

# PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL TRAKSI MOBIL ELEKTRIK BERBASIS REKONSTRUKSI KEADAAN KECEPATAN MODEL RODA

Pratikto<sup>1</sup>, Yul Yunazwin Nazaruddin<sup>1</sup>, Edi Leksono<sup>1</sup>, Zainal Abidin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri

<sup>2</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara  
Institut Teknologi Bandung, Jl Ghanesa 10

Bandung 40132, Indonesia  
pratikto@hotmail.co.jp

Diterima: 1 November 2010; Direvisi: 4 November 2010; Disetujui: 18 November 2010;  
Terbit online: 24 Desember 2010.

---

## Abstrak

Pada makalah ini dibahas pengembangan kontrol traksi untuk sebuah mobil elektrik dengan metoda yang dikembangkan berdasarkan rekonstruksi keadaan kecepatan sebuah model kendaraan yang mempunyai kesamaan antara percepatan roda dan badan kendaraannya. Pada prinsipnya sebuah kendaraan dapat bergerak maju dengan adanya gaya traksi yang disebabkan adanya gaya gesekan antara roda dan jalan. Gaya traksi tersebut akan mengecil bahkan dapat menuju nol ketika jalan licin dan torsi masukan dapat mengakibatkan slip yang besar. Sementara slip dapat dikurangi dengan cara mengurangi torsi roda. Prinsip dasar yang dikembangkan adalah membandingkan kondisi nyata kendaraan dan model untuk memperoleh nilai torsi yang dapat mengurangi terjadinya slip. Pengontrolan dilakukan pada kecepatan roda agar mengikuti nilai referensi yang dihasilkan oleh model kendaraan yang digunakan. Nilai torsi masukan pada roda dapat dikontrol dengan menggunakan umpan balik yang diperoleh dari perbedaan kecepatan roda yang dikontrol dan yang dihitung dari model. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dalam proses pengurangan slip, sinyal respons mempunyai *overshoot* maksimum 9,8%, *rise time* 3,1 detik, dan *settling time* 8 detik.

Kata kunci: rekonstruksi keadaan kecepatan, kontrol traksi, slip roda, kendaraan referensi.

---

## Abstract

*In this paper the development of electric vehicle traction control based on state of speed reconstruction of vehicle model that has the same acceleration condition between tire and chassis is studied. Vehicle is accelerated if the friction force takes place between tire and road. However, the traction force decreases even tends to zero on slippery road and torque input produces a large slip. Evidently, tire slip can be reduced by decreasing the applied torque to the tire. So the basic principle of the proposed method here compares the real vehicle tire speed condition with the model to determine the torque in order to reduce the slip. Tire speed is controlled in order to follow the reference value that is calculated from the model. Tire torque input then can be controlled by applying the feedback that is obtained from the difference value of speed between model and real tire. Implementation of this method on a real vehicle shows that the control method effectively controls the tire speed of vehicle to follow the reference and reducing the slip. From the experiment the control system performance in reducing slip has the result of 9.8% for maximum overshoot, 3.1 second for rise time, and 8 second for settling time.*

*Key words : state of speed reconstruction, traction control, tire slip, reference vehicle.*

---

## I. PENDAHULUAN

Kendaraan atau mobil merupakan kebutuhan masyarakat modern, dan keamanan dalam berkendara adalah konsekuensi yang sangat penting dalam kehidupan. Dalam beberapa dekade yang lampau sistem kontrol dinamika kendaraan telah dikembangkan untuk meningkatkan kemudahan dan keamanan dalam berkendara. Pengontrolan dinamika kendaraan ditujukan untuk menghindarkan perilaku kendaraan yang tak diinginkan dengan cara menerapkan kontrol aktif dan membantu pengemudi dalam menjalankan kendaraan. Di antaranya adalah *antilock breaking systems*

(ABS) yang diterapkan untuk menghindari terjadinya roda terkunci akibat pengereman. Ini telah menjadi peralatan yang biasa dalam produksi kendaraan. Kontrol traksi juga menjadi populer untuk menghindari penggerak roda mengalami kehilangan cengkraman ketika dalam kondisi percepatan.

