

**KARAKTERISTIK TRAKSI DAN KINERJA TRANSMISI
PADA SISTEM GEAR TRANSMISSION DAN GEARLESS TRANSMISSION**

I G N P Tenaya dan I Ketut Adi Atmika
Staf pengajar PST. Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana

ABSTRAK

Kebutuhan akan sarana transportasi yang dapat menunjang kelancaran arus lalu lintas belakangan ini telah meningkat dengan pesat. Hal ini mengakibatkan dibutuhkan kendaraan-kendaraan dengan karakteristik mesin yang mampu menghasilkan traksi yang besar untuk dapat memberikan percepatan pada kendaraan.

Untuk mendapatkan karakteristik traksi yang lebih baik, akan dicoba dengan melakukan analisa terhadap kendaraan yang dimodifikasi sistem driveline, khususnya sistem transmisinya dengan metode Progresi Geometri. Analisa juga dilakukan untuk sistem tanpa gigi (gearless), kemudian dilihat karakteristiknya.

Dari analisa yang dilakukan, modifikasi terhadap sistem transmisi baik sistem gear maupun gearless memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan kendaraan pada kondisi standarnya.

1. PENDAHULUAN

Sistem transmisi adalah salah satu komponen penting pada sistem drive train, yang fungsi utamanya adalah mentransmisikan atau mentransformasikan torsi yang keluar dari mesin sampai ke torsi yang terjadi pada roda penggerak. Ratio transmisi berpengaruh terhadap besarnya torsi yang dapat ditransmisikan, sedangkan jumlah tingkat kecepatannya berpengaruh terhadap kehalusan (smoothness) proses transmisi dan transformasi daya pada sistem transmisi tersebut.

Sistem transmisi dengan roda gigi mempunyai batas range ratio dan jumlah tingkat kecepatan yang terbatas juga. Batas ini berpengaruh besar terhadap performan traksi kendaraan. Disamping faktor getaran (noise) yang ditimbulkan, juga kehilangan energi yang lebih besar dibandingkan dengan type gearless transmission.

2. METODE

2.1. Traksi Pada Kendaraan

Karakteristik traksi pada kendaraan bermotor pada pokoknya meliputi kemampuan kendaraan untuk dipercepat, dan mengatasi hambatan-hambatan yang terjadi, diantaranya hambatan rolling (rolling resistance), hambatan tanjakan, juga hambatan aerodinamis. Dari konsep gaya inerti, diturunkan persamaan traksi dan secara umum dituliskan :

$$F = R_a + R_r + R_d + R_g + \frac{W}{g} \cdot a \dots\dots\dots(1)$$

- dimana :
- F= total gaya traksi yang dibutuhkan
- R_a = hambatan aerodinamis
- R_r= Rolling resistance
- R_d = hambatan karena menarik beban
- R_g = hambatan tanjakan.
- W = berat total kendaraan

- a = percepatan kendaraan
- g = percepatan gravitasi

2.2. Hambatan Aerodinamis

Apabila ada suatu benda yang bergerak dalam suatu media fluida atau sebaliknya, fluida yang bergerak melewati suatu benda akan mengalami gaya-gaya yang bekerja padanya. Demikian juga halnya dengan kendaraan yang bergerak dalam udara atmosfer juga dipengaruhi adanya interaksi antara mobil dengan jalan, akan mengalami gaya-gaya aerodinamika, yang besarnya tergantung pada kecepatan relatif antara udara dan benda itu sendiri.

Komponen gaya-gaya aerodinamis adalah gaya hambat aerodinamis (F_d), gaya angkat aerodinamis (F_L), dan gaya samping aerodinamis (F_s), dimana rumusannya adalah :

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_f \cdot C_d \cdot V^2$$

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_f \cdot C_L \cdot V^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_f \cdot C_s \cdot V^2$$

- dimana :
- ρ = densitas udara
- A_f = luasan frontal kendaraan
- V = kecepatan relatif antara angin dan kendaraan
- C_d, C_L, C_s = koefisien-koefisien aerodinamis

Sedangkan komponen momen aerodinamis adalah momen rolling aerodinamis (M_R), momen yawing aerodinamis (M_Y), momen pitching aerodinamis (M_P), yang rumusannya adalah sebagai berikut :

$$M_R = -F_s \cdot z_c + F_L \cdot y_c$$

$$M_Y = F_s \cdot x_c + F_d \cdot y_c \dots\dots\dots(3)$$

$$M_P = -F_d \cdot z_c - F_L \cdot x_c$$

dimana x_c , y_c , dan z_c adalah posisi CP (Center of Pressure) terhadap CG (Center of Gravity).

