

Sistem Transmisi Multiguna untuk Meningkatkan Kinerja dan Mengurangi Konsumsi Bahan Bakar pada Kendaraan Multiguna Pedesaan 650cc

Yohanes*, I. N. Sutantra dan U. Wasiwitono

Laboratorium Otomotif, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

*Email: yunus@me.its.ac.id

Abstrak

Sistem transmisi pada kendaraan berkapasitas mesin kecil, selain memiliki efisiensi yang tinggi, harus mampu mengatur keluaran daya dan putaran *engine* sesuai dengan kebutuhan pada roda penggerak secara tepat. Menggunakan *engine* dan *gearbox* yang sama, sistem transmisi kendaraan multiguna pedesaan dituntut untuk menghasilkan gaya dorong yang besar pada lintasan berat (*off-road*) namun mampu melaju kencang pada lintasan rata (*on-road*). Keduanya dapat dipenuhi dengan *final drive* yang memiliki dua rasio yang berbeda yang dapat dipilih untuk tiap kondisi tanpa melakukan perubahan pada *gearbox* yang sudah *fit-in* dengan *engine*.

Pada penilitian ini telah dikaji pengaruh rasio *final drive* terhadap kinerja traksi, kemampuan tanjak, kelajuan maksimal, dan konsumsi bahan bakar kendaraan saat bekerja pada *top gear* dan *crawling gear*. Dari kajian tersebut akan diperoleh rasio *final drive* yang tepat untuk kondisi *off-road* untuk meningkatkan kemampuan tanjak dan pada kondisi *on-road* untuk memaksimalkan kelajuan dan meminimalkan konsumsi bahan bakar. Lebih jauh lagi, hasil kajian ini dapat digunakan sebagai acuan untuk penentuan strategi pemindahan gigi untuk sistem *automated manual transmission* (AMT).

Daya pada roda penggerak diukur terlebih dahulu menggunakan *chassis dynamometer*. Menggunakan perhitungan numerik, hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui kinerja traksi dan kelajuan kendaraan dari rancangan mula. Rasio *final drive* divariasikan mulai dari rancangan mula hingga diperoleh kelajuan maksimal yang dapat dicapai kendaraan pada posisi *top gear*. Konsumsi bahan bakar dihitung untuk tiap kelajuan kendaraan dan perubahan rasio *final drive* berdasarkan data *specific fuel consumption* (sfc) dari spesifikasi *engine*.

Dari hasil kajian dapat diketahui kelajuan maksimal pada kondisi *on-road* dicapai ketika kelajuan maksimal kendaraan behimpit dengan putaran *engine* dengan daya maksimal, yaitu 82 km/jam untuk rasio *final drive* sebesar 3,4:1. Pada kondisi tersebut juga diperoleh rentang kelajuan operasional ekonomis yang lebar, yaitu 50~75 km/jam, dimana konsumsi bahan bakar paling irit. Kemampuan tanjak maksimum dan kinerja traksi yang besar dicapai oleh rasio *final drive* dari rancangan awal, yaitu 5:1.

Keywords: Transmisi multiguna, rasio final drive, traksi, kemampuan tanjak, konsumsi bahan bakar.