Bertambahnya jumlah mobil mengakibatkan meningkatnya polusi udara terutama di kota-kota besar. Hal ini disebabkan mobil yang ada hampir semua menggunakan bahan bakar fosil yang diubah menjadi tenaga mekanik dengan cara proses pembakaran.

Pesatnya jumlah kendaraan menunjukkan tingkat kebutuhan akan kendaraan tersebut tidak dapat dibendung. Sementara di pihak lain kebutuhan untuk memelihara lingkungan hidup tidak pula dapat ditunda lagi. Sementara itu persediaan sumber energi yang diperoleh dari bahan bakar fosil semakin lama jumlahnya semakin menyusut [1], sehingga diperlukan sumber energi pengganti dalam mendukung transportasi.

Sisi lain dalam permasalahan transportasi adalah kebutuhan peningkatan kenyamanan, jaminan keselamatan, dan ketertiban, dimana hal ini menjadi penting dan harus segera dicapai pada kondisi arus mobilitas yang sangat tinggi seperti sekarang ini. Sehubungan dengan faktor keselamatan ini sebuah sistem ABS dapat dimanfaatkan agar kendaraan dapat secepat mungkin berhenti dengan aman[2].

Sebuah sistem kendaraan yang dikenal dengan sebutan mobil elektrik dapat menjadi alternatif yang cocok untuk dipilih. Hal ini tidak lain karena mobil elektrik memenuhi kriteria sebagai alat transportasi masa depan yang ramah lingkungan, efisien, tenang (kebisingan rendah), nyaman, terpercaya dari segi keselamatan penumpang dalam mobil maupun dalam mobil lain yang bersama sama dalam satu komunitas kendaraan. Sekarang ini mobil elektrik dengan *fuel cell*, dan kendaraan hibrida telah berkembang sangat cepat sebagai solusi terhadap permasalahan energi dan lingkungan.

Sebuah mobil elektrik bergerak dengan memanfaatkan pola kerja motor elektrik yang mempunyai karakteristik merespon dengan cepat melebihi kendaraan bermesin bakar internal (*Internal Combustion Engine*) [3]. Sehingga kecepatan sebuah mobil elektrik sangat responsif terhadap pijakan gas yang secara elektrik mengatur arus atau tegangan yang menentukan kecepatan motor roda mobil elektrik tersebut.

Pada kondisi jalan yang licin, gerak kecepatan putar roda tidak dapat diikuti oleh kecepatan gerak mobil secara keseluruhan. Akibatnya terjadi slip atau perbedaan kecepatan roda dan kendaraan yang makin membesar bila torsi yang diberikan terus bertambah. Hal ini akan menyebabkan kendaraan tersebut tidak terkendali dengan baik sehingga jaminan keselamatan penumpang bisa terancam. Selain itu, bila slip yang tak terkendali terjadi, pemakaian energi untuk menghasilkan gerak tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan secara baik sehingga menimbulkan pemborosan.

Terkait dengan respon yang cepat tersebut, mobil elektrik juga mempunyai potensi yang menarik dari sudut pandang teknik kontrol. Ini

berarti bahwa penerapan motor elektrik sebagai penggerak pada mobil juga memberi peluang suatu penerapan sistem kontrol yang canggih, terkait dengan gerak roda, sehingga dapat dengan cepat dan responsif menanggulangi adanya gangguan gerak roda. Sistem kontrol yang canggih dapat diciptakan baik secara menyeluruh ataupun secara individual pada setiap rodanya.

Gerak mobil secara menyeluruh merupakan permasalahan yang kompleks. Sebagai fundasi gerak, dinamika pada arah longitudinal sangat penting untuk dikaji. Sehubungan dengan hal tersebut, kontrol gerak longitudinal terus menerus dikembangkan. Kontrol traksi secara mendasar dikaitkan dengan gerak kendaraan pada arah longitudinal dengan variabel yang dikontrol adalah kecepatan, baik dalam arti kecepatan roda atau kecepatan kendaraan.

Salah satu permasalahan yang sering dikaji pada pengontrolan kecepatan sebuah kendaraan dalam arah longitudinal adalah justru menentukan nilai kecepatan arah longitudinal itu sendiri, maka beberapa metode dikembangkan untuk ini seperti yang dilakukan oleh Allotta dkk. [4], Alvarez dkk. [5], dan Tanelli dkk. [6]. Akan tetapi pengontrolan gerak kendaraan berbasis kecepatan tidak selalu membutuhkan nilai besaran kecepatan kendaraan sebenarnya, melainkan nilai kecepatan roda atau nilai kecepatan kendaraan yang diestimasi berdasarkan nilai kecepatan roda [4]. Kontrol traksi kendaraan dapat juga dilakukan berbasis pada besaran rasio slip roda.

