kendaraan diesel dengan beban berat, serta mengevaluasi secara komparatif stabilitas temperatur ATF antara sistem pendingin standar pabrikan dengan konfigurasi modifikasi loop pendingin tambahan. Kebaruan riset ini terletak pada ekstraksi data real-time profil inersia termal (thermal lag) ATF di jalan tol menanjak secara konstan, menggunakan sirkuit seri pendingin sekunder ber-turbulator pada aplikasi mesin diesel secara spesifik, yang belum banyak dipublikasikan. Pengujian dilakukan secara dinamis langsung di jalan raya (dunia nyata) sehingga fluktuasi termal yang dihasilkan memiliki validitas operasional yang tinggi. Namun, fluktuasi temperatur udara lingkungan sekitar (ambien) tidak dapat dikontrol secara statis seperti di dalam laboratorium, dan pengujian terbatas pada satu jenis pelumas (Dexron VI).

Secara praktis, penelitian ini memberikan panduan modifikasi sirkuit pendinginan transmisi otomatis bagi pengguna SUV diesel guna meminimalkan risiko overheating dan biaya perawatan tak terduga. Secara teoritis, penelitian ini menyumbang data kuantitatif perpindahan panas pada heat exchanger tipe plate-fin di bawah kondisi pengujian jalan nyata. Implikasi dari riset ini secara langsung berdampak pada perpanjangan masa pakai komponen mekanis sirkuit transmisi dan pencegahan keausan valve body akibat viskositas yang tetap konsisten di batas aman pengoperasian.

2. KAJIAN TEORITIS

Perpindahan Panas pada Oil Cooler

Laju perpindahan panas yang terjadi di dalam sirkuit pendingin fluida secara teoritis merujuk pada kesetimbangan energi termal. Laju disipasi panas pada sebuah oil cooler dapat dinyatakan melalui persamaan kesetimbangan massa dan entalpi sebagai berikut:

$$Q \bullet = m \bullet \times c_p \times (T_{in} - T_{out})$$

Alternatif lain, berdasarkan mekanisme pelepasan panas konvektif ke udara lingkungan melalui sirip pendingin :

$$Q \bullet = h \times A \times (T_{surface} - T_{ambient})$$

Di mana Q adalah laju perpindahan panas (Watt), m merepresentasikan laju aliran massa oli (kg/s), c_p adalah panas spesifik dari ATF (J/kg.K), h adalah koefisien perpindahan panas konvektif (W/m².K), dan A adalah luas permukaan pendinginan efektif (m²). Koefisien perpindahan panas konvektif (h) sangat dipengaruhi oleh tingkat turbulensi aliran fluida yang melewati koridor pendingin.

Teknologi Plate-Fin pada Hayden 679

Tipe plate-fin menawarkan keunggulan berupa rasio luas permukaan terhadap volume yang jauh lebih besar dibandingkan dengan penukar panas jenis tube-and-fin konvensional. Desain turbulator internal sengaja dirancang untuk menciptakan gangguan mekanis pada aliran fluida, memicu aliran turbulen yang meningkatkan efisiensi perpindahan panas secara substansial. Unit Hayden 679 memiliki dimensi fisik 19" × 7" × 1.5" dengan total luas permukaan efektif mencapai sekitar 0.23 m². Berdasarkan spesifikasi resmi pabrikan, arsitektur penampang plate-fin pada unit ini menghasilkan efisiensi termal 33% lebih tinggi daripada tipe standar tube-and-fin.

3. METODE PENELITIAN

Model Fisik Alat Uji

Model fisik objek pengujian menggunakan kendaraan SUV bermesin diesel 2.0L VCDi facelift (FL1) dengan penggerak transmisi otomatis 6-percepatan. Modifikasi dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat oil cooler eksternal (Hayden 679) di area depan grill mesin untuk menangkap aliran udara konvektif secara maksimal dari arah depan kendaraan (Automotive, 2024).