Pendahuluan

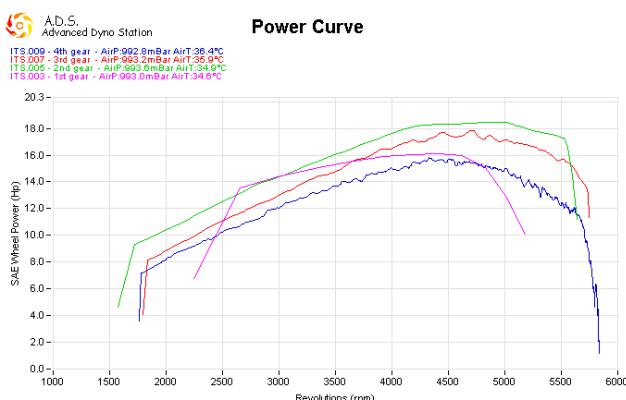
Fungsi utama sistem transmisi adalah untuk mengatur torsi dan putaran keluaran *engine* menjadi gaya dorong yang mampu melawan semua hambatan gerak kendaraan pada kelajuan yang diinginkan secara efisien. Untuk menjamin kecukupan gaya dorong tersebut, sistem transmisi kendaraan yang menggunakan sumber penggerak dengan kapasitas daya kecil harus dirancang dengan efisiensi yang tinggi. Oleh karena itu, Kendaraan Multiguna Pedesaan menggunakan sistem transmis manual yang memiliki efisiensi paling besar, yaitu 96%, dibandingkan dengan *Automated Manual Transmission* (AMT) maupun *Continuous Variable Transmission* (CVT) yang memiliki efisiensi masing-masing 86% dan 85% [1,2,3]. Lebih dari itu,

pada sistem transmisi konvensional, keterbatasan daya penggerak yang tersedia mengakibatkan terjadinya *trade-off* pada kinerja kendaraan. Sistem transmisi kendaraan dapat dirancang dengan overall ratio yang kecil untuk mencapai *top speed* yang tinggi namun memiliki kemampuan tanjak dan daya angkut yang kecil, atau sebaliknya[4]. Hal ini berlawanan dengan konsep perancangan Kendaraan Multiguna Pedesaan yang juga berdaya penggerak kecil namun dituntut untuk memiliki kedua kinerja tersebut, memiliki kecukupan gaya dorong pada lintasan *off-road*, sudut tanjak dan kapasitas angkut yang besar sekaligus memiliki *top speed* yang tinggi pada lintasan *on-road*. Hal ini hanya akan dapat dipenuhi jika sistem transmisi kendaraan memiliki dua overall ratio yang dapat dipilih sesuai dengan kondisi lintasan yang ditempuh. Overall ratio sistem transmisi ditentukan oleh rasio

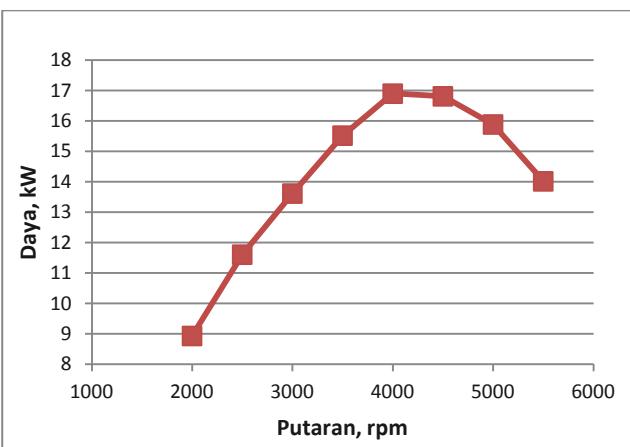
clutch, rasio gearbox, dan rasio final drive. Pada penilitian ini Kendaraan Multiguna Pedesaan menggunakan gearbox sudah fit-in dengan engine sehingga modifikasi pada clutch dan gearbox membutuhkan usaha dan biaya yang besar ditambah dengan mekanisme pergantian overall ratio yang lebih rumit. Pergantian overall ratio dapat dilakukan dengan modifikasi pada final drive, yaitu putaran input dari gearbox dapat diteruskan ke roda penggerak dengan dua rasio yang berbeda yang dapat dipilih. Oleh karena itu, pada penelitian ini dikaji pengaruh rasio final drive terhadap kinerja kendaraan untuk menentukan nilai rasio final drive yang tepat untuk modus off-road dan juga on-road.