Pengontrolan rasio slip merupakan sebuah problema mendasar dari kontrol traksi [7]. Sistem kontrol anti slip penting untuk diterapkan demi mempertahankan efektifitas gerak roda, kestabilan gerak kendaraan dan penghematan energi yang digunakan pada mobil elektrik. Pemakaian energi yang tersimpan pada batere merupakan hal yang harus mendapatkan perhatian khusus mengingat waktu pengisian batere belum dapat dilakukan dalam waktu yang singkat.

Dejun Yin [8] melakukan penelitian untuk mendapatkan suatu metode pengontrolan yang didasarkan pada torsi maksimum yang diizinkan agar slip dapat dibatasi. Torsi maksimum ditentukan dengan mengabaikan adanya beberapa resistansi gerak, antara lain resistansi gerak roda dan hembusan udara yang dialami kendaraan.

Pada makalah ini pokok masalah yang akan dipecahkan adalah membangun kontrol traksi yang sekaligus dapat mengurangi slip yang mungkin terjadi pada sebuah roda. Metode yang diungkapkan ditujukan untuk memperoleh torsi maksimum dengan cara membandingkannya

dengan model kendaraan yang mempunyai kesamaan antara kondisi percepatan roda dan badan kendaraan. Metode yang diusulkan ini dikembangkan dengan mendefinisikan keadaan rekonstruksi kecepatan roda kendaraan model untuk membangun sistem kontrol sehingga dinamika mobil dikontrol dengan mengamati perbedaan gerak roda antara mobil sebenarnya dan mobil model.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan kajian teoritis mengenai pengembangan metode kontrol yang digunakan. Hasil kajian ini akan diverifikasi melalui eksperimen. Metode yang dikembangkan merupakan kontrol traksi berbasis rekonstruksi kecepatan model kendaraan tanpa slip untuk sebuah mobil elektrik. Sistem kontrol yang diperoleh diharapkan mempunyai kemampuan untuk mengurangi slip yang terjadi pada roda.

Dalam pengembangan, sebuah asas yang dikenal dengan prinsip *state feedback* diterapkan pada kesalahan penjejakan keadaan kecepatan.

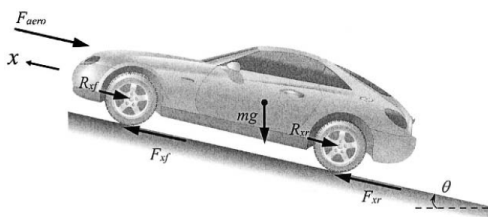
### A. Model Kendaraan dan Dinamika Roda

Persamaan gerak kendaraan roda empat dapat diturunkan dari hukum Newton. Gambar 1 menunjukkan besaran-besaran yang terlibat pada gerak kendaraan dalam arah longitudinal.

Kesetimbangan gaya sepanjang sumbu longitudinal  $x$  kendaraan dinyatakan dengan persamaan [9].

$$m\ddot{x} = F_{xf} + F_{xr} - F_{aero} - R_{xf} - R_{xr} - m g \sin \theta \quad (1)$$

dengan  $F_{xf}$ ,  $F_{xr}$ ,  $F_{aero}$ ,  $R_{xf}$ ,  $R_{xr}$ ,  $m$ ,  $g$  dan  $\theta$  masing masing adalah gaya longitudinal roda depan, gaya longitudinal roda belakang, gaya gesek longitudinal ekivalen udara, gaya resistansi akibat putaran roda depan, gaya resistansi akibat putaran roda belakang, massa kendaraan, percepatan gravitasi, dan sudut kemiringan jalan.



Gambar 1. Arah Gerak longitudinal [9].