Dalam permasalahan traksi kendaraan, kontribusi terbesar dalam hambatan aerodinamis adalah dari gaya drag atau gaya hambat.

2.3. Rolling Resistance

Rolling resistance adalah gaya hambatan yang timbul akibat terjadinya defleksi pada ban yang berputar. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi rolling resistance, diantaranya konstruksi ban, kondisi permukaan jalan, tekanan ban, temperatur operasi ban, diameter dari ban dan juga gaya traksi itu sendiri.

Hubungan yang kompleks antara desain parameter dan operasional parameter dari ban diatas terhadap rolling resistance, membuat sangat sulit untuk memprediksi besar dari rolling resistance secara analitis, sehingga harga rolling resistance didapatkan dari eksperimen.

Berdasarkan hasil-hasil eksperimen, beberapa rumusan diajukan untuk menghitung koefisien rolling resistance (f_r) pada permukaan jalan keras. Sebagai contoh, untuk kendaraan penumpang pada jalan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f_r = f_0 + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- V = kecepatan kendaraan (km/h)
- f_0 , f_s = koefisien-koefisien yang tergantung dari tekanan ban

Untuk tekanan ban 26 psi, perumusan diatas dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$f_r = 0,01 \left[1 + \frac{V}{160} \right] \dots\dots\dots(5)$$

Dalam beberapa hal juga, pengaruh kecepatanpun dapat diabaikan dan harga rata-rata f_r dapat dipakai untuk beberapa permukaan jalan. Kemudian rolling resistance dirumuskan sebagai berikut :

$$R_r = f_r \times N \dots\dots\dots(6)$$

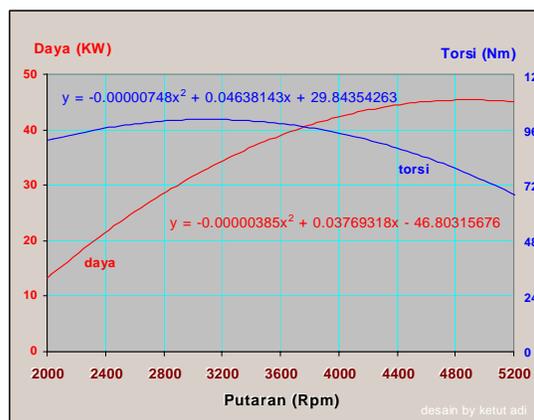
dimana N adalah gaya normal pada ban (roda penggerak).

2.4. Transmisi Pada Kendaraan Bermotor

Untuk pemakaian pada kendaraan bermotor, karakteristik daya guna ideal dari sumber tenaga penggeraknya adalah dihasilkan tenaga yang konstan

pada semua tingkat kecepatan. Dengan tersedianya tenaga yang konstan tersebut, pada kecepatan yang rendah akan tersedia torsi yang cukup besar, akan dipergunakan untuk menghasilkan traksi yang cukup pada ban untuk mempercepat kendaraan. Dengan bertambahnya kecepatan, torsi mesin akan menurun secara hiperbolis. Hal ini sesuai dengan kebutuhan traksi pada kendaraan, dimana pada kecepatan yang cukup tinggi, kebutuhan traksi tidak lagi besar.

Kemudian secara khusus untuk kendaraan Toyota Kijang, grafik putaran mesin vs daya, dicuplikan seperti gambar 1 dibawah.



Gambar 1. Karakteristik Daya-Torsi kendaraan Toyota Kijang tahun 1997

2.5. Sistem Driveline Kendaraan

Untuk memindahkan daya (power) dari putaran mesin ke roda penggerak diperlukan suatu mekanisme tertentu. Mekanisme yang digunakan untuk memindahkan daya dari motor hingga ke roda penggerak tersebut dinamakan Sistem Transmisi Daya atau Sistem Driveline.