Metode

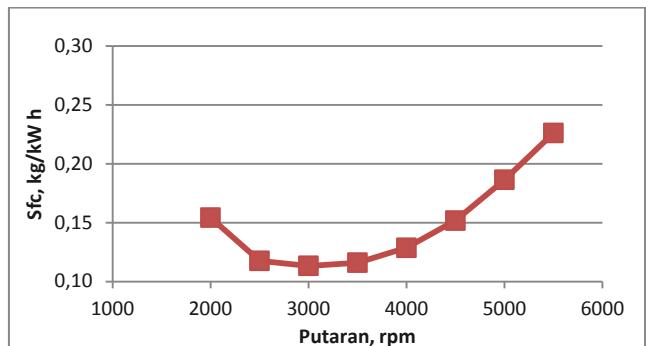
Daya keluaran engine dan roda penggerak diukur untuk dijadikan dasar perhitungan kinerja kendaraan, seperti ditunjukkan pada gambar 1, 2 dan 3.



Gambar 1. Data pengukuran daya di roda penggerak.

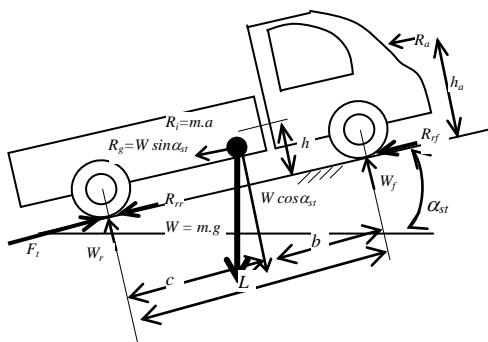


Gambar 2. Data pengukuran daya di engine.



Gambar 3. Data pengukuran konsumsi bahan bakar engine.

Dinamika kendaraan yang dimodelkan seperti pada gambar 4 digunakan untuk mendapatkan persamaan kebutuhan gaya dorong kendaraan.



Gambar 4. Data pengukuran daya di roda penggerak.

Gaya dorong pada roda penggerak harus dapat melawan semua gaya hambat kendaraan yang dirumuskan sebagai berikut,

$$F_t = (R_{rf} + R_{rr}) + R_a + R_g + R_i \quad (1.1)$$

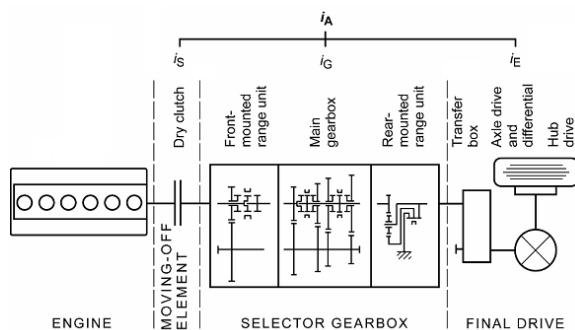
Dimana R_r , R_a , R_g , dan R_i masing-masing adalah gaya hambat rolling, gaya hambat aerodinamik, gaya hambat tanjakan, dan gaya inersia akibat percepatan kendaraan yang dirumuskan sebagai berikut,

$$R_r = m \cdot g \cdot f_r \cdot \cos \alpha_{st} \quad (1.2)$$

$$R_a = 0.5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot v^2 \quad (1.3)$$

$$R_g = m \cdot g \cdot \sin \alpha_{st} \quad (1.4)$$

$$R_i = m \cdot a \quad (1.5)$$



Gambar 5. Susunan sistem transmisi Kendaraan Multiguna Pedesaan.

Overall ratio sistem transmisi dapat diperoleh melalui hubungan kinematik dari komponen sistem transmisi, seperti ditunjukkan pada gambar 5, sebagai berikut,

$$i_A = i_s \cdot i_g \cdot i_E = \frac{n_s}{n_e} \cdot \frac{n_g}{n_s} \cdot \frac{n_E}{n_g} \cdot \frac{3.6 \cdot 2\pi}{60} \cdot r_{dyn} \quad (1.6)$$

Daya terukur pada roda penggerak dapat dirubah menjadi gaya dorong dengan persamaan berikut,