Persamaan di atas dapat disederhanakan penulisannya menjadi persamaan berikut.

$$m\ddot{x} = F - R \quad (2)$$

Dengan

$$F = F_{xf} + F_{xr} \quad (3)$$

dan

$$R = F_{aero} + R_{xf} + R_{xr} + m g \sin \theta \quad (4)$$

Sementara itu gerak putar sebuah roda dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$J\dot{\omega} = T - rF \quad (5)$$

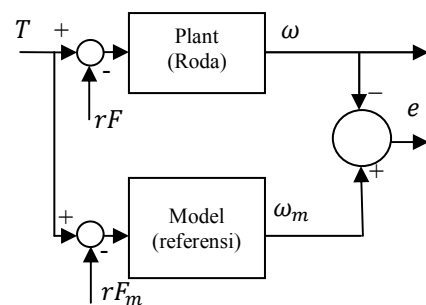
dengan  $J$ ,  $\omega$ ,  $T$ ,  $r$ , dan  $F$  masing masing adalah momen inersia roda, kecepatan sudut roda, torsi pemutar roda, jari jari efektif roda dan gaya yang bekerja pada roda. Besarnya gaya yang terjadi pada roda dapat dihitung berdasarkan *magic formula* Pacejka atau dengan model Dugoff [9].

Besar gaya  $F$  bergantung pada nilai koefisien gesekan antara roda dan jalan  $\mu$ . Koefisien ini sangat menentukan terjadinya slip pada roda [3].

### B. Pengembangan Metode Kontrol

Dalam sub Bab ini akan dibahas pengembangan metode kontrol traksi berbasis rekonstruksi kecepatan model kendaraan tanpa slip. Pengembangan sistem kontrol didasarkan pada sebuah prinsip yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Sebuah roda kendaraan nyata bila dibandingkan dengan modelnya secara diagram blok dapat digambarkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem roda dan referensi model.

Pada kondisi tanpa slip nilai  $F = F_m$ ,  $e = 0$ , dan  $T = T_M$  dengan  $T_M$  adalah torsi maksimum ketika tidak terjadi slip. Dengan kata lain bila  $T > T_M$  ataupun  $F < F_m$ , maka sebuah pengontrol harus dipasang agar torsi input pada roda kembali pada kondisi maksimum sehingga slip tidak terjadi.

Bila  $\omega$ ,  $J$ , dan  $r$  masing masing adalah kecepatan sudut, momen inersia dan jari-jari roda, keadaan roda sistem kendaraan referensi dapat ditulis dengan persamaan

$$\dot{\omega}_m = \frac{T_m - rF_m}{J} \quad (6)$$

$$\dot{x}_m = \dot{V}_m = \frac{F_m}{m} \quad (7)$$

dengan  $V_m$  adalah kecepatan kendaraan referensi. Sebuah keadaan  $\epsilon_m$  dapat didefinisikan sebagai

$$\dot{\epsilon}_m = \dot{\omega}_m - \frac{\dot{V}_m}{r} \quad (8)$$

Sehingga

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{T_m}{J} - rF_m \left( \frac{1}{J} + \frac{1}{mr^2} \right) \quad (9)$$

Dan

$$\dot{\omega}_m = \frac{1}{J_n} T_m + \frac{mr^2}{J_n} \dot{\epsilon}_m \quad (10)$$

Rekonstruksi dari  $\omega_m$  didefinisikan sebagai  $\hat{\omega}_m$ , dengan pernyataan bahwa

$$\hat{\omega}_m = \frac{1}{J_n} T_m + \frac{mr^2}{J_n} \dot{\epsilon}_m + K_m(\omega_m - \hat{\omega}_m) \quad (11)$$

dan keadaan roda sistem dapat ditulis dengan persamaan

$$\dot{\omega} = \frac{T - rF}{J} \quad (12)$$

Jika dengan sistem kontrolan yang dapat merekonstruksi keadaan kecepatan model, yakni

$$\dot{\omega} = \dot{\hat{\omega}}_m \quad (13)$$

Maka

$$T = \frac{J}{J_n} T_m + \frac{Jmr^2}{J_n} \dot{\epsilon}_m + K_m e \quad (14)$$

