

ANALISA DAYA UNTUK IDENTIFIKASI DIRI KENDARAAN OTONOMOS DUA RODA

Estiko Rijanto

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI, Jl. Cisitua No.21/154 D, Bandung 40135

ABSTRAK

Analisa Daya Untuk Identifikasi Diri Kendaraan Otonomos Dua Roda. Kendaraan otonomos dua roda menjadi alternatif untuk aplikasi-aplikasi yang berorientasi misi baik di dalam gedung seperti alat angkut dokumen maupun di ruang terbuka seperti penjinak ranjau. Agar misi yang dimandatkan dapat tercapai maka kendaraan otonomos tersebut perlu memiliki kemampuan identifikasi diri. Makalah ini mengusulkan sebuah metoda untuk mewujudkan kemampuan identifikasi diri kendaraan otonomos dua roda berbasis analisa daya. Analisa daya dilakukan menggunakan pendekatan dinamika mekanik-elektrik, dengan mengkaji pengaruh beban muatan, kecepatan laju kendaraan, dan kemiringan jalan pada konsumsi daya.

Kata kunci: *analisa daya, identifikasi diri, kendaraan otonomos, dinamika mekanik-elektrik.*

ABSTRACT

Power Analysis for Self Identification of Two Wheels Autonomous Vehicles. A two wheels autonomous vehicle is an alternative choice for mission oriented applications such as transportation of documents in a building or bombs eliminator in open space. In order to successfully accomplish a given mission such a two wheels autonomous vehicle should be equipped with capability of self identification. This paper proposes a method to realize self identification capability of a two wheels autonomous vehicle based on power analysis. Mechanical-electrical dynamics approach is used to conduct power analysis by evaluating the effect of load, velocity and inclination of the road on the power consumption.

Key words: *power analysis, self identification, autonomous vehicle, mechanical-electrical dynamics.*

1. PENDAHULUAN

Kendaraan otonomos dua roda memiliki kemampuan manufer yang tinggi seperti dapat dilihat pada kinematik yang mengatur gerakannya [1]. Selain dilengkapi sensor-sensor yang mampu membaca keadaan lingkungan, kendaraan ini juga perlu dilengkapi sensor-sensor untuk mengetahui kondisinya sendiri setiap saatnya. Variabel-variabel yang tidak dapat dibaca langsung menggunakan sensor, dapat diestimasi menggunakan metoda tertentu seperti halnya koefisien gesek antara roda dengan jalan dapat diestimasi menggunakan metoda yang diusulkan oleh H.J.Hong dan H.Y.Jo [2]. Kendaraan otonomos mendapat catu daya dari battery, dan jenis battery yang dipakai perlu dipilih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan [3]. Jika kendaraan otonomos digunakan untuk aplikasi menyangkut keamanan seperti penjinak bom, maka perlu dilakukan *fault tree analysis* dan *failure mode and effect analysis* [4]. Semua ini berhubungan dengan kemampuan identifikasi diri kendaraan otonomos yang dibuat.

Untuk mengurangi kemungkinan gagal dalam melakukan misi yang dimandatkan, sebuah kendaraan otonomos perlu dilengkapi kemampuan identifikasi diri. Makalah ini mengusulkan sebuah metoda yang dapat dipakai untuk identifikasi diri. Metoda ini berbasis analisa daya dengan menggunakan pendekatan dinamika mekanik-elektrik.

Susunan makalah ini adalah sebagai berikut. Bab 1 adalah pendahuluan. Bab 2 menguraikan analisa dinamika mekanik, dan bab 3 menjelaskan analisa dinamika mekanik-elektrik. Bab 4 tentang sistem identifikasi diri yang diusulkan berdasarkan penjelasan pada bab 2 dan bab 3. Terakhir bab 5 tentang kesimpulan dan diskusi.

