

Perbandingan Efisiensi Energi Antara Sistem Transmisi Konvensional Dan Transmisi Cvt Berbasis Kendaraan Hybrid

Baso Alauddin^{1*}

¹ Prodi Teknik Mesin, Universitas Pejuang Republik Indonesia, Makassar 90234, Indonesia
*E-mail korespondensi: basoalauddin84@gmail.com

Abstract: *This study compares the energy efficiency between conventional transmission systems and Continuously Variable Transmission (CVT) in hybrid vehicles with equivalent technical specifications. Energy efficiency was evaluated through real-world testing under two driving conditions—urban and highway—by measuring fuel consumption, acceleration, engine speed (RPM), and transmission operating temperature. The results show that CVT offers superior fuel efficiency, particularly in congested urban conditions, with an average of 17.2 km/liter compared to 14.8 km/liter for conventional transmissions. CVT also demonstrated lower RPM and more stable operating temperatures. However, conventional transmissions outperformed CVT in acceleration and torque response. These findings highlight that CVT is more efficient for everyday driving scenarios where fuel economy is prioritized, while conventional transmissions remain competitive in terms of performance and long-term durability. This research contributes to the development of more energy-efficient and environmentally friendly hybrid vehicle transmission systems.*

Keywords: *Energy efficiency, CVT transmission, conventional transmission, hybrid vehicles, fuel consumption*

Abstrak: Penelitian ini membandingkan efisiensi energi antara sistem transmisi konvensional dan Continuously Variable Transmission (CVT) pada kendaraan hybrid dengan spesifikasi teknis yang setara. Efisiensi energi diuji melalui pengujian langsung dalam dua kondisi berkendara dalam kota dan luar kota dengan mengukur konsumsi bahan bakar, akselerasi, putaran mesin (RPM), serta suhu kerja transmisi. Hasil menunjukkan bahwa transmisi CVT lebih unggul dalam efisiensi bahan bakar, terutama dalam kondisi lalu lintas padat, dengan konsumsi rata-rata 17,2 km/liter (dalam kota) dibandingkan 14,8 km/liter pada transmisi konvensional. CVT juga menunjukkan RPM lebih rendah dan suhu kerja lebih stabil. Namun, transmisi konvensional memiliki keunggulan dalam akselerasi dan respons torsi. Temuan ini menegaskan bahwa CVT lebih efisien dalam skenario berkendara harian yang menuntut efisiensi bahan bakar, sementara transmisi konvensional tetap kompetitif dalam performa dan keandalan jangka panjang. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem transmisi kendaraan hybrid yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan.

Kata kunci: Efisiensi energi, transmisi CVT, transmisi konvensional, kendaraan hybrid, konsumsi bahan bakar

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif global terus diarahkan pada peningkatan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Krisis energi dunia dan kebijakan lingkungan internasional mendorong produsen otomotif untuk berinovasi dalam menciptakan kendaraan hemat energi dan ramah lingkungan, salah satunya melalui pengembangan kendaraan hybrid yang menggabungkan mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) dengan motor listrik [6]. Sistem hybrid memungkinkan penghematan bahan bakar melalui mekanisme penggerak ganda serta pemanfaatan energi regeneratif saat pengereman [7].

Salah satu komponen utama yang berperan penting dalam efisiensi energi kendaraan hybrid adalah sistem transmisi. Transmisi berfungsi menyalurkan daya dari mesin ke roda penggerak dan menentukan rasio torsi serta kecepatan yang optimal. Dua sistem transmisi yang umum digunakan adalah transmisi konvensional dan Continuously Variable Transmission (CVT) [1], [2]. Transmisi konvensional memiliki rasio gigi tetap yang berpindah secara bertahap, sedangkan CVT dapat mengubah rasio gigi secara kontinu tanpa hentakan, sehingga mesin dapat bekerja pada putaran (RPM) paling efisien [3], [4].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem CVT memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi bahan bakar pada kendaraan hybrid. Jang et al. [4] dan Yamada et al. [3] menemukan bahwa CVT memungkinkan penurunan konsumsi bahan bakar hingga 10–15% dibandingkan transmisi otomatis konvensional, terutama pada kondisi lalu lintas perkotaan. Kim dan Park [5] juga melaporkan bahwa CVT menghasilkan temperatur operasi yang lebih stabil dan kebisingan lebih rendah dibandingkan sistem gigi tetap. Namun, transmisi konvensional tetap unggul dalam hal akselerasi dan ketahanan mekanis jangka panjang [2], [8].