Dengan

$$e = \omega_m - \omega \quad (15)$$

Dan

$$J_n = J + mr^2 \quad (16)$$

Suatu strategi kontrol dapat dikembangkan dengan menentukan persyaratan pada model, yakni dengan

$$\dot{\epsilon}_m = 0 \quad (17)$$

Maka

$$T = \frac{J}{J_n} T_m + JK_m e \quad (18)$$

$$\dot{\omega} = \frac{T_m}{J_n} + \frac{-rF}{J} + JK_m e \quad (19)$$

Sehingga

$$\dot{e} = -JK_m e + \frac{rF}{J} \quad (20)$$

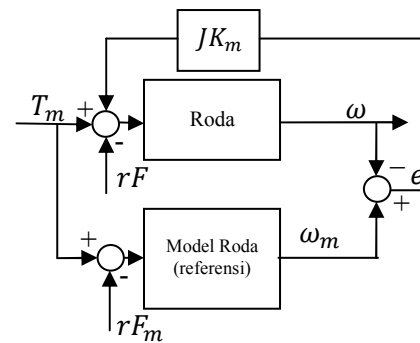
Bila  $\dot{\omega}$  konvergen ke

$$\dot{\omega}_m = \frac{T_m}{J_n} \quad (21)$$

diperoleh hubungan

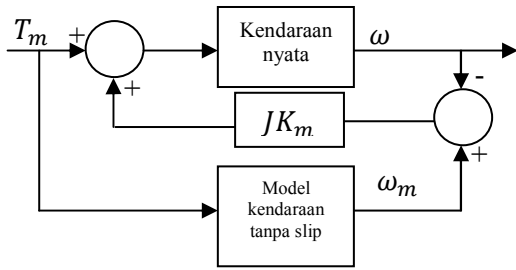
$$\frac{rF}{J} = JK_m e \quad (22)$$

Sistem kontrol yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 3. Untuk suatu kondisi jalan dengan gaya gesekan yang dialami oleh mobil elektrik yang dikontrol sebesar  $F$ , dapat diperoleh kesalahan keadaan sebesar  $e(t)$  pada  $\dot{e} = 0$ ,



Gambar 3. Struktur sistem dengan umpan balik kesalahan.

Dengan hanya memperhatikan variabel keadaan kecepatan sudut roda  $\omega$  sistem kontrol kendaraan diperlihatkan oleh diagram blok pada Gambar 4. Nilai torsi maksimum yang dapat diberikan pada roda agar tidak terjadi slip dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut.



Gambar 4. Struktur Sistem kontrol traksi berbasis model kendaraan tanpa slip.

Substitusi persamaan (2) ke (5) yang memberikan

$$\dot{\epsilon} = \frac{T}{J} - r(F - R)\left(\frac{1}{J} + \frac{1}{mr^2}\right) \quad (23)$$

untuk  $\dot{\epsilon} = 0$ ,  $T = T_M$

$$T_{Max} = \left(\frac{J}{mr^2} + 1\right)r(F - R) \quad (24)$$

Torsi maksimum tanpa slip  $T_{Max}$  dengan mengabaikan adanya resistansi roda dan hembusan angin adalah

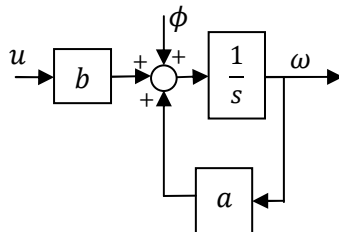
$$T_{Max} = \left(\frac{J}{mr^2} + 1\right)rF \quad (25)$$

Yin dan Hori [8] mendefinisikan  $T_{Max}$  dengan

$$T_{Max} = \left(\frac{J}{amr^2} + 1\right)rF \quad (26)$$

$\alpha$  adalah faktor relaksasi yang merupakan parameter desain pengontrol yang diperkenalkan.

Secara umum kontrol traksi dapat dirumuskan berdasarkan skema kontrol kecepatan. Bila setidaknya terdapat sebuah pengontrol proporsional dengan gain  $K_p$  telah ada pada suatu kendaraan maka struktur sistem kendaraan menjadi berbentuk seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur sistem kendaraan berpengontrol proporsional.