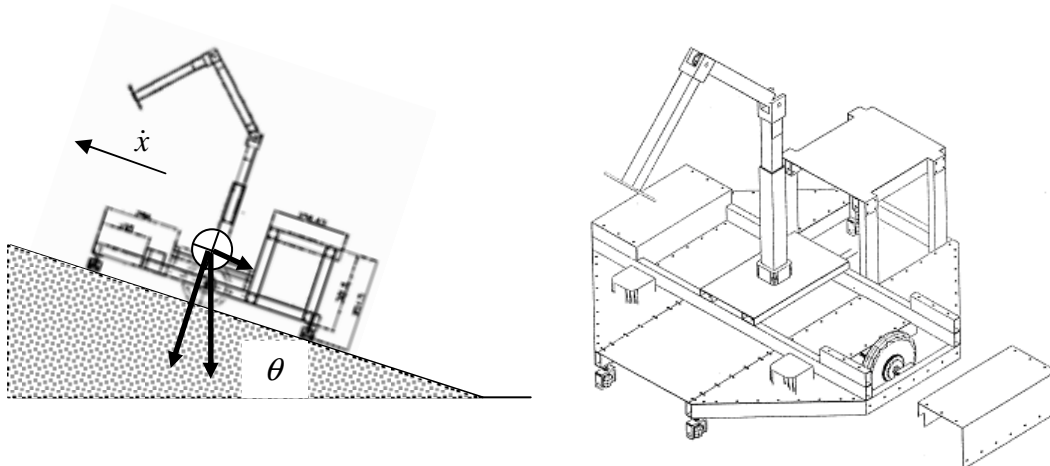
2. DINAMIKA MEKANIK

Gambar 1 menunjukkan sebuah kendaraan otonomos dua roda penjinak bom yang sedang dibuat oleh tim riset kendaraan otonomos di LIPI. Persamaan dinamika sebuah sistem mekanik yang melakukan gerak translasi secara umum dapat diekspresikan sebagai berikut.

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + Kx = \Sigma F \quad (1)$$

dimana: M adalah masa, C adalah koefisien damping, K adalah koefisien pegas, ΣF adalah total gaya yang bekerja, x , $\frac{dx}{dt}$, $\frac{d^2x}{dt^2}$ masing-masing adalah jarak, kecepatan, dan percepatan. Kendaraan otonomos pada gambar 1 tidak memiliki komponen damping dan pegas, oleh karena itu persamaan dinamikanya menjadi

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = \Sigma F \tag{2}$$



Gambar 1. Kendaraan Otonomos Dua Roda.

Total gaya yang bekerja pada robot pada arah gerak translasi meliputi: gaya traksi (gaya dorong) roda F_a , gaya gesek, F_f , yang berlawanan arah dengan arah kendaraan melaju, dan komponen gaya berat, F_w . Persamaan (2) dapat diekspresikan memakai gaya-gaya ini sebagai berikut.

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = F_a - F_f - F_w \tag{3}$$

dimana:

$$\left. \begin{aligned} F_f &= \mu Mg \times \cos(\theta) \\ F_w &= Mg \times \sin(\theta) \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

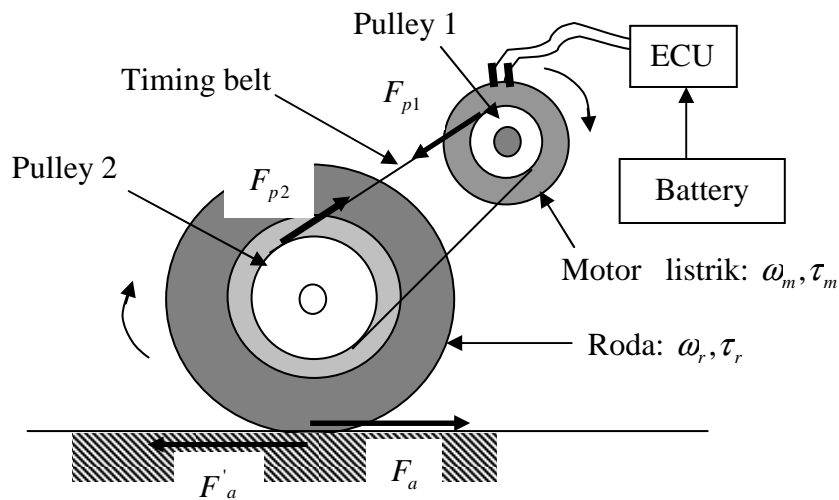
θ adalah sudut kemiringan jalan, μ adalah koefisien gesek antara roda dengan permukaan jalan, dan g adalah percepatan gravitasi.

Gaya dorong roda berasal dari motor listrik, dimana pada akhirnya nilai gaya ini tergantung pada nilai arus yang mengalir pada lilitan motor listrik DC yang digunakan. Gambar 2 menunjukkan mekanisme transmisi daya dari motor listrik ke roda. Dari

gambar 2 dapat diturunkan persamaan berdasarkan hukum kekekalan energi untuk mendapatkan hubungan sebagai berikut.

$$F_a = \frac{R_{p2} \times K_t}{R_r \times R_{p1}} \times I_m \tag{5}$$

dimana: R_r adalah panjang jari-jari roda, R_{p1} adalah panjang jari-jari pulley 1, R_{p2} adalah panjang jari-jari pulley 2, K_t adalah koefisien torsi motor listrik DC, dan I_m adalah arus listrik yang dialirkan ke lilitan motor listrik DC.