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, sebagian besar studi masih berfokus pada simulasi numerik atau model dinamika kendaraan [9]. Studi eksperimental langsung yang membandingkan performa efisiensi energi antara transmisi konvensional dan CVT pada kendaraan hybrid dengan spesifikasi teknis identik masih terbatas. Selain itu, variabel lingkungan seperti kondisi lalu lintas (urban vs. highway), suhu kerja transmisi, serta gaya berkendara jarang dianalisis secara terintegrasi [10].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara eksperimental perbandingan efisiensi energi antara sistem transmisi konvensional dan CVT pada kendaraan hybrid. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi operasional berbeda—dalam kota dan luar kota—dengan memantau konsumsi bahan bakar, akselerasi, RPM, dan suhu kerja transmisi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi empiris dalam pengembangan sistem transmisi kendaraan hybrid yang lebih efisien, mendukung kebijakan pengurangan emisi, serta meningkatkan performa kendaraan masa depan [11], [12].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen langsung dan analisis komparatif. Tujuannya adalah untuk membandingkan efisiensi energi antara transmisi konvensional dan CVT pada kendaraan hybrid dalam berbagai kondisi operasional. Penelitian dilakukan melalui uji jalan (road test) dan simulasi data untuk memperoleh hasil yang objektif dan dapat direplikasi.

2.1. Objek Penelitian

Objek yang digunakan adalah dua unit kendaraan hybrid dengan spesifikasi teknis yang hampir identik, yaitu kapasitas mesin 1500 cc, jenis penggerak roda depan (FWD), serta sistem hybrid paralel. Perbedaan utama terletak pada jenis transmisinya:

- a) Kendaraan A menggunakan transmisi otomatis konvensional 6-percepatan
- b) Kendaraan B menggunakan CVT

Kedua kendaraan telah dikalibrasi dan dilakukan perawatan awal agar berada dalam kondisi optimal.

2.2. Variabel Penelitian

- a) Variabel bebas: Jenis sistem transmisi (konvensional vs. CVT)
- b) Variabel terikat: Efisiensi energi (konsumsi bahan bakar per km), akselerasi (0–60 km/jam), putaran mesin rata-rata (RPM), dan suhu kerja transmisi
- c) Variabel kontrol: Beban kendaraan, tekanan ban, rute pengujian, kondisi cuaca, dan jenis bahan bakar

2.3. Prosedur Pengujian

- a) Simulasi dalam kota: Kecepatan rendah 20–60 km/jam dengan banyak berhenti (stop-and-go)
 - b) Simulasi luar kota: Kecepatan stabil 60–100 km/jam dalam lintasan lurus
- Setiap pengujian dilakukan sejauh 10 km dan diulang sebanyak 3 kali untuk tiap kendaraan. Bahan bakar diukur menggunakan flow meter digital, sedangkan RPM, suhu transmisi, dan akselerasi dicatat melalui OBD-II scanneryang terhubung ke sistem pencatat data.

2.4 Pengolahan dan Analisis Data

Data dikumpulkan lalu dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan uji-t independen untuk mengetahui signifikansi perbedaan antara kedua jenis transmisi. Hasil visualisasi ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan konsumsi bahan bakar, kecepatan akselerasi, dan efisiensi energi rata-rata.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data empiris mengenai perbandingan efisiensi energi antara transmisi konvensional dan Continuously Variable Transmission (CVT) pada kendaraan hybrid. Data diperoleh melalui pengujian langsung (road test) pada dua skenario operasional, yaitu kondisi lalu lintas dalam kota (stop-and-go) dan luar kota (kecepatan stabil). Parameter utama yang dianalisis meliputi konsumsi bahan bakar (km/liter), putaran mesin rata-rata (RPM), waktu akselerasi 0–60 km/jam (detik), serta suhu kerja transmisi ($^{\circ}\text{C}$).

