

KINERJA PERILAKU ARAH KENDARAAN DENGAN KONTROL TORSI PADA *CONTINUOUS VARIABLE TRANSMISSION SYSTEM (CVTS)*

I Ketut Adi Atmika

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email : tutadi2001@yahoo.com, tutadi@me.unud.ac.id

Abstrak

Peningkatan kinerja perilaku arah kendaraan menjadi perhatian penting dalam perancangan sistem chasis kendaraan. Berkaitan dengan ini beberapa sistem kontrol sudah diaplikasikan, diantaranya adalah dengan menambahkan sistem kontrol pengereman (*single dan multicontrol* ABS), sistem kontrol traksi dengan kontrol pembukaan katup *trottle* dan intervensi pengereman. Sedangkan disini akan dibahas sistem kontrol traksi/torsi roda penggerak dengan *Continuously Variable Transmission (CVT)*. Sistem kontrol pengereman dan sistem kontrol traksi ini berpegangan pada setting point ratio slip pada kondisi pengereman/percepatan optimum. Makalah ini akan menjelaskan analisa kinerja perilaku arah kendaraan dari sistem kontrol torsi roda penggerak dengan CVT menggunakan simulasi komputer. Untuk proses simulasi dibuat model kendaraan secara lengkap dengan input kondisi dan parameter operasi dimana sistem itu bekerja, dengan setting point ratio slip (λ) pada koefisien gesek longitudinal yang bervariasi. Analisa stabilitas difokuskan pada perilaku gerakan belok kendaraan. *Yaw* respon dibandingkan dengan *yaw ackermannya*, untuk mendapatkan gambaran kinerja perilaku arah kendaraan. Respon kontrol traksi dibandingkan dengan respon kontrol pengereman. Hasil simulasi menunjukkan pada kecepatan yang cukup tinggi yaitu 80 km/jam sistem kontrol traksi dengan CVT masih bekerja dengan baik, sedangkan kontrol pengereman pada kecepatan diatas 60 km/jam kondisi kendaraan cenderung susah dikendalikan (*oversteer*).

Keywords: Sistem kontrol traksi, CVT, ratio slip (λ), koefisien gesek longitudinal, yaw respon, yaw ackerman

Pendahuluan

Kinerja perilaku arah kendaraan belakangan ini menjadi perhatian serius dalam hal merancang desain dan perlengkapan-perengkapan kendaraan. Dalam hal untuk memperbaiki stabilitas arah kendaraan, baik pada kondisi jalan lurus maupun jalan belok dapat dilakukan dengan berbagai cara atau penambahan alat tertentu, baik secara tersendiri maupun secara bersama-sama atau terintegrasi. Pada kondisi jalan dengan koefisien gesek (μ) yang rendah, ABS mencegah roda lock selama pengereman. Sistem kontrol traksi (TCS) yang ada mencegah roda melintir selama percepatan berlangsung, khususnya pada kondisi jalan lurus. Sistem Kontrol Traksi/Torsi pada roda penggerak dengan CVT dapat dipakai sebagai salah satu alternatif untuk memperbaiki kinerja dan respon kendaraan, bila dioperasikan pada kondisi jalan belok.

Sistem kontrol torsi atau sistem kontrol traksi ini, biasanya dioperasikan secara terintegrasi dengan sistem FWD yang akan memberikan akselerasi tinggi yang berkaitan dengan kestabilan, serta tidak diperlukan pengendalian yang berlebihan.

Disamping itu, pada kondisi belok informasi kecepatan kendaraan (V) dan sudut steer roda depan (δ_f) dan parameter-parameter serta kondisi operasi

bisa digunakan sebagai variabel input untuk sistem kontrol torsi ini, kemudian dianalisa kinerja perilaku arah kendaraan.

Tatsuhiko Abe (1996), melakukan penelitian tentang konsep terbaru sistem kontrol traksi, yaitu dengan HTCS (Hybrid Traction Control System) yang menawarkan kinerja dalam hal memperbaiki TCS dengan EIB (Engine Inertia Brake).