Secara umum rangkaian mekanisme yang digunakan untuk memindahkan daya dari motor ke roda penggerak yang terdiri dari komponen kopling, gear box, poros propeler dan differensial.

Dalam sistem driveline akan terjadi losses atau kerugian yang disebabkan oleh gesekan yang terjadi antar gigi pada roda gigi, gesekan pada bantalan, juga akibat tahanan minyak pelumas. Berikut ini adalah harga efisiensi yang biasa untuk beberapa komponen sistem drive line.

- ◆ Kopling: 99%
- ◆ Tiap pasangan roda gigi : 95-97 %
- ◆ Bantalan dan sambungan: 98-99%

Bila suatu sistem drive train dikarakteristikan dengan parameter-parameter efisiensi sistem driveline (η_i) dan perbandingan gigi reduksi (i), maka traksi pada roda penggerak dapat dirumuskan :

$$F_k = \frac{M_e(v) \cdot i_k \cdot i_d}{r} \eta_t \dots\dots\dots(7)$$

dimana :
 F_k = gaya traksi pada tingkat ke- k (N)
 M_e = torsi mesin untuk kecepatan v (Nm)
 r = jari-jari roda penggerak (m)
 i_k = ratio roda gigi ke-k.
 i_d = ratio roda gigi differensial

Kemudian hubungan antara kecepatan kendaraan dan kecepatan putaran mesin adalah :

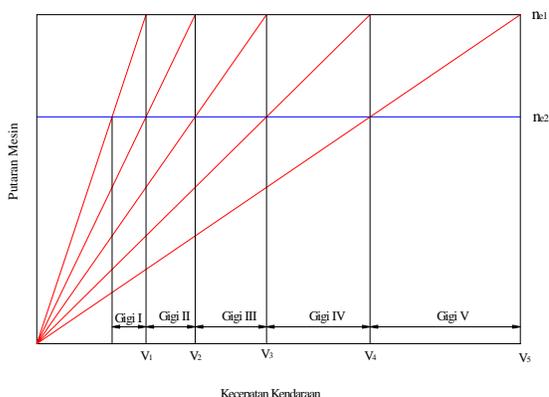
$$V = \frac{n_e \cdot r}{i_d \times i_k} (1 - s) \dots\dots\dots(8)$$

dimana :
 V = Kecepatan kendaraan (m/s)
 s = Koefisien slip pada ban (2-5 %)
 n_e = kecepatan putar mesin (rad/s)

2.6. Metoda Progresi Geometri

Dalam perhitungan awal, ratio gigi antara yang tertinggi dan terendah dapat dicari dengan menggunakan hukum Progresi Geometri. Dasar dari metoda ini adalah batas kecepatan operasi dari mesin terendah (n_{e1}) dan tertinggi (n_{e2}) harus ditentukan lebih dahulu. Penetapan ini berdasarkan karakteristik torsi dari mesin, biasanya dipilih disekitar torsi maksimum mesin.

Konsep dari metode progresi geometris, ditunjukkan seperti gambar 2 dibawah :



Gambar 2. Pemilihan ratio gigi dengan progresi geometri

Sistem dengan n jumlah tingkat kecepatan, hubungannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{i_3}{i_2} = \dots\dots\dots \frac{i_n}{i_{n-1}} = \frac{n_{e2}}{n_{e1}} = Kg \dots\dots\dots(9)$$

