

Karakteristik Traksi dengan Kontrol Rasio CVT Pada Kendaraan Mikro Hibrida

I Ketut Adi Atmika^{1)*}, IDG. Ary Subagia¹⁾, IGAK. Suriadi¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: tutadi2001@yahoo.com, tutadi@me.unud.ac.id

Abstrak

Teknologi otomotif belakangan ini berkembang dengan pesat. Desain body, kinerja engine/traksi, kinerja kestabilan, efisiensi bahan bakar, dan efek polusi udara adalah bagian-bagian yang dikembangkan untuk mendapatkan produk yang unggul. Dalam beberapa hal-hal bagian-bagian yang dikembangkan tersebut berjalan secara terpisah. Perbaikan kinerja stabilitas arah dan mampu kendali kendaraan sudah dilakukan dengan menambahkan sistem kontrol pengereman. Sistem kontrol traksi/torsi roda penggerak dengan *Continuously Variable Transmission (CVT)* pada kendaraan mikro hibrida akan dibahas disini. Pada prinsipnya sistem kontrol pengereman dan sistem kontrol traksi ini berpegangan pada *setting point ratio slip* pada kondisi pengereman/percepatan optimum. Makalah ini akan menjelaskan analisa stabilitas dari sistem kontrol torsi roda penggerak dengan CVT menggunakan simulasi komputer. Untuk proses simulasi dibuat model kendaraan *hibrida* secara lengkap dengan input kondisi dan parameter operasi dimana sistem itu bekerja, *dengan setting point ratio slip (λ)* pada koefisien gesek yang optimum. Analisa stabilitas difokuskan pada perilaku gerakan belok kendaraan. *Yaw* respon akan dibandingkan dengan *yaw ackermann*, untuk mendapatkan gambaran kinerja perilaku arah kendaraan. Respon kontrol traksi akan dibandingkan dengan respon kontrol pengereman. Hasil simulasi menunjukkan pada kecepatan yang cukup tinggi yaitu 100 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*).

Kata kunci: Kinerja kestabilan, sistem kontrol traksi, CVT, ratio slip (λ), koefisien gesek longitudinal, yaw respon, yaw ackerman

Abstract

Automotive technology is growing rapidly. Body design, engine or traction performance, stability performance, fuel efficiency, and the effects of air pollution are the parts that are developed to obtain a superior product. In some things developed parts of the run separately. Directional stability and performance improvements were able to control the vehicle is done by adding the braking control system. Traction or torque control system to the drive wheels *Continuously Variable Transmission (CVT)* on micro hybrid vehicles will be discussed here. In principle, the braking system and traction control system is clinging to the setting point slip ratio on the condition of the braking or acceleration optimum. This paper will describe the analysis of the stability of the drive wheel torque control system with a CVT using computer simulations. For the simulation process is made fully hybrid vehicle models with input conditions and operating parameters in which the system works, the slip ratio setting point (λ) the optimum friction coefficient. Stability analysis focused on the behavior of the vehicle turning movement. *Yaw* response will be compared with *yaw ackerman*, to get an idea of the performance behavior of the vehicle direction. Traction control response will be compared with the braking response. The simulation results show a fairly high speed of 100 km/h traction control system with CVT performance is still good stability, while use the braking control at speeds above 60 km/h vehicle condition tend to be difficult to control (*oversteer*).

Keywords: Stability performance, traction control systems, CVT, ratio slip (λ), coefficient of friction longitude, yaw response, yaw ackerman

1. PENDAHULUAN

Teknologi otomotif belakangan ini berkembang dengan pesat. Desain body, kinerja engine/traksi, kinerja kestabilan, efisiensi bahan bakar, dan efek polusi udara adalah bagian-bagian yang dikembangkan untuk mendapatkan produk yang unggul. Dalam beberapa hal-hal bagian-bagian yang dikembangkan tersebut berjalan secara terpisah.

Seiring dengan perkembangan tersebut dan mulai menipisnya cadangan bahan bakar fosil, dan usaha untuk meminimalisasi pencemaran udara, serta dengan mempertahankan prinsip pembangunan yang berkelanjutan, teknologi mobil hibrida sepertinya sangat cocok dikembangkan karena hemat bahan bakar, juga rendah polusi.

Berdasarkan gambaran di atas, mendorong kita untuk lebih peduli terhadap penghematan

*Penulis korespondensi, HP: 6281236785776,
Email: tutadi@me.unud.ac.id

bahan bakar dan pencegahan kerusakan lingkungan. Sehingga penelitian-penelitian yang mengkaji tentang teknologi mobil hibrida, khususnya yang terkait dengan sistem *drive train* kendaraan hibrida mutlak diperlukan.