R.M. van Druuten (2000), dalam penelitiannya tentang desain dan aspek konstruksi dari Zero Inertia Continuous Variable Transmission untuk kendaraan penumpang. Dalam desainnya didapatkan efisiensi transmisi dan kebutuhan bahan bakar yang optimum.

B.G. Vroemen, F.E. Veldpaus (2000), dalam papernya "Control of a CVT in a Flywheel Assisted Driveline" bahwa ratio CVT dikontrol untuk mendapatkan kebutuhan ratio gigi yang diinginkan pada efisiensi transmisi maksimum, juga untuk mencegah slip pada belt.

Alex.F.A Serrarens, Frans E.Veldpaus (2000), melakukan penelitian mengenai dua strategi kontrol untuk pembukaan katup engine dan perubahan ratio CVT untuk meningkatkan driveability dan kebutuhan bahan bakar yang ekonomis pada kondisi tertentu.

Nyoman Sutantra, Agus Sigit P, Yunarko Triwinarno, M. Harly (2002), dalam papernya "Improvement of

ABS Performance Trough Application of Yaw Control Index”, bahwa gerakan yawing adalah salah satu parameter kunci dalam menentukan stabilitas arah kendaraan.

Konsep Kontrol Torsi

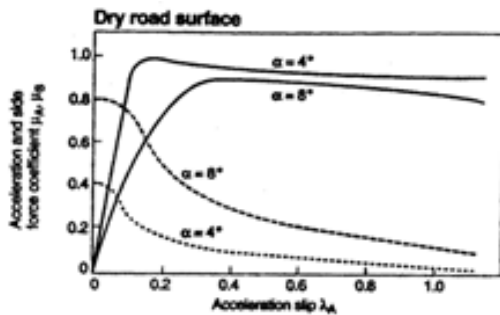
Gaya gesek disebabkan oleh slip yang terjadi diantara roda penggerak dan permukaan jalan. Selama percepatan menimbulkan slip (λ) pada roda-roda tersebut, dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{(r \cdot \omega - V)}{V} \tag{1}$$

dimana :

- V = kecepatan kendaraan (m/s)
- r = jari-jari roda penggerak (m)
- ω = kecepatan angular roda penggerak (rad/s)

Taborek (1970) menghasilkan atau menemukan suatu konsep kontak ban dan jalan yang mengubah suatu konsep pengereman/traktif dan concerning effort yang telah ada. Hasil itu digambarkan di bawah :

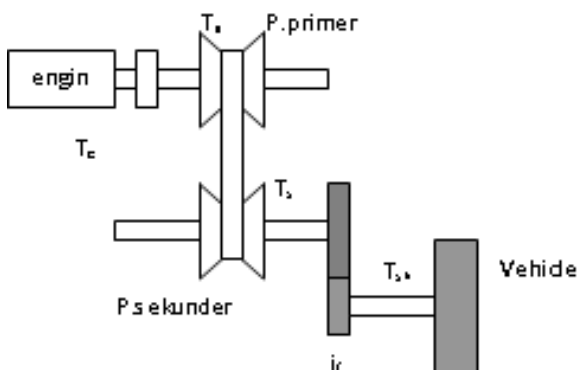


Gambar 1. Koefisien pengereman/ traksi pada α berbeda

Pada prinsipnya konsep ABS sistem dan TCS sistem adalah menjaga slip roda (λ) seperti yang diharapkan (desired range), sehingga mendapatkan kondisi pengereman/acceleration traktif optimum.