Pada umumnya ratio gigi awal dan ratio

terakhir roda gigi diketahui, dan jumlah tingkat kecepatan (n) ditentukan, maka faktor Kg dapat ditentukan :

$$Kg = \left(\frac{i_n}{i_1}\right)^{\frac{1}{n-1}} \dots\dots\dots(10)$$

Ratio gigi pada tingkat transmisi I dapat dihitung dengan rumus :

$$i_1 = \frac{F_1 \cdot r}{M_e \cdot i_d \cdot \eta_t} \dots\dots\dots(11)$$

Kemudian Ratio pada tingkat gigi terakhir (n) dirumuskan sebagai berikut :

$$i_n = \frac{F_n \cdot r}{M_e \cdot i_d \cdot \eta_t} \dots\dots\dots(12)$$

3. HASIL DAN ANALISIS

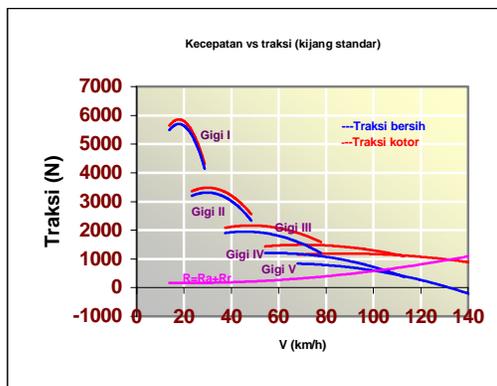
Berdasarkan data teknis kendaraan kijang standar dibuat karakteristik traksi dan kinerja transmisinya. Analisa dan perhitungan dilakukan :

- ◆ pada kondisi jalan datar
- ◆ karakteristik daya dan torsi diambil pada gambar 1
- ◆ kecepatan (V) dihitung dengan persamaan (8)
- ◆ traksi (F_k) dihitung dengan persamaan (7)
- ◆ beban angin yang diperhitungkan hanya gaya drag, dihitung dengan persamaan (2)
- ◆ rolling resistance dihitung dengan persamaan (6) dengan mengambil fr sebagai fungsi kecepatan (persamaan (4)).

Hasil perhitungan dan grafik kecepatan vs traksi disajikan gambar 3 dibawah.

Perancangan Karakteristik Traksi

Ratio dari roda gigi akhir (terendah) ditentukan oleh kecepatan maksimum kendaraan yang akan dirancang. Sedangkan traksi maksimum atau tanjakan maksimum menentukan besar ratio roda gigi awal (tertinggi). Kemudian ratio diantara kedua batas tersebut dibuat sedemikian rupa agar traksi yang dihasilkan kendaraan dapat mendekati karakteristik idealnya.



Gambar 3. Karakteristik kinerja transmisi kijang standar

Penentuan Ratio Gigi awal

Pada gigi awal hambatan yang bekerja pada kendaraan adalah rolling resistance dan gaya inersia, sedangkan hambatan aerodinamis diasumsikan berharga nol karena kecepatan kendaraan masih rendah, sehingga daya yang dibutuhkan dihitung untuk mengatasi gaya-gaya hambatan tersebut.

Dari data daya maksimum mesin, dan mengambil atau memperkirakan sepanjang driveline terjadi kerugian sebesar 9,5 %, maka daya maksimum pada roda penggerak adalah ;

$$P_{mak} = \eta_T \cdot P_e = 0.905 \cdot 47 \text{ KW} = 42,535 \text{ KW}$$

Untuk ratio gigi I (awal), dirancang dengan mempertimbangkan percepatan yang ingin dicapai pada ratio gigi awal tersebut. Sebagai acuan bisa dipakai daya maksimum pada roda penggerak diatas, dengan memisalkan akan dicapai pada kecepatan 30 km/jam, sehingga :

$$P_{mak} = R_r \cdot V + \frac{W}{g} \cdot a \cdot V$$

Dari persamaan (4), $f_r = 0.0123$, sehingga :

$$42535 = 0,0123 \times 13030 \times 8,33 + \frac{13030}{9,8} \times a \times 8,33$$

$$a = 3,72 \text{ m/s}^2$$

Kemudian dari persamaan (1) :

$$F = W \left(f_r + \frac{a}{g} \right)$$

$$F = 13030 \times \left(0,0123 + \frac{3,72}{9,8} \right)$$

$$F = 5104,2 \text{ N}$$

Traksi yang mampu ditahan bidang kontak antara ban dan jalan (jalan datar) adalah :