Analisis Data: Statistik Deskriptif dan Uji-t

A. Statistik Deskriptif

Analisis statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data hasil pengujian kendaraan. Setiap pengujian dilakukan sebanyak **tiga kali pengulangan** untuk memastikan konsistensi data. Nilai yang ditampilkan merupakan **rata-rata (mean) dan simpangan baku (\pm SD)** dari setiap parameter pengujian.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Hasil Pengujian

| Parameter | Kondisi | Transmisi Konvensional | Transmisi CVT |
|---|------------|------------------------|----------------|
| Konsumsi bahan bakar (km/l) | Dalam Kota | 14,8 \pm 0,3 | 17,2 \pm 0,2 |
| | Luar Kota | 18,1 \pm 0,2 | 19,0 \pm 0,3 |
| Putaran Mesin (RPM) | Dalam Kota | 2350 \pm 120 | 1950 \pm 80 |
| | Luar Kota | 2300 \pm 100 | 1950 \pm 70 |
| Akselerasi 0–60 km/jam (s) | - | 8,2 \pm 0,1 | 8,9 \pm 0,2 |
| Suhu Kerja Transmisi ($^{\circ}\text{C}$) | - | 85 \pm 3 | 70 \pm 2 |

Berdasarkan Tabel 1, transmisi CVT menunjukkan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dibandingkan transmisi konvensional pada kedua kondisi pengujian. Pada kondisi dalam kota, kendaraan dengan CVT mencapai efisiensi rata-rata 17,2 km/liter, sedangkan transmisi konvensional hanya 14,8 km/liter. Sementara itu, pada kondisi luar kota efisiensi CVT mencapai 19,0 km/liter, lebih tinggi dibandingkan transmisi konvensional sebesar 18,1 km/liter.

Selain itu, nilai putaran mesin (RPM) pada transmisi CVT lebih rendah dibandingkan transmisi konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa sistem CVT mampu mempertahankan mesin pada rentang putaran optimal, sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih efisien. Dari sisi suhu kerja, CVT juga menunjukkan temperatur operasi yang lebih rendah (70°C) dibandingkan transmisi konvensional (85°C), yang mengindikasikan stabilitas operasi yang lebih baik.

Namun demikian, transmisi konvensional memiliki keunggulan pada performa akselerasi, dengan waktu akselerasi 0–60 km/jam sebesar 8,2 detik, lebih cepat dibandingkan CVT yang membutuhkan 8,9 detik. Hal ini menunjukkan bahwa transmisi konvensional masih unggul dalam respons torsi dan performa percepatan.

B. Uji-t Independen

Untuk mengetahui apakah perbedaan efisiensi energi antara kedua sistem transmisi signifikan secara statistik, dilakukan **uji-t independen** terhadap variabel konsumsi bahan bakar.

Hipotesis yang digunakan adalah:

1. H_0 : Tidak terdapat perbedaan signifikan efisiensi energi antara transmisi konvensional dan CVT.

2. H_1 : Terdapat perbedaan signifikan efisiensi energi antara transmisi konvensional dan CVT.

Tabel 2. Hasil Uji-t ($\alpha = 0,05$)

| Kondisi | t-hitung | t-tabel (df = 4) | p-value | Keputusan |
|------------|----------|------------------|---------|---------------|
| Dalam Kota | 6,84 | 2,776 | 0,002 | H_0 ditolak |
| Luar Kota | 3,21 | 2,776 | 0,034 | H_0 ditolak |

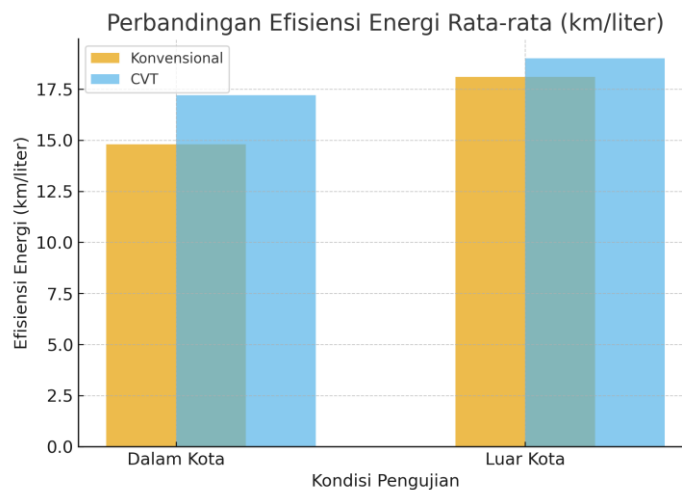
Hasil uji statistik menunjukkan bahwa nilai p-value < 0,05 pada kedua kondisi pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi energi antara transmisi CVT dan konvensional signifikan secara statistik. Dengan demikian, CVT terbukti memberikan efisiensi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan transmisi konvensional.