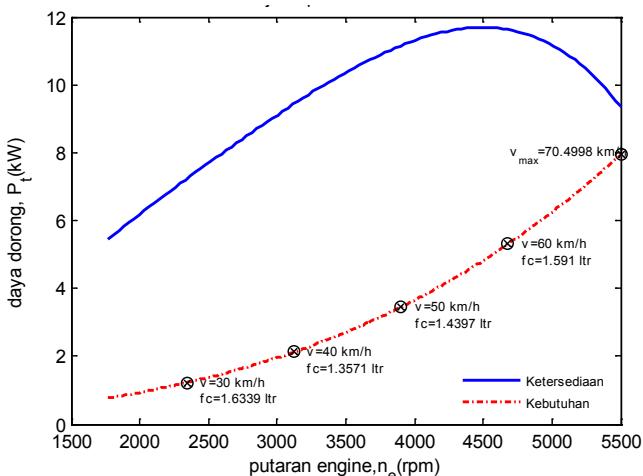
$$F_t = \frac{P_t}{v} \quad (1.7)$$

Konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan *specific fuel consumption* (sfc), yang diperoleh dari data pengukuran, menggunakan persamaan berikut,

$$b_s = b_e \cdot P_t(n_M)/\rho_{fuel} \cdot v \quad (1.8)$$

Hasil dan Pembahasan

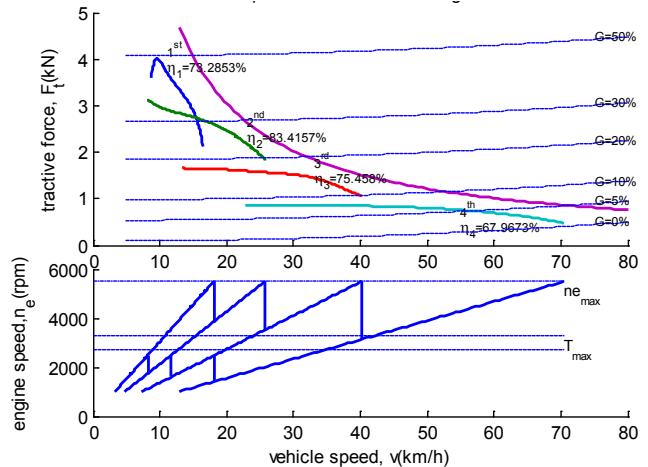
Sebelum dimodifikasi, overall ratio sistem transmisi adalah sebesar 8,2 pada posisi top gear. Dengan overall ratio tersebut, kendaraan dapat melaju dengan kelajuan maksimal 70 km/jam pada putaran engine maksimal, yaitu 5500 rpm seperti yang ditunjukkan oleh gambar 6. Konsumsi bahan bakar paling irit, 1,4 liter per 25 kilometer dicapai pada rentang kelajuan operasional yang rendah antara 40 hingga 50 km/jam. Pada putaran maksimal engine masih terdapat sisa daya engine, namun pada putaran ini kendaraan tidak dapat dipercepat lagi. Selisih daya yang besar antara ketersediaan dengan kebutuhan sepanjang rentang putaran operasional engine dapat digunakan untuk mempercepat laju kendaraan atau mengangkut muatan yang lebih berat.



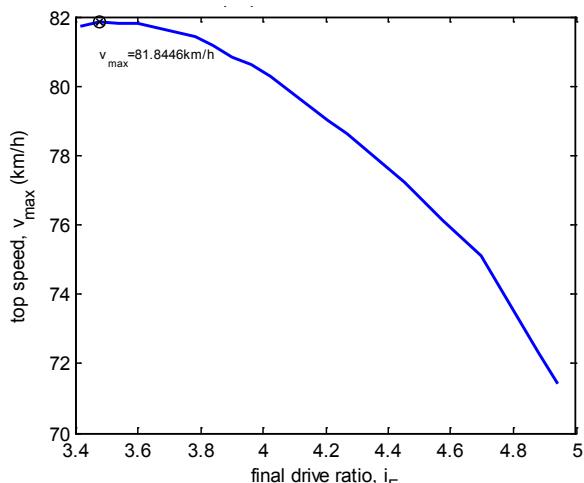
Gambar 6. Kinerja top gear pada sistem transmisi sebelum dimodifikasi.