$$F_{max} = \mu \cdot W_r$$

$$F_{max} = 5241,58 \text{ N}$$

Melihat keadaan traksi maksimal yang terjadi pada roda penggerak lebih kecil dari gaya maksimal yang mampu ditahan oleh bidang kontak antara ban dan jalan, maka roda penggerak tidak akan slip. Sehingga dari pers (11), ratio pada tingkat transmisi I adalah

$$i_1 = \frac{5104,2 \times 0,295}{110,74 \times 4,777 \times 0,905} = 3,145$$

Ratio Roda Gigi Akhir

Ratio roda gigi akhir dirancang berdasarkan kecepatan maksimum kendaraan yang diharapkan bisa dicapai. Untuk kasus ini misalkan kecepatan tersebut adalah 140 km/jam

$$F_m = R_r + R_a$$

Dari pers (2), (4), dan (6) didapat : $R_r = 337,67 \text{ N}$, $R_a = 996,19 \text{ N}$

Sehingga :

$$F_m = 337,67 + 996,19$$

$$F_m = 1333,86 \text{ N}$$

Selanjutnya dari pers (12), ratio gigi akhir adalah;

$$i_n = \frac{1333,86 \times 0,295}{110,74 \times 4,777 \times 0,905}, i_n = 0,822$$

Kemudian ratio roda gigi diantara kedua batas dicari dengan menghitung besarnya K_g untuk jumlah tingkat kecepatan yang ingin dirancang. Misalkan dilakukan untuk pemasangan 4, 5, dan 6 tingkat kecepatan. Memamfaatkan persamaan (9), harga K_g dan i_k dapat dihitung.

♦ Pemasangan 4 tingkat kecepatan :

$$K_g = \left(\frac{0,822}{3,145} \right)^{\frac{1}{4-1}}, K_g = 0,639$$

Sehingga ;

$$i_2 = K_g \times i_1 = 0,639 \times 3,145 = 2,011$$

$$i_3 = K_g \times i_2 = 0,639 \times 2,011 = 1,286$$

♦ Pemasangan 5 tingkat kecepatan

$$K_g = \left(\frac{0,822}{3,145} \right)^{\frac{1}{5-1}}, K_g = 0,715$$

Sehingga ;

$$i_2 = K_g \times i_1 = 0,715 \times 3,145 = 2,249$$

$$i_3 = K_g \times i_2 = 0,715 \times 2,249 = 1,608$$

$$i_4 = Kg \times i_3 = 0,715 \times 1,608 = 1,150$$

◆ Pemasangan 6 tingkat kecepatan

$$Kg = \left(\frac{0,822}{3,145} \right)^{\frac{1}{6-1}}, Kg = 0,765$$

Sehingga ;

$$i_2 = Kg \times i_1 = 0,765 \times 3,145 = 2,401$$

$$i_3 = Kg \times i_2 = 0,765 \times 2,401 = 1,839$$

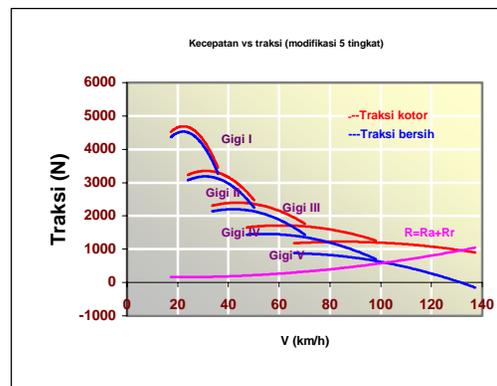
$$i_4 = Kg \times i_3 = 0,765 \times 1,839 = 1,406$$

$$i_5 = Kg \times i_4 = 0,765 \times 1,406 = 1,075$$

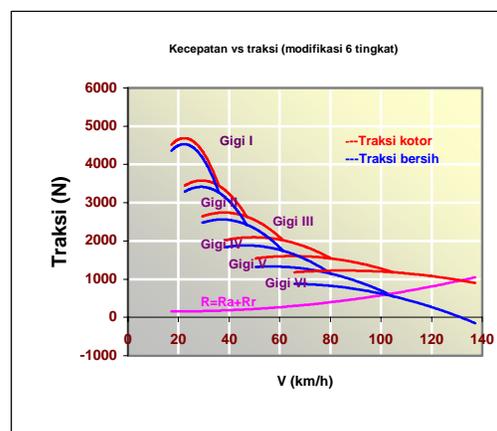
Analisa dan perhitungan untuk masing-masing tingkat kecepatan diatas dilakukan dengan asumsi dan langkah-langkah yang sama dengan analisa pada kijang standar diatas.