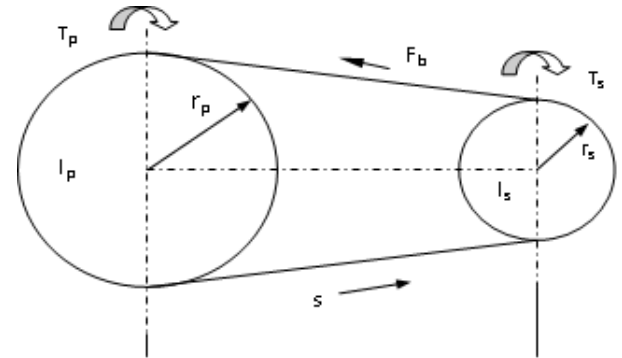
Pemodelan

Model driveline



Gambar 2. Powertrain

CVT



Gambar 3. Torsi dan gaya pada CVT

Dari gambar 3, maka persamaan-persamaan yang berkaitan :

$$\begin{aligned} T_p - T_b + c_p \cdot \dot{\theta}_p &= I_p \cdot \ddot{\theta}_p \\ T_b - T_s + c_s \cdot \dot{\theta}_s &= I_s \cdot \ddot{\theta}_s \\ m_b \cdot \ddot{\theta}_p \cdot r_p + k_b \cdot s &= F_b \end{aligned}$$

- dimana :
- T_p = Torsi pulley primer
 - T_s = Torsi pulley sekunder
 - T_b = Torsi belt
 - I_p = Momen Inersia pulley primer
 - I_s = Momen Inersia pulley sekunder
 - c_p = konstanta redaman primer
 - c_s = konstanta redaman sekunder
 - k_b = kekakuan belt
 - m_b = massa belt

Kemudian dengan memisalkan

$$\begin{aligned} X_1 &= \dot{\theta}_p, \\ X_2 = \dot{\theta}_s, \quad X_3 &= \left(\dot{\theta}_p + \frac{k_b \cdot s}{m_b \cdot r_p} \right) \end{aligned}$$

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= \frac{-c_p}{I_p} \cdot X_1 + \left(\frac{T_b - T_p}{I_p} \right) \\ \dot{X}_2 &= \frac{-c_s}{I_s} \cdot X_2 + \left(\frac{T_s - T_b}{I_s} \right) \\ \dot{X}_3 &= \frac{-k_b}{m_b \cdot r_p} \cdot X_3 + \frac{F_b}{m_b \cdot r_p} \end{aligned}$$

Kemudian ditulis dalam bentuk state space

$$\begin{aligned} \dot{X} &= A \cdot X + Bu \\ y &= C^T \cdot X \end{aligned} \tag{2}$$

Drive shaft

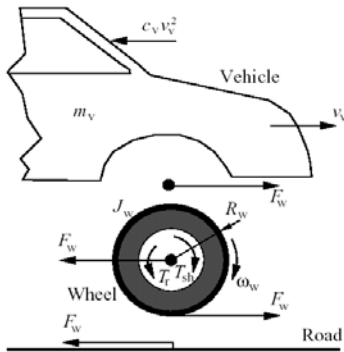
Dari gambar 2. Skema power train dan dengan

penyederhanaan didapatkan torsi pada drive shaft adalah sebagai berikut :

$$T_{sh} = i_f \cdot T_s \tag{3}$$

Wheels

Dinamika roda dan dinamika kendaraan diilustrasikan seperti gambar 4



Gambar 4. Interaksi antara kendaraan, roda dan jalan

Persamaan dinamika roda penggerak tanpa pengereman :

$$\dot{\omega}_w = \frac{T_{sh} - F_w \cdot R_w - T_r}{J_w} \tag{4}$$

- dimana :
- F_w = gaya dorong pada roda penggerak (N)
 - R_w = jari-jari roda penggerak (m)
 - T_r = torsi rolling resistance (Nm)
 - T_{sh} = torsi pada poros roda penggerak (Nm)
 - J_w = Momen Inersia Polar pada roda

Vehicle

Dinamika kecepatan kendaraan adalah hasil dari gaya roda F_w dan hambatan aerodinamis dan dituliskan :