Gaya dorong kendaraan dengan sistem transmisi mula, seperti yang ditunjukkan gambar 7, menghasilkan kemampuan tanjakan maksimum hingga 50% dalam kondisi kosong tanpa muatan. Selisih traksi yang besar terjadi pada tingkat transmisi kedua, ketiga, dan keempat yang mengakibatkan perpindahan pada ketiga tingkat transmisi tersebut akan menghasilkan

perubahan gaya dorong yang mendadak sehingga mengurangi kenyamanan ke arah longitudinal kendaraan. Sebaran profil kecepatan tiap tingkat transmisi bersifat progresif dimana top gear memiliki rentang kecepatan operasional yang lebih panjang dibandingkan tingkat transmisi yang lebih rendah. Hal ini mengisyaratkan bahwa kendaraan dirancang untuk beroperasi lebih sering pada top gear untuk mencapai nilai ekonomis tanpa mengabaikan kinerja kendaraan. Dengan lebih sering beroperasi pada top gear, kebisingan dan keausan sistem transmisi bisa dikurangi sehingga meningkatkan keandalan dan umur sistem transmisi. Lebih dari itu, konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit. Perpindahan tingkat transmisi tidak mengalami masalah karena torsi saat pemindahan terjadi tidak berada di bawah torsi maksimal engine sehingga tidak akan terjadi kehilangan gaya dorong (*stall*) yang dapat membahayakan pengemudi.



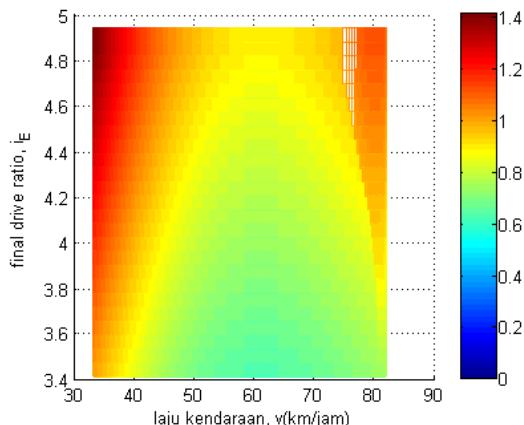
Gambar 7. Kinerja traksi dan sebaran kecepatan tiap tingkat rasio transmisi.



Gambar 8. Pengaruh final drive ratio terhadap kelajuan maksimal yang dapat dicapai kendaraan.

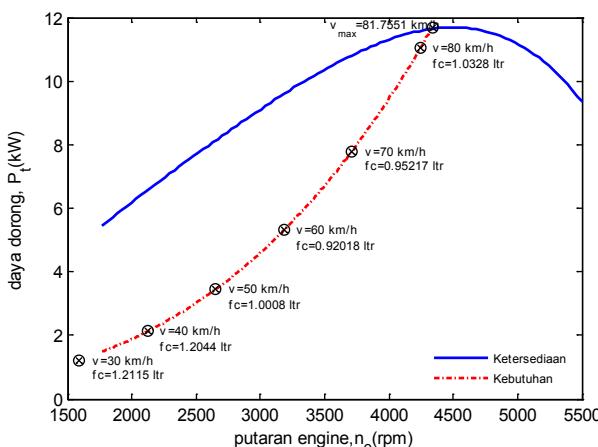
Kelajuan maksimal kendaraan dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan sisa daya yang ada. Hal ini dilakukan dengan memperkecil overall ratio hingga diperoleh nilai kecepatan maksimal yang paling tinggi

seperti ditunjukkan oleh gambar 8. Kelajuan maksimal kendaraan yang mungkin dicapai dengan daya engine yang tersedia adalah sebesar 82 km/jam pada rasio final drive 3,5 atau overall ratio sebesar 5,74.



Gambar 9. Pengaruh perubahan rasio final drive terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan (top gear).