Dengan struktur tersebut model mobil referensi dan mobil yang dikontrol dapat dinyatakan dengan persamaan (27) dan persamaan (28).

$$\dot{\omega}_m = a_m \omega_m(t) + b_m \omega_c(t) \quad (27)$$

$$\dot{\omega} = a \omega(t) + bu(t) + \phi(t) \quad (28)$$

dengan parameter

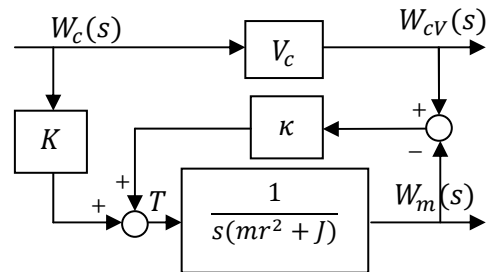
$$a = -K_p \frac{1}{J} \quad (29)$$

$$b = K_p \frac{1}{J} \quad (30)$$

Dan

$$\phi = -\frac{1}{J}rF \quad (31)$$

Kendaraan atau mobil referensi didefinisikan mempunyai struktur seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur sistem kendaraan referensi.

$W_c(s)$  dan  $W_m(s)$  masing-masing adalah transformasi Laplace dari  $\omega_c(t)$  dan  $\omega_m(t)$ . Dengan demikian diperoleh

$$a_m = -\frac{\kappa}{(mr^2 + J)} \quad (32)$$

$$b_m = \frac{[K + \kappa V_c]}{(mr^2 + J)} \quad (33)$$

dalam persamaan di atas  $K$ ,  $\kappa$ , dan  $V_c$  adalah parameter perancangan pengontrol.

Struktur kontrol didasarkan pada perolehan kesalahan penjejakan memenuhi persamaan (34) sebagai perluasan dari persamaan (20).

$$\dot{e} = (a - JK_m)e(t) - \phi(x, t) \quad (34)$$

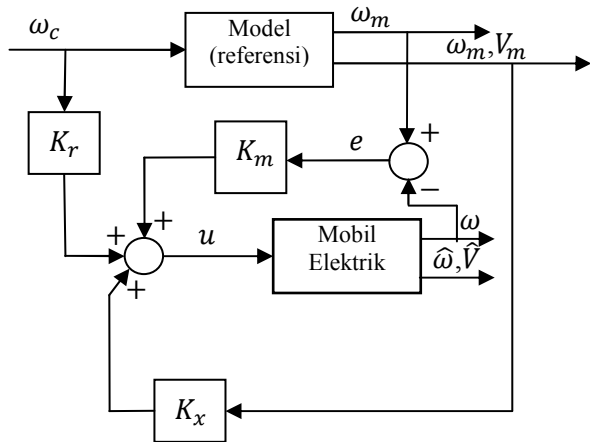
dengan ini diperoleh bahwa

$$u(t) = K_r \omega_c(t) + K_x \omega_m(t) + K_m [\omega_m(t) - \omega(t)] \quad (35)$$

$$K_r = \frac{J[K + \kappa V_c]}{K_p(mr^2 + J)} \quad (36)$$

$$K_x = \left(-\frac{J\kappa}{K_p(mr^2 + J)} + 1\right) \quad (37)$$

dan  $K_m$  ditentukan berdasarkan tingkat kesalahan penjejakan yang diinginkan. Secara diagram struktur kontrol yang dihasilkan diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur kontrol traksi berbasis rekonstruksi keadaan kecepatan.

Bentuk persamaan (27) dan persamaan (28) dapat diterapkan pada kasus diskrit, dengan diskritisasi dapat diperoleh bentuk berikut.

$$\dot{\omega}_m(k+1) = a_m \omega_m(k) + b_m \omega_c(k) \quad (38)$$

$$\dot{\omega}(k+1) = a \omega(k) + b u(k) + \phi(k) \quad (39)$$

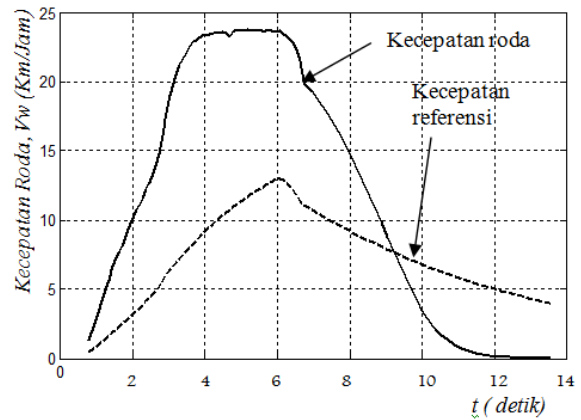
### III. HASIL DAN DISKUSI

Metode kontrol yang diusulkan diterapkan pada eksperimen untuk mengontrol roda penggerak kiri dan kanan mobil elektrik mini sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8 dengan momen inersia roda penggerak 0.37 kgm<sup>2</sup> dan massa total 200 kg.