Gambar 2. Mekanisme Transmisi Daya

Kecepatan gerak translasi kendaraan \dot{x} juga dapat diturunkan berdasarkan hukum kekekalan energi untuk mendapatkan persamaan di bawah ini.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{V_m \times I_m}{F_a} \tag{6}$$

dimana: V_m adalah tegangan listrik yang dicatu ke motor listrik DC.

3.DINAMIKA MEKANIK-ELEKTRIK

Persamaan dinamika elektrik motor listrik DC dapat ditulis sebagai berikut [5].

$$V_m(t) = L \frac{dI_m(t)}{dt} + RI_m(t) + V_E(t) \tag{7}$$

dimana L adalah induktansi motor listrik, R adalah nilai tahanan motor listrik (berikut kabel penghantar listrik), dan $V_E(t)$ adalah back-elektromotif-force (BEMF). Back-

elektromotif-force memiliki nilai yang proporsional dengan kecepatan putar motor listrik ω_m seperti diekspresikan dalam persamaan berikut ini.

$$V_E(t) = K_E \omega_m(t) \tag{8}$$

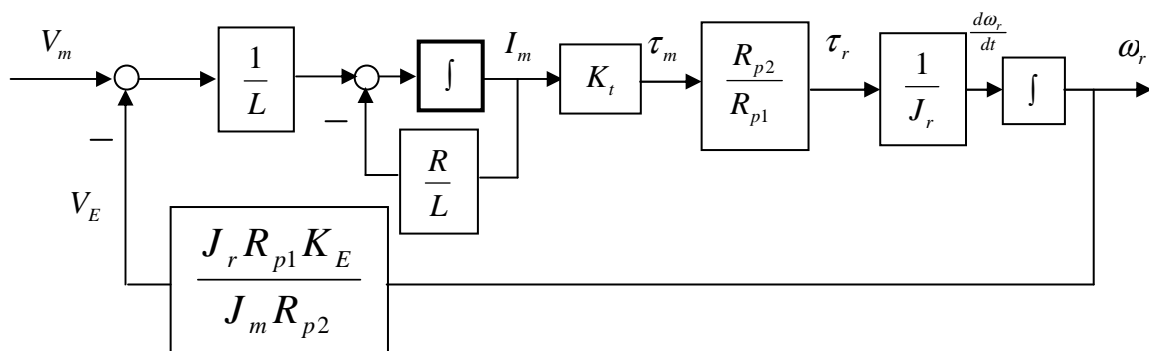
dimana K_E adalah koefisien BEMF.

Dengan mensubstitusikan persamaan (8) ke persamaan (7), dan berdasarkan hukum kekekalan energi dapat diturun 2 persamaan diferensial yang mengekspresikan dinamika mekanik-elektrik sebagai berikut.

$$L \frac{dI_m(t)}{dt} + RI_m(t) = V_m(t) - \frac{R_{p1} J_r}{R_{p2} J_m} K_E \omega_r(t) \tag{9}$$

$$\frac{R_{p1} J_r}{R_{p2}} \frac{d\omega_r(t)}{dt} = K_t I_m(t) \tag{10}$$

dimana: J_m adalah moment inertia sumbu motor dan pulley 1, J_r adalah moment inertia roda penggerak dan pulley 2, dan ω_r adalah kecepatan putar roda penggerak. Persamaan (9) dan (10) di atas dapat ditunjukkan dalam bentuk diagram kotak seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Kotak Dinamika Mekanik-Elektrik

Gambar 3 menunjukkan dinamika mekanik-elektrik penggerak utama kendaraan otonomos untuk 1 buah motor listrik (sebelah kiri atau sebelah kanan), dimana hanya terdapat gerak rotasi. Pada saat tegangan listrik V_m diumpan ke motor listrik melalui ECU, arus listrik I_m akan mengalir dan memproduksi torsi sumbu motor listrik τ_m . Seperti ditunjukkan pada gambar 2, torsi sumbu motor ditransmisi melalui mekanisme pulley-belt dan diperbesar nilainya menjadi torsi sumbu roda τ_r , yang menggerakkan moment inertia roda dan pulley 2. Roda mulai berputar dari kondisi awal ($\frac{d\omega}{dt} = 0, \omega = 0$) menjadi kondisi dimana roda mengalami percepatan sampai pada kondisi seimbang dimana roda berputar dengan kecepatan tetap.