Sistem *drive train CVT* dengan kontrol traksi direncanakan untuk mencegah roda melintir atau spin dengan gaya akseleratif yang tinggi, dan pemasarannya telah dilakukan sejak tahun 1987. Pada masa sekarang dan yang akan datang, pengoperasian tidak hanya pada mobil konvensional (penggerak engine), juga untuk mobil hibrida atau kombinasi engine-hibrida. Sasarannya tidak hanya hemat bahan bakar, rendah polusi, juga tetap mempunyai kinerja traksi dan kinerja kestabilan yang baik.

Konsep baru sistem kontrol traksi, yaitu dengan *HTCS (Hybrid Traction Control System)* yang menawarkan kinerja dalam hal memperbaiki TCS dengan *Engine Inertia Brake* [1], [2]. Penelitian ini terkonsentrasi pada desain dan aspek konstruksi dari *Zero Inertia Continuous Variable Transmission* untuk kendaraan penumpang.

Vroemen, et.al.[3] dan Serrarens, et.al.[4] mengembangkan konsep *ratio CVT* dikontrol untuk mendapatkan kebutuhan *ratio* gigi yang diinginkan pada slip yang kecil. Strategi yang dilakukan adalah kontrol untuk pembukaan katup *engine* dan perubahan *ratio CVT* untuk meningkatkan *driveability*.

Perkembangan selanjutnya, Cao Min [5] dan Frank [6] mengembangkan suatu konsep pengendalian stabilitas arah kendaraan yang pada dasarnya masih berbasis pada pengendalian pengereman dan torsi. Agus Sigit P., et.al. [7] telah mengembangkan sistem pengendalian stabilitas arah kendaraan melalui pemberian atau pengurangan gaya pada rem roda dengan memanfaatkan ABS, dan pengendali torsi dengan memanfaatkan *CVT* dan terintegrasi pada sistem kemudi dengan penggerak 4 roda (4WS).

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengembangan, pengkajian dan inovasi teknologi otomotif sehubungan dengan peningkatan kinerja stabilitas kendaraan diantaranya; pengembangan desain dan karakteristik traksi dengan *CVT* [8]. Kemudian pengembangan sistem kontrol suspensi untuk memperbaiki kestabilan kendaraan [9]. Telaah pengaruh beban aerodinamis terhadap kinerja stabilitas kendaraan [10]. Adi Atmika [11] mengembangkan desain dan karakteristik kontrol torsi dengan *CVT*. *Yaw rate* aktual dibandingkan dengan *yaw rate ackerman*, dan pada kecepatan kendaraan yang cukup tinggi (80 km/jam) stabilitas kendaraan masih baik. Kemudian variasi berat roller sentrifugal pada *Continuous Variable Transmission (CVT)* pada sepeda motor [12]. Selanjutnya penelitian untuk mengembangkan model *smart handling* sepeda motor memanfaatkan komponen giroskopik [13]

Dari hasil penelitian para peneliti pendahulu hanya memfokuskan pengembangan teknologi *CVT* dan *hybrid* secara terpisah, masalah efisiensi, optimasi, kinerja traksi, stabilitas, dan kenyamanan, dibahas secara tersendiri. Selanjutnya untuk dapat menjawab permasalahan tentang teknologi transportasi berbasis hibrida dengan integrasi kontrol traksi maka dilakukan penelitian dengan topik "Karakteristik Kinerja Traksi Kendaraan Mikro Hibrida dengan Sistem *drive Train Continuous Variable Transmission (CVT)*". Pengembangan kendaraan ini, dimaksudkan memperbaiki teknologi dan manajemen transportasi yang telah diterapkan saat ini menjadi yang lebih efektif, hemat bahan bakar, rendah polusi, dan mempunyai kinerja traksi dan kestabilan yang baik.