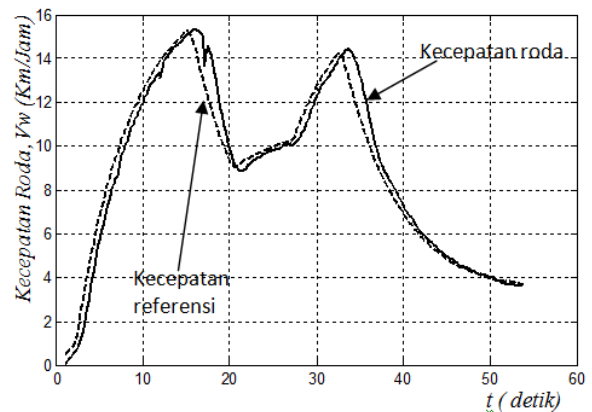


Gambar 8. Mobil elektrik mini.

Sistem kontrol diuji dalam beberapa kondisi. Pertama untuk mengontrol kecepatan roda saja (roda dijalankan bebas tanpa menyentuh jalan) dengan hasil yang diperlihatkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.

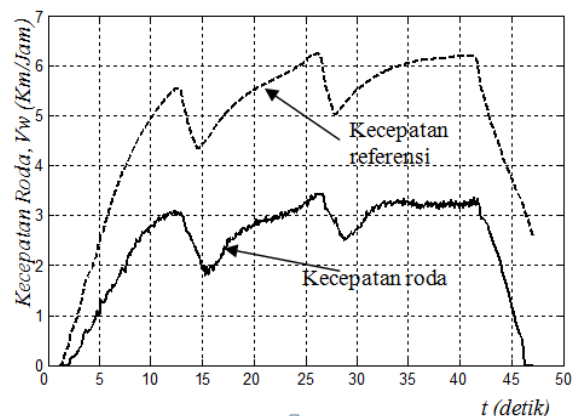


Gambar 9. Respons kecepatan roda tanpa pengontrol.



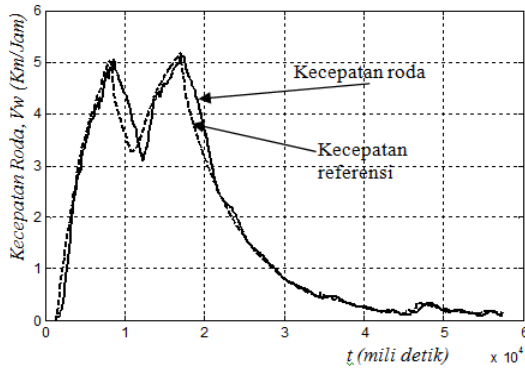
Gambar 10. Respons kecepatan roda dengan pengontrol.

Kedua, sistem kontrol diterapkan pada kendaraan dalam kondisi berjalan. Gambar 11 memperlihatkan respon kecepatan roda tanpa pengontrol dibandingkan dengan kecepatan roda referensi. Gambar 12 memperlihatkan respon kecepatan roda setelah pengontrol dijalankan.



Gambar 11. Respon kecepatan roda ketika mobil berjalan tanpa pengontrol.

Gambar 9 sampai dengan Gambar 12 tersebut memperlihatkan bahwa sistem kontrol dapat bekerja secara efektif untuk mengatur kecepatan roda agar mengikuti nilai kecepatan referensi.

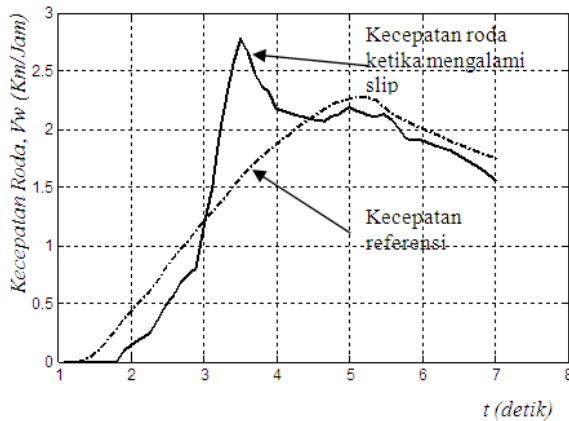


Gambar 12. Respon kecepatan roda ketika mobil berjalan dengan pengontrol.