Spesifikasi Teknis Alat Uji

Rincian spesifikasi teknis dari kendaraan pengujian, jenis fluida, dan instrumen ukur yang digunakan disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Kendaraan dan Instrumen Pengujian.

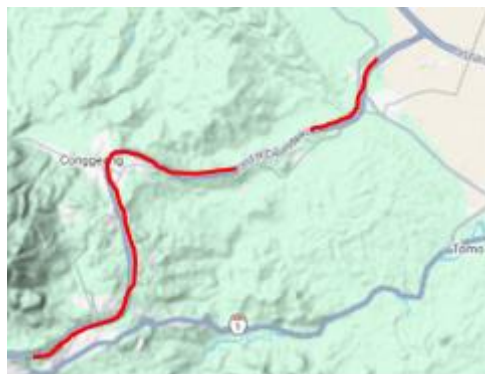
Parameter	Spesifikasi
Kendaraan	Chevrolet Captiva Diesel, 2.0L VCDi, 2012
Transmisi	6-speed automatic (Aisin AF33-5)
Tipe Fluida	Dexron VI (6.0 cSt @ 100°C)
Auxiliary Cooler	Hayden 679 (Plate-Fin type)
Data Logger	OBD-II ELM327, 1 Hz sampling rate

Skema Penelitian

Modifikasi dipasang menggunakan skema hubungan seri. Jalur sirkulasi aliran fluida panas diarahkan keluar dari transmisi, masuk terlebih dahulu ke unit Hayden eksternal untuk direduksi suhunya, kemudian dimasukkan ke cooler bawaan pabrik, sebelum akhirnya dikembalikan ke transmisi, dengan urutan pipa sebagai berikut: Transmisi (keluar) → Cooler Eksternal (masuk) → Cooler Eksternal (keluar) → Cooler Eksisting (masuk) → Cooler Eksisting (keluar) → Transmisi (masuk)

Prosedur Pengujian

Pengujian performa termal di jalan raya dilakukan dalam kondisi berkendara dunia nyata, melintasi jalur tanjakan curam di jalan tol Cisumdawu menuju Bandung. Fitur cruise control kendaraan diaktifkan pada kecepatan konstan 110 km/jam dengan total durasi pengujian selama 16 menit. Fluktuasi temperatur ATF yang dinamis dipindai dan dicatat secara kontinu menggunakan antarmuka protokol OBD-II.



Gambar 1. Rute Pengujian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

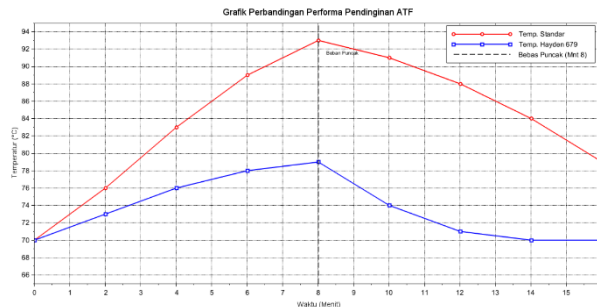
Karakteristik Temperatur ATF

Berdasarkan pencatatan uji jalan secara real-time dari menit ke-0 hingga ke-16, profil temperatur operasi transmisi untuk kedua skenario terekam dalam interval 2 menit, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Profil Data Temperatur ATF Selama Pengujian.

Waktu [Min]	Temp Standard (°C)	Temp Hayden 679 (°C)
0	70	70
2	76	70
4	83	76
6	89	78
8 (Puncak)	93	79

10	91	74
12	88	71
14	84	70
16	79	70



Gambar 2. Kurva Perbandingan Performa Pendinginan ATF.

Merujuk pada hasil grafik dan data, kontras yang tajam terlihat pada kurva profil temperatur. Pada sistem standar, temperatur melonjak cepat dari awal 70°C hingga melewati ambang batas aman kritis pada menit ke-8 (Beban Puncak) dan mencapai puncaknya di angka 93°C. Sebaliknya, sirkuit modifikasi dengan Hayden 679 berhasil menahan lonjakan panas ekstrem tersebut dan membatasi temperatur maksimal hanya sampai 79°C. Reduksi absolut sebesar 14°C ini sukses mengunci temperatur operasional ATF tetap berada di dalam jendela kerja transmisi otomatis yang aman dan ideal (70–90°C), sekaligus mencegah terjadinya pemutusan dini zat aditif pelumas.