2. METODE

2.1. Kontrol Torsi Dari *Setting Slip Ratio* dan Respon Kendaraan

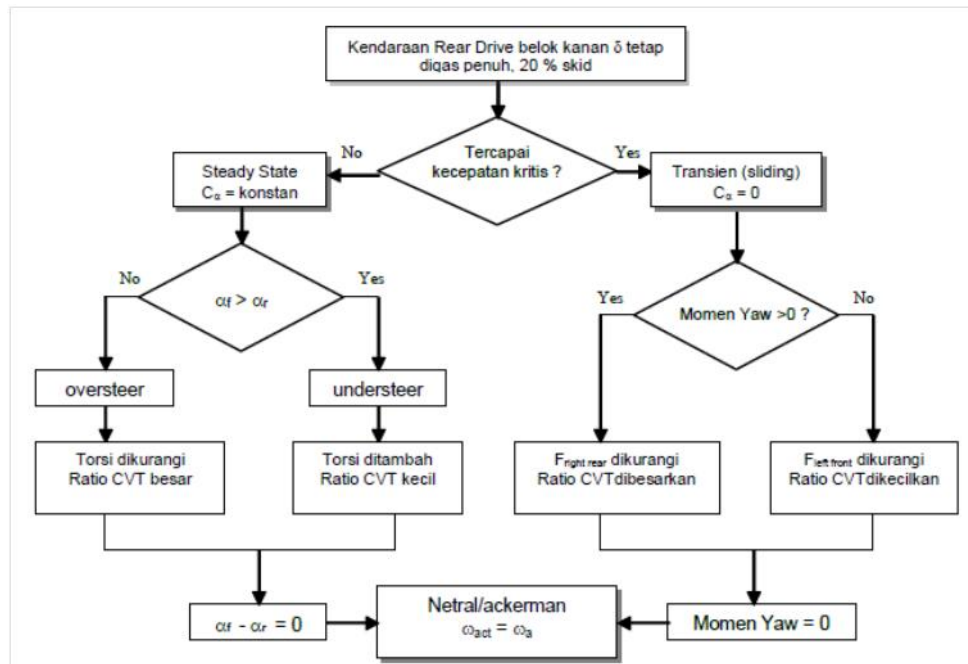
Gaya gesek disebabkan oleh slip yang terjadi diantara roda penggerak dan permukaan jalan. Selama percepatan menimbulkan slip (λ) pada roda-roda tersebut, dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

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

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

Perilaku atau respon arah kendaraan menggambarkan stabilitas arah kendaraan. Gerakan belok adalah gerakan kendaraan paling kritis karena gerakan tersebut dapat menunjukkan kualitas kestabilan kendaraan. Untuk kendaraan belok, gerakan berputar atau yawing adalah parameter penting untuk ditinjau. Respon arah kendaraan belok direpresentasikan sebagai *yaw rate actual* yang ditangkap oleh sensor dan dikoreksi bila ada penyimpangan. Penyimpangan ini mengakibatkan kendaraan *understeer* atau *oversteer*. Pengaturan momen yaw akibat *under/oversteer* dilakukan

dengan mengontrol proporsi persen skid antara roda kanan dan kiri, atau secara *flow chart* kontrol arah dengan CVT digambarkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Flow chart kontrol arah dengan CVT

Yaw rate set input gain untuk sistem kemudi 2 roda (2WS) dipakai standar ackerman [14]:

$$\omega_a = \frac{V \cdot \delta_f}{57,29 \cdot (L_1 + L_2)} \quad (2)$$

dimana :

- L_1 = jarak poros depan terhadap *Center of Weight* (m)
- L_2 = jarak poros belakang terhadap *Center of Weight* (m)

Yaw rate actual gain yang terjadi dipengaruhi oleh sudut slip [14]:

$$\omega_{act} = \frac{V \cdot (\delta_f + \alpha_f - \alpha_r)}{57,29 \cdot (L_1 + L_2)} = \omega_a + \frac{(\alpha_f - \alpha_r) \cdot V}{57,29 \cdot (L_1 + L_2)} \quad (3)$$

Rumusan sudut slip untuk ban radial baru [14] :

$$\alpha_i = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rxi}}{C_{roi}} \left[0,087935(F_{yi})^{0,79008} - 0,005277(F_{zi}) \right] \quad (4)$$

dimana :

- $C_{rp} = 33,5 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2$
- $C_{rs} = 33,5 + 5,30 (Ps) - 0,0916 (Ps)^2$
- P = tekanan ban pada kondisi operasi (psi)
- Ps = tekanan ban standar (25 psi)

$$C_{rxi} = \left[\frac{F_{yi} + 0,107927(F_{xi})}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

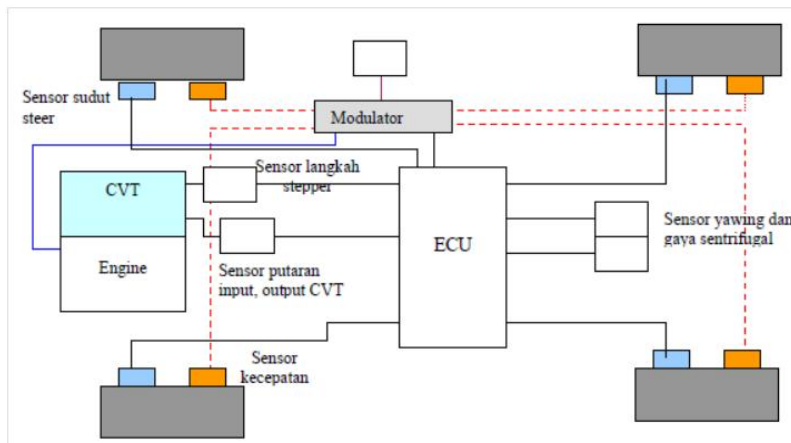
$$C_{roi} = \left[\frac{F_{yi}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$i = 1, 2, 3$, dan 4 (roda kiri belakang, kiri depan, kanan depan, kanan belakang).