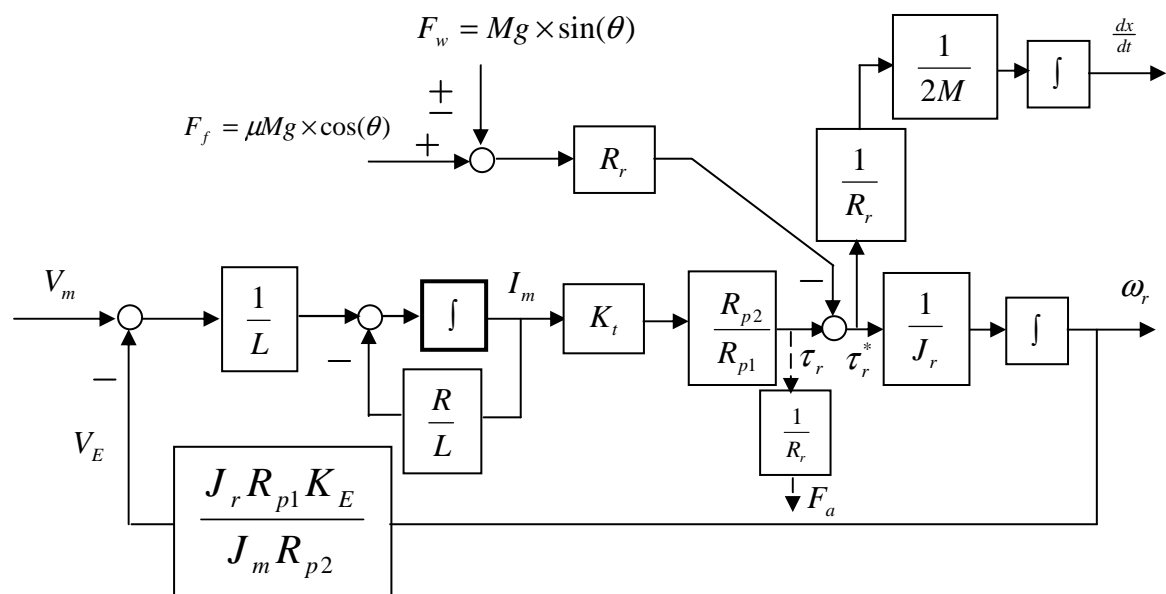
Dengan asumsi bahwa pengaruh induktansi lilitan motor listrik pada dinamika sangat kecil dan dapat diabaikan, maka dapat diturunkan persamaan sebagai berikut.

$$V_m = \alpha_1 \tau_r + \alpha_2 \omega_r \tag{11}$$

$$P_r = -\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \tau_r^2 + \frac{V_m}{\alpha_2} \tau_r \tag{12}$$

dimana $\alpha_1 = \frac{R_{p1}R}{R_{p2}K_t}$, $\alpha_2 = \frac{R_{p1}J_r K_E}{R_{p2}J_m}$.

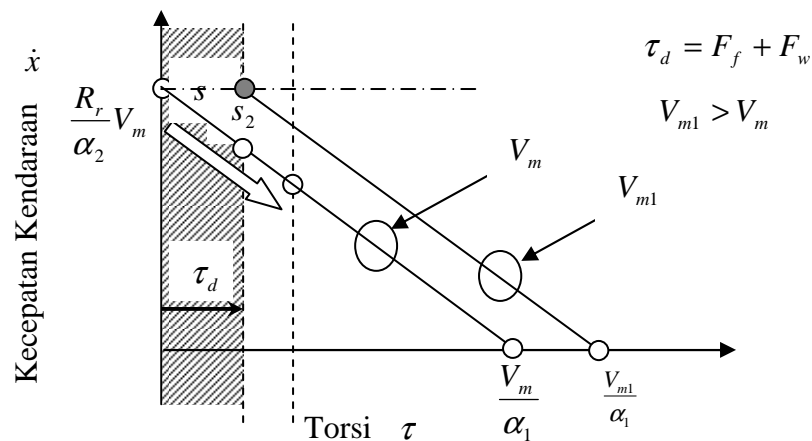
Gambar 3 dan persamaan (11), (12) menjelaskan hubungan antara tegangan listrik yang dicatu oleh battery, torsi roda, kecepatan putar roda, dan daya roda, pada saat roda tidak bersentuhan (bergesekan) dengan permukaan jalan. Pada saat roda melaju dipermukaan jalan, maka terdapat gabungan gerak rotasi dan gerak translasi, dimana pengaruh gaya gesek dan gaya komponen gaya berat, dapat diperhitungkan untuk melakukan analisa daya. Untuk itu, persamaan (3), (4), (5), (9) dan (10) digabung untuk membuat sebuah diagram kotak seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Kombinasi Dinamika Mekanik-Elektrik Gerak Rotasi dan Translasi.