Analisis Termodinamika Kuantitatif dan Efisiensi Termal

Total energi termal yang berhasil ditangkap dan didisipasikan oleh penukar panas eksternal Hayden 679 dihitung menggunakan prinsip kekekalan energi. Laju disipasi panas sistem (Q) dievaluasi dengan persamaan berikut:

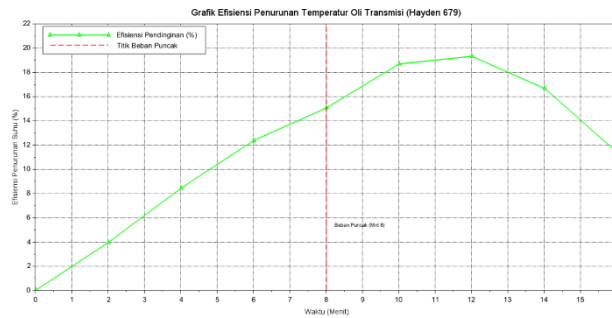
$$Q = m \cdot C_p \times (T_{initial} - T_{final}) \quad (3)$$

Di mana variabel lapangan eksperimental diukur sebesar: laju aliran massa oli $m \cdot = 0.05$ kg/s; C_p (Dexron VI) = 2.000 J/kg.K ; $T_{initial} = 93^\circ\text{C}$; $T_{final} = 79^\circ\text{C}$. Substitusi nilai ini menghasilkan daya pendinginan:

$$Q = 0.05 \times 2.000 \times (93 - 79) = 1.400 \text{ W (1,4 kW)}$$

Efisiensi performa pendinginan direpresentasikan oleh indeks persentase reduksi termal (η) menggunakan formulasi:

$$\eta = [(T_{initial} - T_{final}) / T_{initial}] \times 100\% \quad (4)$$



Gambar 3. Kurva Efisiensi Penurunan Temperatur Oli Transmisi (Hayden 679).

Pada saat beban puncak (menit ke-8), efisiensi reduksi pendinginan adalah sebesar 15,05%. Kurva efisiensi menunjukkan kenaikan yang stabil dan mencapai puncak absolutnya pada menit ke-12 (menyentuh 19,31%). Secara ilmiah, keterlambatan (lag) ini terjadi karena adanya Inersia Termal (Thermal Lag). Oli transmisi membutuhkan jendela waktu transisi untuk mensirkulasikan akumulasi kepadatan panas akibat gesekan mekanis internal keluar menuju sirip-sirip pendingin eksternal.

Implikasi Terhadap Keandalan Mekanis Transmisi

Dengan menstabilkan temperatur pada 79°C , laju degradasi kimia aditif ATF ditekan ke level minimum. Konsekuensinya, interval masa pakai transmisi yang andal dapat diperpanjang secara signifikan hingga mencapai 80.000–100.000 km. Hal ini menyajikan kontras yang sangat mencolok dibandingkan membiarkan oli rusak akibat lonjakan panas ekstrem yang melebihi 90°C yang memotong masa pakainya hingga setengahnya. Menjaga viskositas fluida tetap stabil juga memastikan tekanan konvensional jalur sirkuit hidrolis di dalam valve body tetap konsisten, sehingga mempertahankan karakteristik perpindahan gigi yang baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pemasangan auxiliary cooler Hayden 679 terbukti efektif dalam menjaga temperatur operasi Automatic Transmission Fluid (ATF) pada nilai maksimum 79°C , sehingga tetap berada dalam rentang temperatur ideal $70\text{--}90^{\circ}\text{C}$ dan lebih stabil dibandingkan sistem pendingin standar yang mencapai 93°C . Pendingin tambahan tersebut juga mampu mengurangi beban panas dengan kapasitas pelepasan kalor sebesar 1,4 kW serta menghasilkan efisiensi penurunan temperatur puncak sebesar 15,05%. Temuan ini menunjukkan bahwa penambahan sistem pendingin eksternal merupakan solusi yang efektif untuk meningkatkan stabilitas termal ATF, mencegah percepatan oksidasi fluida akibat temperatur tinggi, serta