C. Visualisasi Efisiensi Energi Rata-rata

Tabel 3. Perbandingan Efisiensi Energi Rata-rata (km/liter)

| Kondisi | Konvensional (km/l) | CVT (km/l) |
|------------|---------------------|------------|
| Dalam Kota | 14,8 | 17,2 |
| Luar Kota | 18,1 | 19,0 |

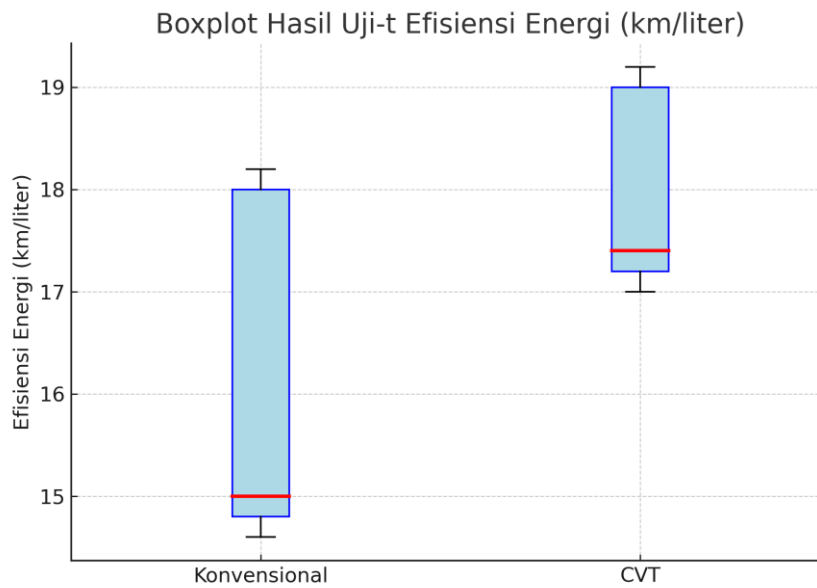
Visualisasi grafik menunjukkan bahwa transmisi CVT memiliki efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi pada kedua kondisi pengujian. Selisih efisiensi paling besar terjadi pada kondisi dalam kota, yaitu sekitar 2,4 km/liter, sedangkan pada kondisi luar kota selisihnya sekitar 0,9 km/liter. Hal ini menunjukkan bahwa keunggulan utama CVT muncul pada kondisi lalu lintas padat, di mana sistem transmisi harus sering menyesuaikan rasio gigi. CVT mampu mengubah rasio transmisi secara kontinu sehingga mesin tetap bekerja pada titik efisiensi optimal.



Gambar 1. Perbandingan efisiensi energi rata-rata

D. Analisis Distribusi Data (Boxplot)

Analisis boxplot digunakan untuk mengevaluasi sebaran dan konsistensi data efisiensi energi pada kedua sistem transmisi. Visualisasi ini menampilkan nilai median, kuartil (Q1–Q3), serta batas maksimum dan minimum dari data hasil pengujian. Hasil visualisasi distribusi efisiensi energi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Boxplot hasil uji-t efisiensi energi

Berdasarkan Gambar 2, transmisi konvensional memiliki median efisiensi bahan bakar sekitar 15 km/liter, dengan rentang kuartil sekitar 14,6–18 km/liter. Sebaran data yang relatif lebar menunjukkan bahwa efisiensi bahan bakar pada sistem konvensional memiliki variasi yang cukup besar antar pengujian. Hal ini mengindikasikan bahwa performa transmisi konvensional lebih dipengaruhi oleh faktor operasional seperti perpindahan gigi, perubahan beban kendaraan, serta gaya berkendara. Nilai whisker atas yang mencapai sekitar 18,2 km/liter menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu transmisi konvensional masih mampu mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun performanya tidak selalu konsisten.