Ketiga, eksperimen dilakukan dengan melewati satu roda penggerak pada lintasan yang di buat lebih licin. Lintasan licin ini dibangun dengan memberikan sabun pada permukaan kertas yang halus. Gambar 13 berikut menunjukkan lintasan licin yang di gunakan untuk menguji performansi strategi kontrol.

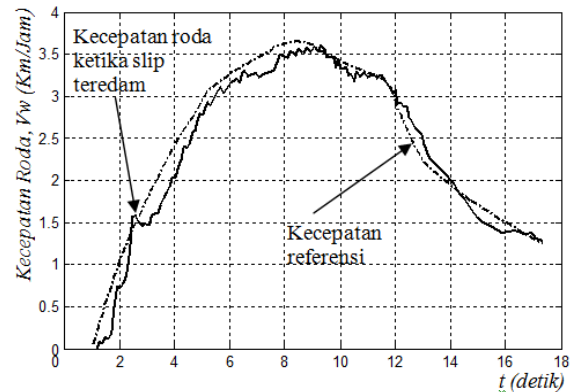


Gambar 13. Lintasan licin.



Gambar 14. Roda tanpa pengontrol mengalami slip.

Grafik pada Gambar 14 dan Gambar 15 menunjukkan hasil yang diperoleh dari data kondisi kecepatan roda belakang sebelah kiri ketika slip terjadi pada lintasan licin yang telah dibuat.



Gambar 15. Pengontrol dapat mengurangi terjadinya slip roda.

Hasil eksperimen di atas menunjukkan bahwa implementasi pengontrolan traksi berbasis keadaan kecepatan model roda dapat mengurangi terjadinya slip secara efektif. Dari Gambar 15 diketahui bahwa performa pengontrolan dalam mengurangi slip menunjukkan nilai *overshoot* maksimum diperoleh 9,8%, *rise time* 3,1 detik, *settling time* 8 detik dan nilai kesalahan keadaan rata rata 7%.

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari pembahasan dan kegiatan eksperimen adalah:

- Slip yang terjadi pada kendaraan dapat di kurangi dengan mengurangi torsi masukan pada roda.
- Agar slip yang terjadi minimum maka torsi masukan pada roda tidak lebih dari besarnya nilai torsi maksimum tertentu.
- Hasil pengujian menunjukkan bahwa dalam proses pengurangan slip, sinyal respon mempunyai *overshoot* maksimum 9,8%, *rise time* 3,1 detik, dan *settling time* 8 detik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jonasson K., "Control of hybrid electric vehicles with diesel engines," *Media-Tryck*, Lund University, 2005, ISBN 91-88934-38-1.
- [2] Lennon, William K. and Kevin M., Passino, "Intelligent control for brake systems", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 7, No. 2, March 1999
- [3] Fujimoto, H., Saito T. and Noguchi T., "Motion stabilization control of electric vehicle under snowy conditions based on yaw-moment observer", *IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (AMC2004)*, pp. 35-40, 2004.

- [4] Allotta, B., Colla, V. and Malvezzi, M., "Train position and speed estimation using wheel velocity measurements", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit Publisher Professional Engineering Publishing*, 207, 2002.
- [5] Alvarez, L., et al., "Dynamic friction model-based tire-road friction estimation and emergency braking control", *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, Volume 127, pp. 22, 2005.
- [6] Tanelli, M., Savaresi, S.M. and Cantoni, C., "Longitudinal vehicle speed estimation for traction and braking control systems, Computer Aided Control System Design", *2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, 2006.
- [7] Zheng, K., et al., "A Design approach for observer-based robust traction control with PMSM", *SICE-ICASE International Joint Conferenc*, 2006.
- [8] Yin, D. and Hori, Y., "A Novel traction control without chassis velocity for electric vehicles", *EVS24 Stavanger*, Norway, May 13-16, 2009.
- [9] Rajamani, R., "Vehicle dynamics and control", *Springer*, 2006.