memperpanjang umur pakai dan keandalan komponen transmisi otomatis, terutama pada kendaraan diesel bertorsi tinggi yang sering beroperasi pada kondisi beban berat maupun di wilayah beriklim tropis.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas ruang lingkup pengujian dengan menggunakan berbagai merek dan formulasi ATF serta menguji performa sistem pada variasi temperatur lingkungan yang berbeda agar diperoleh hasil yang lebih komprehensif. Selain itu, pemasangan sensor termokopel secara langsung pada sisi masuk (inlet) dan keluar (outlet) external cooler direkomendasikan untuk meningkatkan akurasi pengukuran koefisien perpindahan panas. Studi komparatif yang membandingkan kinerja oil cooler dengan berbagai ukuran dan dimensi juga perlu dilakukan guna menentukan konfigurasi sistem pendingin yang paling optimal sesuai karakteristik kendaraan dan kondisi operasionalnya.

DAFTAR REFERENSI

- A. R. E. M., et al. (2023). Chemical characterization of fresh and used ATF of gearbox via FTIR spectroscopy. *International Research Journal in Material and Environment*, 5(2). <https://doi.org/10.52589/IRME-7F0NH2QV>
- Automotive, H. (2024). *Rapid-Cool transmission oil cooler 679: Product specifications*. https://www.haydenauto.com/media/5475/oil-cooler-brochure_individual-pages.pdf
- da Silva, E. C. P., et al. (2022). Cooling performance of fresh and aged automatic transmission fluids for hybrid electric vehicles. *Applied Sciences*, 12(17), 8911. <https://doi.org/10.3390/app12178911>
- Gu, Y., Liu, X., Liu, W., Zhai, X., Xuan, Y., Peng, T., & Jiang, W. (2020). Research on heat transfer and pressure drop performance of plain plate fin-and-tube oil cooler. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 158, 108187. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108187>
- Hosseini, R., Hosseini, M., & Jafarpur, K. (2007). Experimental determination of shell side heat transfer coefficient and pressure drop for an oil cooler shell-and-tube heat exchanger with three different tube bundles. *Applied Thermal Engineering*, 27(5–6), 1001–1008. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.07.023>
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2018). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). Wiley.
- Wang, C., et al. (2024). Numerical simulation and structural optimization of heat transfer performance in plate-fin oil coolers. *International Journal of Thermal Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2026.110999>
- Ngatmin, et al. (2023). Analisa kegagalan ring piston mesin diesel type YMD MAN B&W (5S35MC-C9-2) di KM. Spil Hasya. *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 2(4). <https://doi.org/10.58192/ocean.v2i4.1903>
- Sari, R. D. A., et al. (2025). Rancang bangun transmitter automatic identification system (AIS) menggunakan long range (LoRa). *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 4(2). <https://doi.org/10.58192/ocean.v4i2.3215>
- Setiyono, Y. R., & Ernawati, D. (2023). Analisis performansi aktivitas green supply chain management dengan metode green SCOR berbasis AHP dan OMAX (Studi kasus:

- Perusahaan minyak dan gas). *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 2(1). <https://doi.org/10.55606/jtmei.v2i1.1265>
- Haryadi, et al. (2024). Manajemen perawatan kompresor udara pada mesin induk di KM Umsini. *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 3(2). <https://doi.org/10.58192/ocean.v3i2.2469>
- Alamsyah, J., et al. (2025). Enhancing predictive maintenance strategies for naval auxiliary systems in maritime training vessels: A qualitative and sensor-based analysis. *International Journal of Mechanical, Industrial and Control Systems Engineering*, 2(3). <https://doi.org/10.61132/ijmicse.v2i1.256>