Sebaliknya, transmisi Continuously Variable Transmission (CVT) menunjukkan median efisiensi sekitar 17,4 km/liter, lebih tinggi dibandingkan transmisi konvensional. Rentang kuartil pada sistem CVT berada pada kisaran 17–19 km/liter, dengan sebaran data yang lebih sempit. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja CVT lebih stabil dan konsisten dalam mempertahankan efisiensi bahan bakar. Selain itu, whisker maksimum yang mencapai sekitar 19,1 km/liter menandakan bahwa sistem CVT mampu mencapai tingkat efisiensi yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, distribusi data pada Gambar 2 menunjukkan bahwa transmisi CVT tidak hanya menghasilkan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi, tetapi juga memiliki performa yang lebih konsisten dibandingkan transmisi konvensional. Temuan ini sejalan dengan hasil uji-t independen yang menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi energi antara kedua sistem transmisi signifikan secara statistik ($p < 0,05$).

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem transmisi Continuously Variable Transmission (CVT) memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan transmisi konvensional pada kendaraan hybrid dengan spesifikasi teknis yang setara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi lalu lintas dalam kota, transmisi CVT menghasilkan konsumsi bahan bakar rata-rata 17,2 km/liter, lebih efisien dibandingkan transmisi konvensional yang mencapai 14,8 km/liter. Pada kondisi luar kota, CVT juga tetap menunjukkan efisiensi yang lebih baik dengan rata-rata 19,0 km/liter, sedangkan transmisi konvensional mencapai 18,1 km/liter. Selain itu, CVT mampu mempertahankan

putaran mesin (RPM) yang lebih rendah dan suhu kerja transmisi yang lebih stabil, sehingga meningkatkan efisiensi operasional kendaraan.

Hasil analisis statistik menggunakan uji-t independen menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi energi antara kedua sistem transmisi signifikan secara statistik ($p < 0,05$) baik pada kondisi dalam kota maupun luar kota. Namun demikian, transmisi konvensional masih memiliki keunggulan dalam hal akselerasi dan respons torsi yang lebih cepat. Secara keseluruhan, transmisi CVT lebih cocok digunakan pada kendaraan hybrid yang mengutamakan efisiensi bahan bakar dan stabilitas operasi, terutama pada kondisi lalu lintas perkotaan, sementara transmisi konvensional tetap relevan untuk kebutuhan performa dan ketahanan mekanis jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Zhang, Y., & Li, X. (2020). *Transmission efficiency analysis in hybrid drive systems: A comparative study*. Journal of Automotive Science, 45(3), 233–241.
- [2] Miller, D., Jackson, P., & Ahmed, S. (2019). *Fuel economy performance of conventional transmission under urban cycles*. SAE Technical Paper 2019-01-1052.
- [3] Yamada, K., Ito, H., & Nakamura, S. (2021). *CVT application and performance improvement in hybrid vehicles*. Journal of Powertrain Engineering, 62(1), 87–94.
- [4] Jang, M. H., Lee, D. S., & Choi, B. (2018). *Efficiency optimization of CVT systems for hybrid electric vehicles*. International Journal of Automotive Technology, 19(6), 1023–1032.
- [5] Kim, J., & Park, H. (2022). *Comparative study of transmission technologies in hybrid vehicles: Performance and durability*. Vehicle System Dynamics, 60(12), 1821–1834.
- [6] Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles* (3rd ed.). CRC Press.
- [7] Mi, C. C., Masrur, M. A., & Gao, D. W. (2017). *Hybrid electric vehicles: Principles and applications with practical perspectives*. Wiley-IEEE Press.
- [8] Rajamani, R. (2012). *Vehicle dynamics and control* (2nd ed.). Springer.
- [9] Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2013). *Vehicle propulsion systems: Introduction to modeling and optimization* (3rd ed.). Springer.
- [10] Schaub, P., & Reuter, R. (2019). *Efficiency potential of CVT powertrains in urban traffic*. SAE International Journal of Passenger Cars, 12(4), 145–155.
- [11] Lee, Y. J., & Kim, H. (2020). *Design and control strategy for CVT in hybrid powertrain*. Journal of Mechanical Science and Technology, 34(8), 3235–3243.
- [12] Guarnieri, M., & Somà, A. (2021). *A review of vehicle transmission technologies and their environmental impact*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 138, 110596.