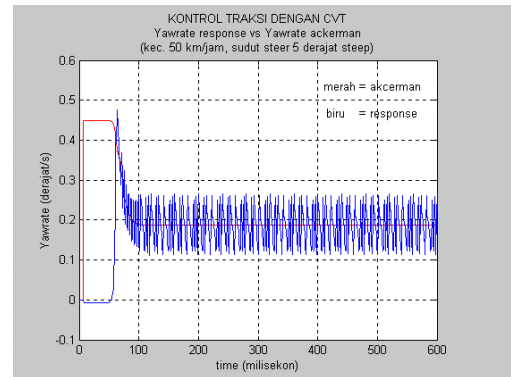
$$\dot{v} = \frac{F_w - c_v \cdot v^2}{m_v} \tag{5}$$

- dimana :
- F_w = gaya dorong pada roda (N)
 - c_v = suatu konstanta aerodinamis
 - v = kecepatan kendaraan (m/s)
 - m_v = massa kendaraan (kg)

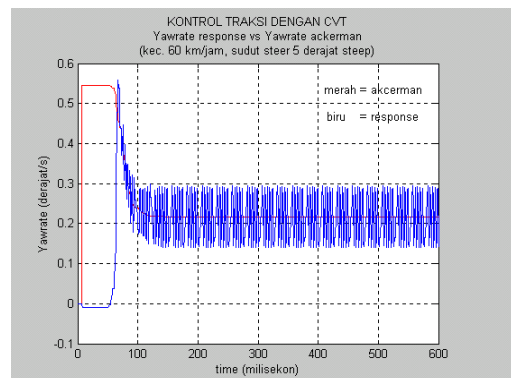
Hasil dan Pembahasan

Simulasi dilakukan pada persen slip (λ) yang bervariasi yaitu 0,2, 0,1 dan 0,07. Dasar pengambilan ini adalah pada konsep kontak ban dan jalan (gambar 1), dimana diharapkan slip sekecil-kecilnya tetapi tetap pada koefisien gesek longitudinal dan koefisien lateral yang cukup besar. Kecepatan kendaraan yang diambil juga diambil bervariasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja kontrol torsi dengan CVT tersebut. Demikian juga sudut steer diambil bervariasi yaitu 5 derajat, 10 derajat dan 20 derajat,

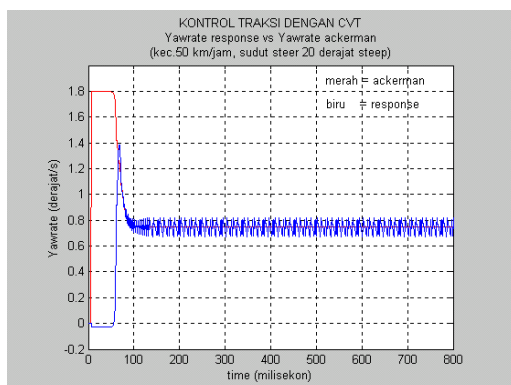
juga untuk melihat pengaruh variasi tersebut terhadap kinerja kontrol torsi dengan CVT dan melihat karakteristik perubahan responnya.. Beberapa contoh hasil simulasi ditampilkan pada gambar 5, 6, 7 dan 8, dan secara keseluruhan dirangkum dalam tabel 1.



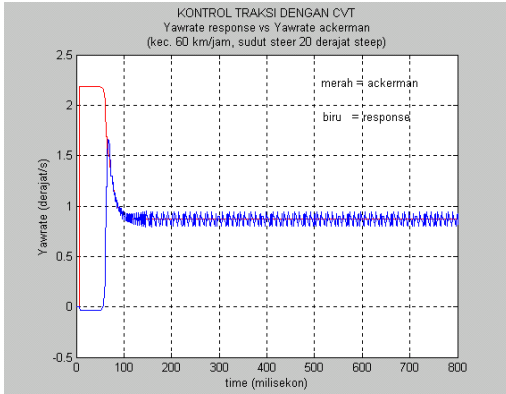
Gambar 5. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 50$ km/jam, $\delta_f = 5^0$



Gambar 6. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 60$ km/jam, $\delta_f = 5^0$



Gambar 7. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 50$ km/jam, $\delta_f = 20^0$