2.2. Model dan Rancangan CVT

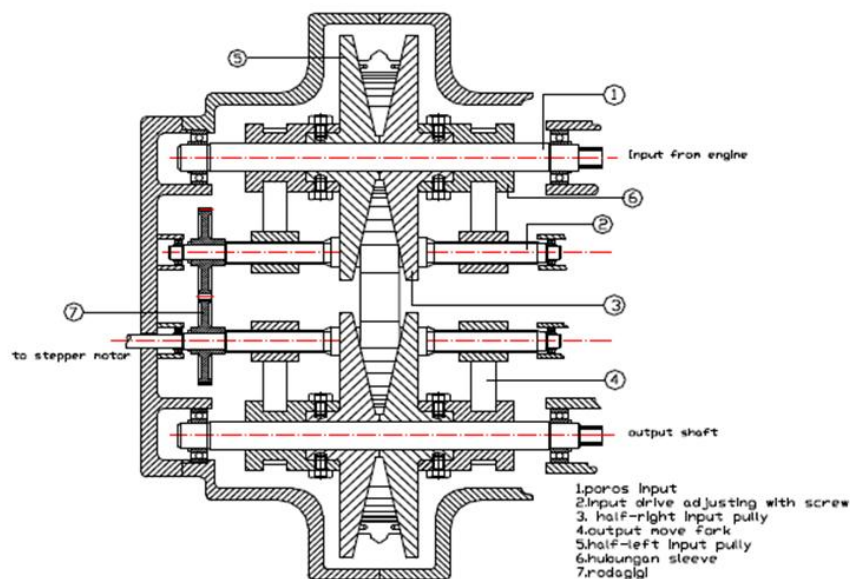
Sistem kontrol traksi dengan CVT pada kendaraan mikro hibrida termasuk dalam link sistem

kontrol kendaraan yang akan sebagian dibahas, diperlihatkan pada gambar 2



Gambar 2. Skema layout kontrol traksi dengan CVT pada kendaraan hibrida

Pada CVT dipasang sensor langkah stepper untuk mengontrol besarnya kebutuhan langkah motor stepper, sensor putaran input untuk mengetahui dan mengontrol besarnya torsi input ke CVT dan sensor putaran output untuk mengetahui dan mengontrol besarnya torsi keluaran dari CVT. Sedangkan pada sistem kendaraan dipasang sensor sudut steer, sensor kecepatan kendaraan, sensor yawing dan sensor gaya sentrifugal dipasang dalam kaitannya dengan perilaku arah kendaraan.



Gambar 3. Rancangan desain CVT kendaraan mikro hibrida

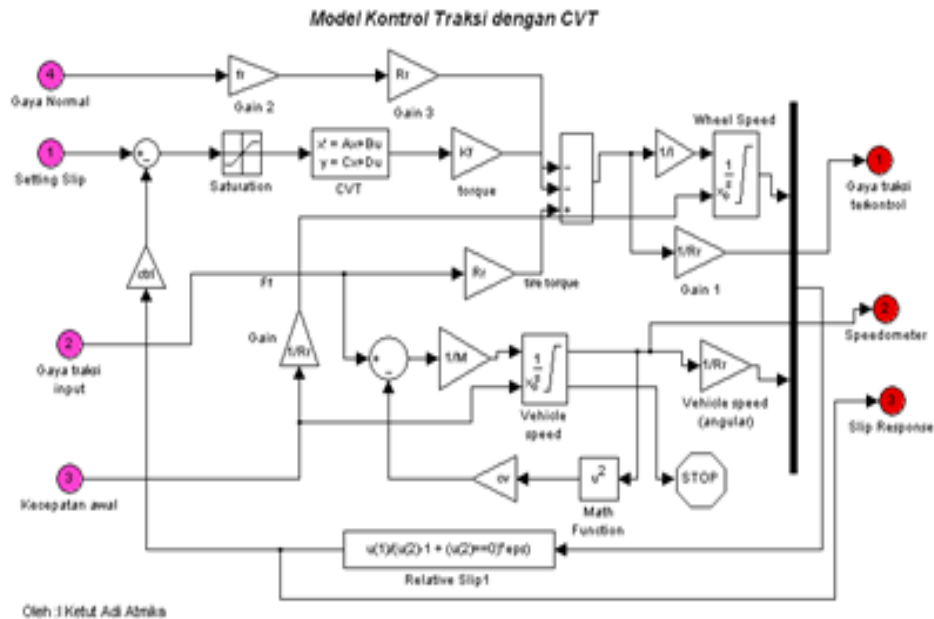
Pengaturan besarnya ratio CVT dilakukan oleh gerakan motor stepper yang menerima perintah dari ECU sesuai dengan besarnya kebutuhan torsi. Motor stepper memutar poros pengarah yang dilengkapi dengan ulir, sehingga menyebabkan hubungan *sleeve* menarik atau menekan *pulley*. Ulir pada poros input dan output dibuat dengan arah berlawanan (ulir kiri dan ulir kanan), maksudnya adalah bila diameter pulley input membesar, diameter pulley output mengecil, atau sebaliknya.