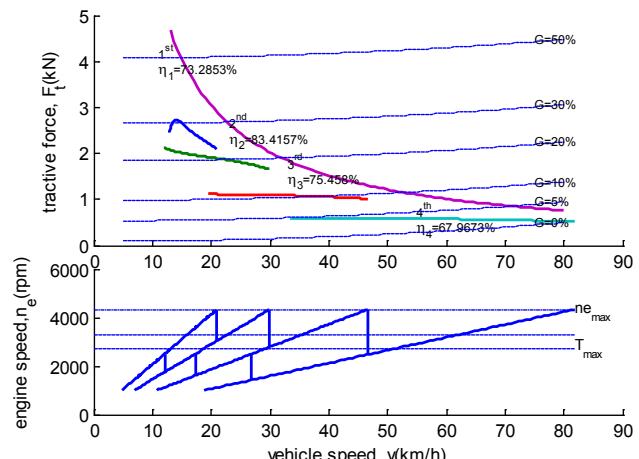
Perubahan rasio final drive tersebut, selain berpengaruh pada kelajuan maksimal kendaraan juga berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan seperti ditunjukkan pada gambar 9. Dengan menurunkan rasio final drive, konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit. Konsumsi bahan bakar paling irit diperoleh pada rasio final drive 3,4, yaitu sebesar 0,6 liter per 25 kilometer. Lebih dari itu, rentang kelajuan operasional dengan konsumsi bahan bakar yang irit menjadi lebih lebar antara 50 hingga 70 km/jam. Namun, pada rasio final drive ini kelajuan maksimal kendaraan sedikit turun menjadi 80 km/jam, seperti ditunjukkan pada gambar 8. Penurunan kelajuan maksimal kendaraan ini tidak berarti jika dibandingkan dengan perbaikan konsumsi bahan bakar dan rentang kelajuan operasional yang irit bahan bakar.



Gambar 10. Kinerja top gear dengan rasio final drive 3,4.

Sebelum menggunakan rasio final drive di atas, perlu dilakukan kajian terhadap kinerja top gear dan gaya dorong kendaraan pada rasio final drive tersebut.

Seperti ditunjukkan oleh gambar 10, perubahan rasio final drive menggeser kelajuan maksimal kendaraan sehingga berhimpit dengan daya maksimal engine. Hal inilah yang memungkinkan laju maksimal kendaraan meningkat. Rentang kelajuan operasional yang irit bahan bakar juga semakin lebar, bahkan kendaraan bisa menjelajah lintasan sejauh 25 kilometer dengan bahan bakar tidak lebih dari 1 liter pada rentang kelajuan operasional 50 hingga 80 km/jam. Kinerja ini sangat sesuai dengan peruntukan Kendaraan Multiguna Pedesaan saat melaju pada lintasan on-road untuk mengangkut barang dari desa ke kota. Meskipun demikian, rasio final drive yang lebih rendah mengakibatkan berkurangnya gaya dorong kendaraan sehingga kemampuan tanjakan maksimal hanya mencapai 30% seperti ditunjukkan pada gambar 11. Bahkan, pada kelajuan maksimal di posisi top gear, kendaraan hanya bisa melaju pada jalan yang benar-benar rata tanpa tanjakan. Sebaran kecepatan kendaraan lebih lebar untuk tiap tingkat transmisi, namun pada saat pemindahan tingkat transmisi dari empat ke tiga, torsi yang dihasilkan berada di bawah torsi maksimal engine sehingga dapat mengakibatkan kehilangan gaya dorong (stall) yang dapat membahayakan pengendara. Hal ini dapat diatasi dengan merubah rasio gearbox pada tingkat yang ketiga.



Gambar 11. Kinerja gaya dorong dan sebaran kelajuan kendaraan dengan rasio final drive 3,4.