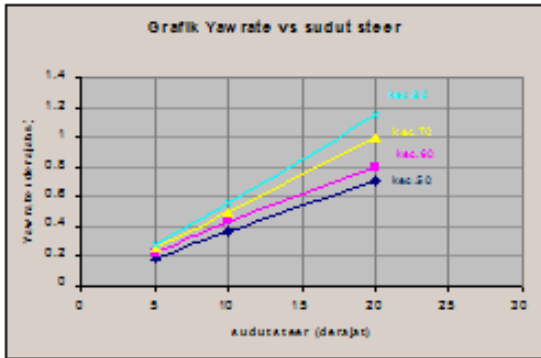


Gambar 8. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2, V = 60 \text{ km/jam}, \delta_f = 20^\circ$

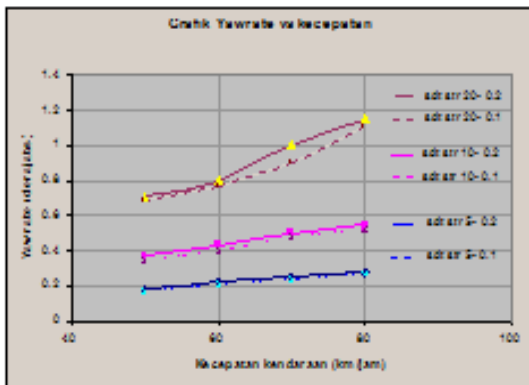
Tabel 1. Harga-harga rata-rata yawrate pada berbagai kondisi operasi (derajat/s)

Kecepatan (km/jam)	lamda = 0.2			lamda = 0.1			lamda = 0.07		
	df = 5	df = 10	df = 20	df = 5	df = 10	df = 20	df = 5	df = 10	df = 20
50	0.18	0.37	0.72	0.17	0.35	0.69	0.16	0.33	0.63
60	0.23	0.42	0.80	0.22	0.40	0.78	0.19	0.38	0.78
70	0.25	0.50	1.00	0.24	0.48	0.90	0.23	0.43	0.85
80	0.27	0.57	1.15	0.26	0.60	1.10	0.26	0.51	1.00

Berdasarkan tabel 1 dibuat grafik Yawrate vs kecepatan dan grafik Yawrate vs sudut steer seperti ditunjukkan pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Grafik Yawrate vs kecepatan

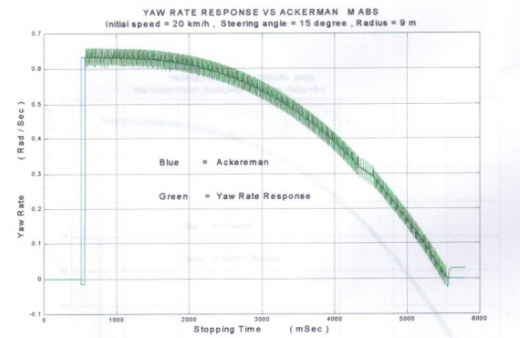


Gambar 10. Grafik Yawrate vs sudut steer untuk $\lambda=0.2$

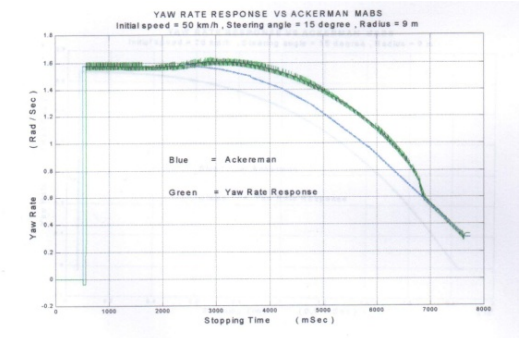
Dari gambar 9 dan gambar 10 dapat dilihat bahwa dengan naiknya kecepatan kendaraan maka harga rata-rata yawrate pada kondisi steady juga cenderung naik jika dioperasikan pada kondisi operasi sudut steer yang sama, demikian juga dengan naiknya sudut steer maka harga rata-rata yawrate pada kondisi steady juga cenderung naik jika dioperasikan pada kecepatan yang sama. Dapat dilihat juga bahwa pengaruh setting slip relatif kecil terhadap harga rata-rata yawratanya.