2.3. Simulasi dan blok kontrol

Simulasi dibuat dengan software Simulink Matlab 7, dan pada pembuatan skema blok simulink ada beberapa hal yang harus diperhatikan :

- Parameter yang diambil adalah yang terpenting atau efeknya cukup signifikan terhadap respon.
- Data input yang dimasukkan diusahakan mendekati sesungguhnya sehingga tidak timbul

- respon yang singular.
- Snap shoot time yang diterapkan sesuai dengan kebutuhan.

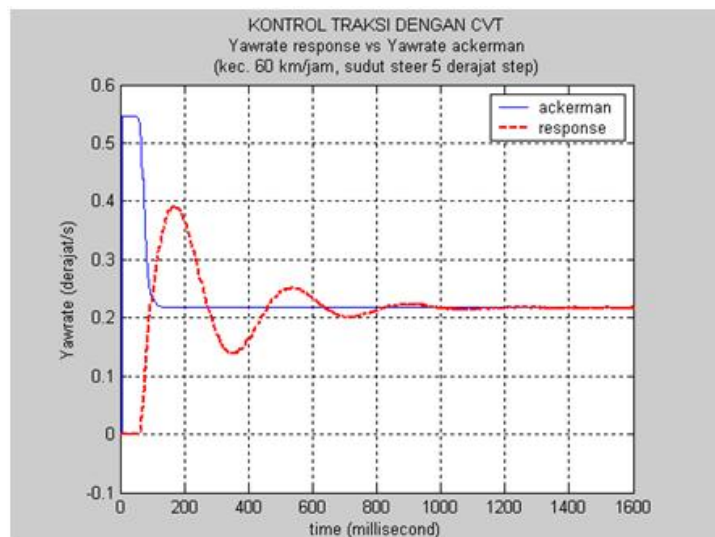


Gambar 4. Blok Kontrol Torsi dengan CVT pada salah satu roda

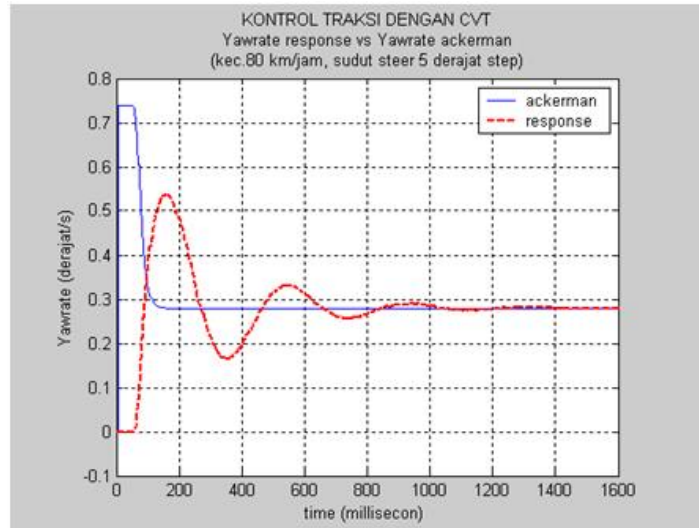
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Simulasi