Nilai efisiensi transmisi yang diperoleh dengan membandingkan daya pengukuran di roda penggerak dengan daya keluaran engine tidak mengalami perubahan akibat perubahan rasio final drive. Namun, pada aplikasi final drive dengan dua rasio yang dapat dipilih, nilai efisiensi ini harus diperhitungkan ulang dengan pengukuran daya di roda penggerak.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa kinerja kendaraan dengan rasio final drive 5 dapat disimpulkan bahwa,

kendaraan semula dirancang untuk bekerja di medan berat. Rancangan awal kendaraan ini lebih sesuai untuk beroperasi di lintasan pedesaan yang lebih memerlukan gaya dorong dibandingkan kelajuan, meskipun dengan konsumsi bahan bakar yang lebih boros, yaitu 1,4 liter untuk jarak jelajah 25 kilometer. Namun, Kendaraan Multiguna Pedesaan ini juga dapat ditingkatkan kelajuan maksimalnya hingga 80 km/jam dengan konsumsi bahan bakar yang lebih irit hingga 0,6 liter untuk jarak jelajah 25 kilometer dengan rentang kelajuan operasional yang irit bahan bakar lebih lebar. Perbaikan ini dicapai dengan rasio final drive 3,4. Kedua rasio final drive tersebut akan digunakan peneliti sebagai dasar perancangan sistem transmisi multiguna yang memungkinkan pengemudi untuk memilih antara modus off-road atau on-road. Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar strategi pemindahan gigi yang optimal untuk penerapan *Automated Manual Transmission* (AMT).

Nomenklatur

b	jarak titik berat (cog) dari poros depan (m)
c	jarak cog dari poros belakang (m)
L	jarak poros (wheelbase) kendaraan (m)
h	tinggi titik pusat gravitasi dari lintasan (m)
h_a	tinggi titik kerja hambatan angin (m)
α_{st}	sudut tanjakan ($^{\circ}$)
W	berat total kendaraan (n)
W_f, W_r	berat kendaraan pada poros depan, dan belakang (n)
R_{rf}, R_{rr}	hambatan rolling pada roda depan dan belakang (n)
R_g	hambatan tanjakan/gradient (n)
R_a	hambatan angin/aerodinamik (n)
R_i	hambatan inersia (n)
F_t	gaya dorong/traksi (n)
f_r	koefisien hambat rolling
C_d	koefisien hambat angin/drag
ρ	rapat massa udara (kg/m^3)
A_f	luas penampang frontal (m^2)
v	kecepatan kendaraan (m/s)
a	percepatan kendaraan (m^2/s)
$i_s = 1.6$	ratio moving-off komponen
i_g	ratio gearbox masing-masing tingkat
i_E	ratio final drive (m)
n_e	putaran poros crankshaft (rpm)
n_s	putaran poros moving-off elemen (rpm)
n_g	putaran poros gearbox (rpm)
n_E	putaran poros roda penggerak (rpm)
$P_{req}(n_M)$	Daya engine yang dibutuhkan pada kecepatan tertentu (kW)
ρ_{fuel}	Rapat massa bahan bakar (gr/ltr)
v	Kecepatan kendaraan
b_e	Konsumsi bahan bakar spesifik engine (gr/kWh)
b_s	Konsumsi bahan bakar per jarak tempuh (ltr/km)

Referensi

- Serrarens, A.F.A., et all. Control of flywheel assisted driveline with continuously variable transmission, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 125(3), 455-461 (2003)
- Park, D.H., et all. Theoretical investigation on automatic transmission efficiency, electronic transmission control, SAE 960426 (1996).
- Kluger, M.A., Long, D.M. An overview of current automatic manual and continuously variable transmission efficiencies and their projected future improvement, SAE Technical Paper, 1999-01-1259 (1999).
- Yohanes, Analisa Kinerja Sistem Penyalur Daya Kendaraan Pedesaan Multiguna 650 cc, Seminar Nasional Pasca Sarjana ITS, Vol. 12 (2012).
- Naunheimer, H. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application, 2nd edition. Springer: p. 73–75 (2011).
- Keiji, N, et all. Development of a new manual transmission. JSME Review, 23(4): p. 513–518 (2002).
- Gott, P.G. Changing Gears: The Development of the Automotive Transmission. SAE (1991).