Komparasi dengan Respon Kontrol Pengereman ABS

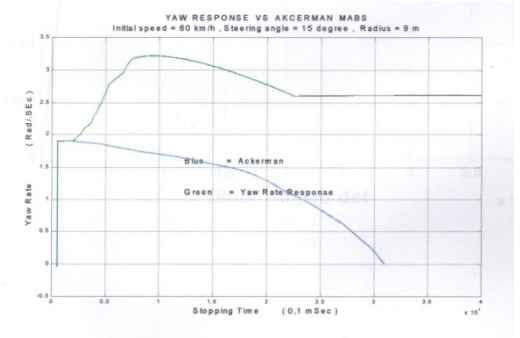
Tampilan hasil dari kontrol pengereman untuk berbagai kondisi operasi ditunjukkan pada gambar 11.



(a) kondisi 20 km/h-sudut steer 15 derajat



(b) kondisi 50 km/h-sudut steer 15 derajat



(c) kondisi 60 km/h-sudut steer 15 derajat

Gambar 11. Respon kendaraan dengan kontrol

pengereman ABS

Dari gambar 11, respon kendaraan dengan kontrol ABS pada kecepatan 20 km/jam dan 50 km/jam masih cukup baik dimana yawrate respon masih mendekati yawrate ackermannya, sedangkan pada kecepatan 60 km/jam yawrate respon mulai menjauh diatas yawackermannya, sehingga kendaraan cenderung oversteer.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Sistem kontrol traksi dengan CVT dapat bekerja pada setting persen slip yang dikehendaki, dimana yawrate respon bisa dikontrol sehingga kondisinya selalu mendekati kondisi ideal (ackerman) dengan amplitudo yawrate respon rata-rata 0,15 derajat/s.
- Dari analisa yawrate respon dan yawrate ackerman dapat dilihat bahwa sistem kontrol traksi dengan CVT memberikan perilaku arah kendaraan yang baik, ditunjukkan dengan kondisi steady state yang dicapai rata-rata pada 100 milisekon dan yawrate respon mendekati yawrate ackermannya.
- Semakin besar kecepatan kendaraan pada sudut steer yang sama, yawratanya semakin besar, demikian juga semakin besar sudut steer pada kecepatan yang sama, yawratanya juga semakin besar.
- Pada kecepatan yang cukup tinggi (80 km/jam) kontrol torsi dengan CVT perilaku arah kendaraan masih cukup baik, sedangkan kontrol pengereman ABS pada kecepatan 60 km/jam, perilaku kendaraan cenderung sulit dikendalikan (oversteer).

Advance Vehicle Control (AVEC) Japan (2002).

5. R.M. Van Druuten, et al, "Design and Construction aspect of a Zero Inertia CVT for Passenger Cars", FISITA Word Automotive Congress Seoul (2000).
6. Tatshuko Abe, et al, "Hybrid Traction Control System", IEEE Control System Magazine (1996).
7. Taborek, "Study Experimental Wheel – Road Adhesive Factor" (1970).
8. Vachtsevanos, et al, "Control on Automotive Engine" IEEE Control System Magazine (1993).

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Alex F.A. Serrarens, Frans E. Veldpaus, "New Concept for Control of Power Transients in Flywheel Assisted Drivelines with a CVT," FISITA Word Automotive Congress Seoul (2000).
2. B.G. Vroemen, Frans E. Veldpaus, "Control of a CVT in a Flywheel Assisted Driveline", FISITA Word Automotive Congress Seoul (2000).
3. Nyoman Sutantra, "Teknologi Otomotif – Teori dan Aplikasinya" 1st edition, Surabaya (1999).
4. Nyoman Sutantra, et al, "Improvement of ABS Performance Through Application of Yaw Control Index", 6th Symposium on