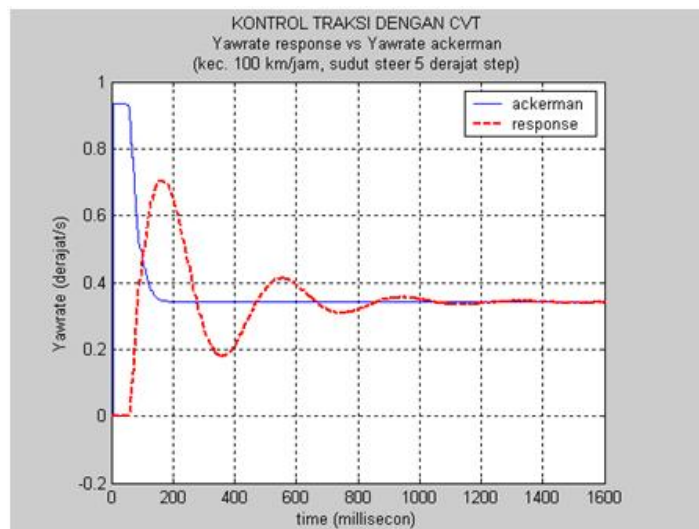
Simulasi dilakukan pada persen slip (λ) = 0,2, dimana diharapkan slip sekecil-kecilnya tetapi tetap pada koefisien gesek longitudinal dan koefisien lateral yang cukup besar. Kecepatan kendaraan yang diambil juga bervariasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja kontrol torsi dengan CVT tersebut. Demikian juga sudut steer diambil adalah 5 derajat step dan 10 derajat step. Beberapa contoh hasil simulasi ditampilkan pada gambar 5, 6, 7 dan 8, 9 dan 10 dan secara keseluruhan dirangkum dalam tabel 1.



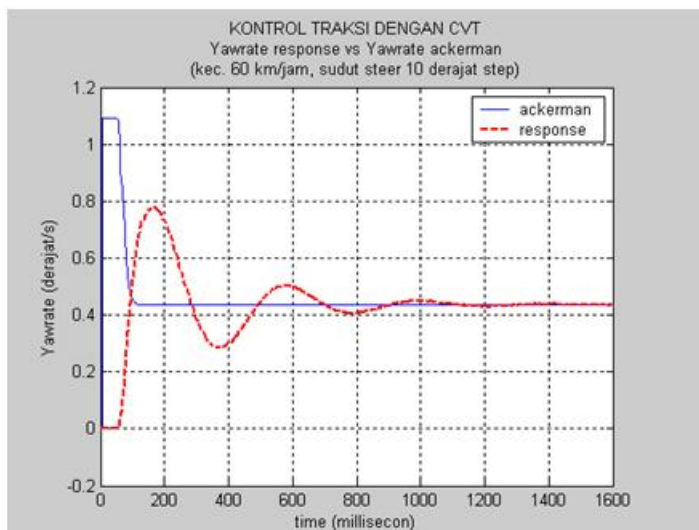
Gambar 5. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 60$ km/jam, $\delta_f = 5^\circ$



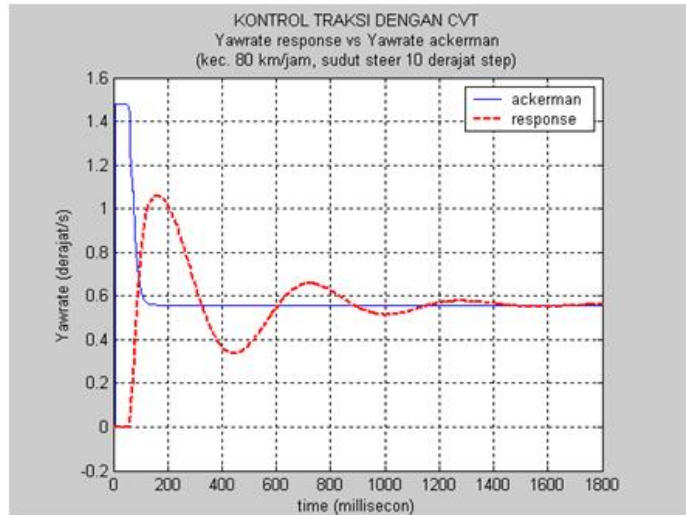
Gambar 6. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 80$ km/jam, $\delta_f = 5^\circ$