Hasil perhitungan dan grafik karakteritik traksi pada masing-masing tingkat kecepatan tersebut ditampilkan gambar 4, gambar 5, dan gambar 6.

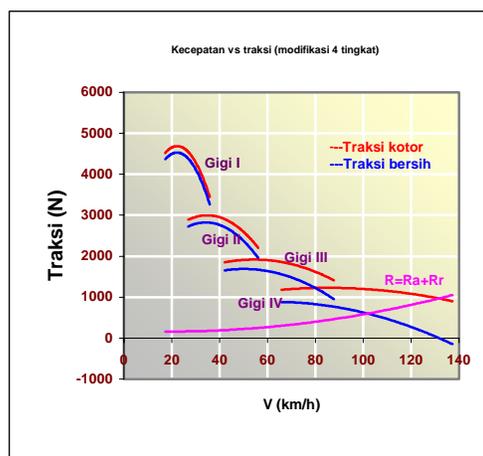
Sedangkan karakteristik kinerja traksi pada gearless transmission dengan 10 stages ditampilkan pada gambar 7.



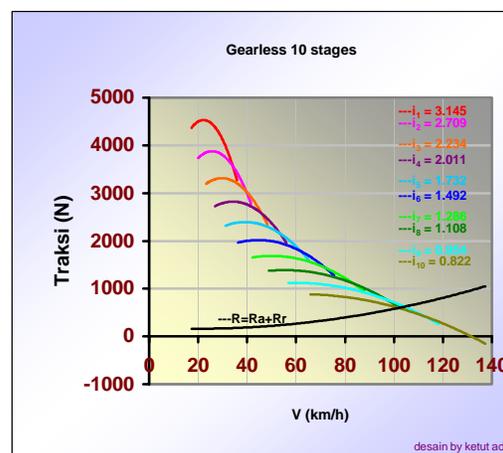
Gambar 5. Karakteristik kinerja transmisi pada 5 tingkat kecepatan



Gambar 6. Karakteristik kinerja transmisi pada 6 tingkat kecepatan



Gambar 4. Karakteristik kinerja transmisi pada 4 tingkat kecepatan



Gambar 7. Karakteristik kinerja transmisi pada gearless transmission 10 stages

3. SIMPULAN

- ◆ Dengan mengubah ratio gigi transmisi kendaraan, maka gaya traksi yang dihasilkan akan bervariasi dan akan berpengaruh pada kemampuan kendaraan dalam melalui kondisi operasi tertentu.
- ◆ Modifikasi ratio gigi transmisi dari standarnya mendapatkan kebutuhan traksi yang lebih kecil untuk kecepatan yang sama, baik pemasangan 4 tingkat, 5 tingkat, maupun 6 tingkat kecepatan.
- ◆ Jarak kurva traksi antara dua ratio gigi menunjukkan besarnya traksi yang tidak terpakai. Dari grafik kinerja transmisi menunjukkan semakin banyak tingkat transmisi, semakin kecil traksi yang terbuang.
- ◆ Karakteristik traksi – kecepatan mendekati karakteristik idealnya pada gearless transmission system dengan 10 stages.

4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Sigit P, I. Nyoman Sutantra, Iwan Fauzan, *Design and Performance of Gearless Variable Transmission Applied for Automotive*, Proc.FISITA 2001, Korea selatan.
- [2] I Nyoman Sutantra, *Teknologi Otomatif, Teori dan Aplikasinya*, Guna Widya 2001
- [3] J.Y. Wong, PhD., *Theory of Ground Vehicles*, Jhon Wiley & Sons Inc.
- [4] Ketut Wira K, *Pengaruh Ratio Gigi terhadap Kemampuan Traksi Toyota Kijang*, Tugas Akhir 1994.