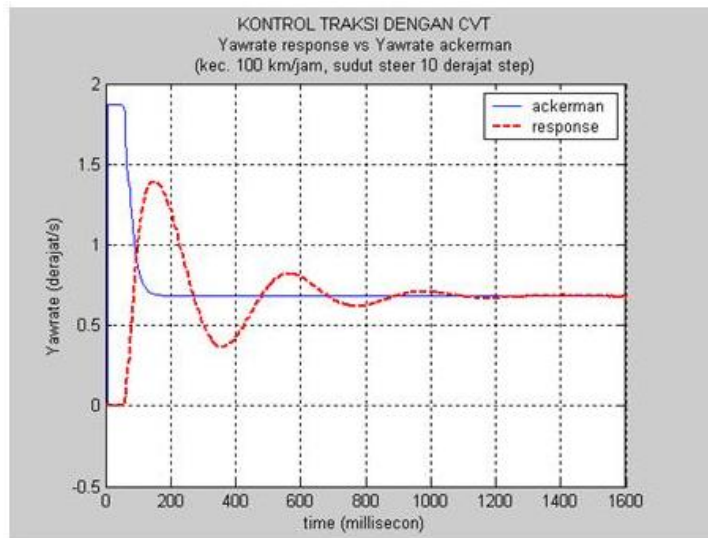
Gambar 7. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 100$ km/jam, $\delta_f = 10^\circ$



Gambar 8. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 60$ km/jam, $\delta_f = 10^\circ$



Gambar 9. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 80$ km/jam, $\delta_f = 10^0$

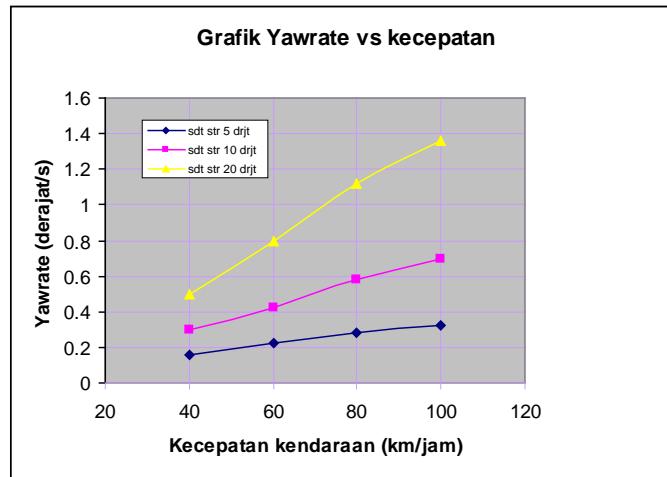


Gambar 10. Grafik Yawrate vs waktu, untuk $\lambda = 0,2$, $V = 100$ km/jam, $\delta_f = 10^0$

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

Kecepatan (km/jam)	Yawrate (derajat/s)		
	df = 5	df = 10	df =20
40	0.16	0.3	0.5
60	0.22	0.42	0.80
80	0.28	0.58	1.12
100	0.32	0.70	1.36

Berdasarkan tabel 1 dibuat grafik Yawrate vs kecepatan seperti ditunjukkan pada gambar 11



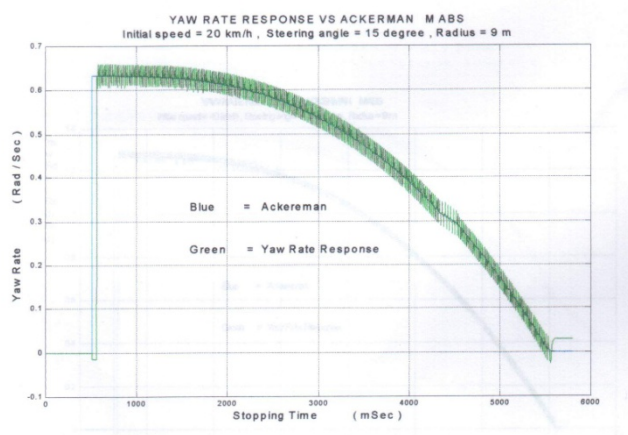
Gambar 11. Grafik Yawrate vs kecepatan kendaraan

3.2. Pembahasan

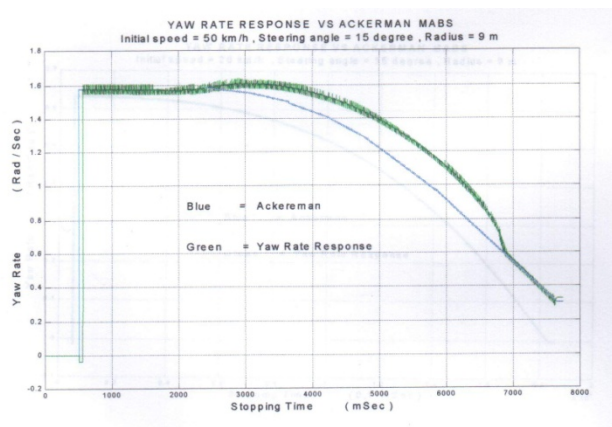
Dari gambar 11 dapat dilihat bahwa dengan naiknya kecepatan kendaraan maka harga rata-rata yawrate pada kondisi steady juga cenderung naik jika dioperasikan pada kondisi operasi sudut steer yang sama, demikian juga dengan naiknya sudut steer maka harga rata-rata yawrate pada kondisi steady juga cenderung naik jika dioperasikan pada kecepatan yang sama.

Komparasi dengan Respon Kontrol Pengereman ABS

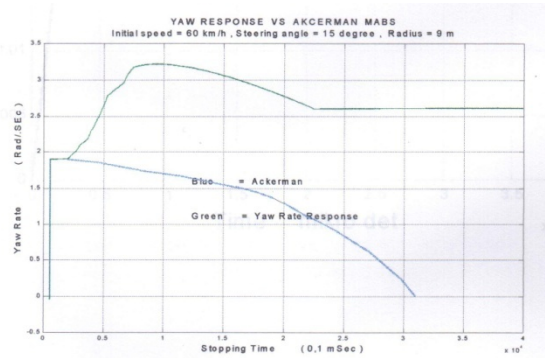
Tampilan hasil dari kontrol pengereman untuk berbagai kondisi operasi ditunjukkan pada gambar 12 [15]



(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 12. Respon kendaraan dengan kontrol pengereman ABS [15]

Dari gambar 12. 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.

4. SIMPULAN

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

- 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 1300 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 (100 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).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tatshuko Abe, 2006. "Hybrid Traction Control System", *IEEE Control System Magazine*.
- [2] Van Drutten R.M., 2010, " Design and Construction aspect of a Zero Inertia CVT for Passenger Cars", *Proceeding, International Pacific Conference 11 (IPC – 11)*, Shanghai.
- [3] Vroemen B.G., Frans E. Veldpaus, 2010, "Control of a CVT in a Flywheel Assisted Driveline", *Proceeding FISITA World Automotive Congress*, Seoul
- [4] Serrarens Alex F.A., Frans E. Veldpaus ,2010, "New Concept for Control of Power Transients in Flywheel Assisted Drivelines with a CVT," *Proceeding FISITA World Automotive Congress*, Seoul
- [5] Cou Min, 2011, "Advance Automotive Electrical Control System in Future", *Proceeding Asia Pacific Automotive Engineering Conference (APAC – 10)*, Chennai.
- [6] Frank, 2005 "Optimization of CVT control For Hybrid" University of California, Davis.
- [7] Agus Sigit P, Sutantra I Nyoman, Iwan Fauzan., 2012, "Design and Perfomance Characteristic of Gearless Variable Transmission Applied for Automobile", *Proceeding International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC – 2012)*, Seoul.
- [8] Gatot Karohika I Made, Adi Atmika I Ketut., Ary Subagia IDG., 2008, "Desain dan Karakteristik Traksi Sistem CVT", *Laporan Penelitian DIPA UNUD*, Universitas Udayana, Denpasar.
- [9] Adi Atmika I Ketut., Ary Subagia IDG., Gatot Karohika I Made, 2008, "Desain dan Karakteristik Sistem Kontrol Suspensi dengan Pemodelan Delapan DOF", *Laporan Penelitian DIPA UNUD*, Universitas Udayana, Denpasar.
- [10] Adi Atmika I Ketut., Lokantara I Putu., Gatot Karohika I Made, 2008, "Tinjauan Beban Aerodinamis terhadap Kinerja Stabilitas Kendaraan", *Jurnal Teknik Mesin CAKRAM*, Vol 4. No.2
- [11] Adi Atmika I Ketut., 2004, "Desain dan Karakteristik Sistem Kontrol Torsi dengan CVT Untuk

- Memperbaiki Stabilitas Arah Kendaraan”, *Jurnal IPTEK*, Vol 15. No.3.
- [12] Adi Atmika I Ketut., Ary Subagia IDG., Dwi Budiana Made, 2008, “Variasi Berat Roller Sentrifugal Pada Continuouse Variable Transmission terhadap Kinerja Traksi Sepeda Motor”, *Jurnal Teknik Mesin CAKRAM*, Vol 2. No.2
- [13] Adi Atmika I Ketut., Ary Subagia IDG., Sutantra I Nyoman, Agus Sigit P., 2009, “Simulation of Motorcycle Smart Handling with Gyroscopic Component”, *Jurnal IPTEK*, Vol 20. No.2.
- [14] Sutantra I Nyoman, 2001, “Teknologi Otomotif – Teori dan Aplikasinya”, Guna Widya, Surabaya.
- [15] Sutantra, I Nyoman, Agus Sigit.P., Didik N., 2012, “Modification and Design Elastic Component to Improve Performance of ABS and Directional Stability of Vehicle”, *Proceeding FISITA Word Automotive Congress (FISITA – 34)*, Beijing.