Gambar 5 menunjukkan tegangan listrik dari battery, kecepatan kendaraan melaju, dan torsi roda penggerak dalam keadaan stabil kendaraan melaju dengan kecepatan maksimal dengan kondisi jalan datar atau menanjak. Dengan adanya pengaruh gaya gesek roda dan komponen gaya berat, maka kecepatan maksimal yang dapat diwujudkan pada saat keadaan seimbang akan mengicil, kondisi kesetimbangan berpindah dari titik s_1 ke

titik s_2 . Semakin besar pengaruh torsi τ_d (misalnya karena pengaruh beban muatan, kemiringan jalan), maka kecepatan maksimal yang dapat diwujudkan semakin kecil. Jika ingin mempertahankan besar kecepatan maksimal, maka diperlukan battery dengan tegangan listrik yang lebih tinggi dan dengan memperhatikan kenaikan beban karena bertambahnya berat battery.



Gambar 5. Kondisi Stabil Pada Kecepatan Maksimal.

4. SISTEM IDENTIFIKASI DIRI

Tujuan sistem identifikasi diri adalah untuk: (1) mengetahui jumlah energi yang masih tersisa pada battery, (2) mengambil keputusan apakah misi yang diberikan dapat terlaksana dengan simpanan energi yang tersedia dan menentukan kapan battery harus di-charge, dan (3) memonitor kondisi kesehatan dan gerak kendaraan otonomos.

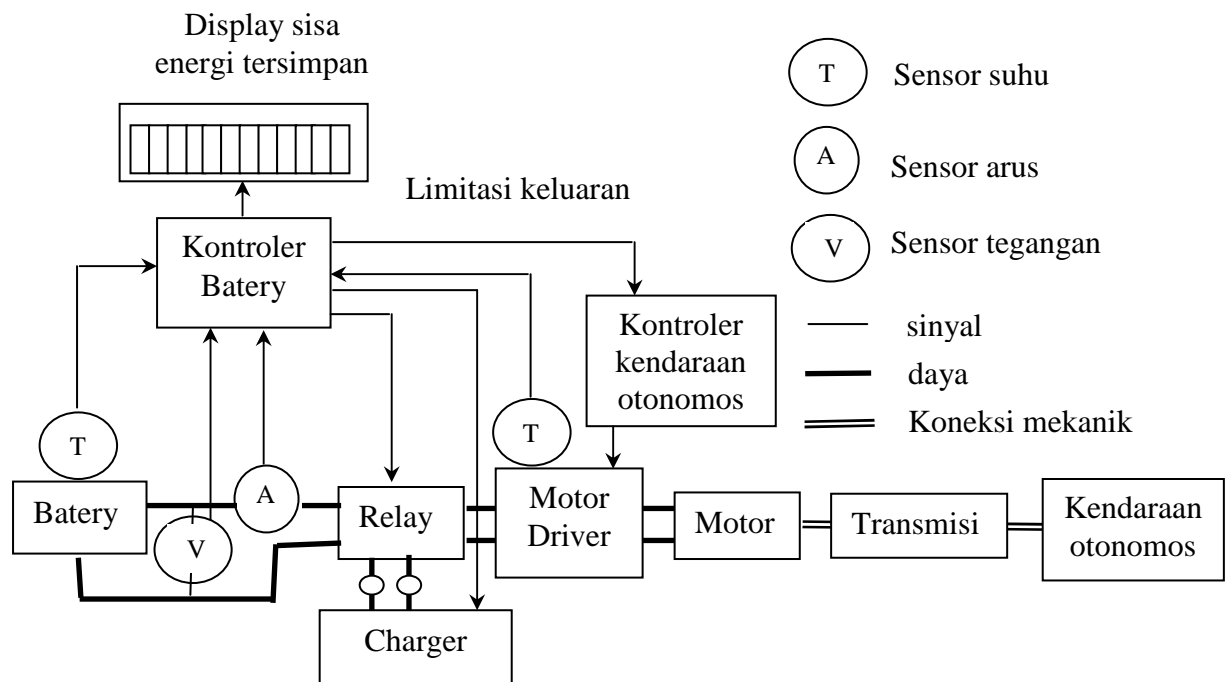
Tujuan pertama dapat dilakukan dengan memasang sensor tegangan listrik yang dicatu oleh battery. Berdasarkan hasil analisa pada gambar 4, diperlukan juga sensor untuk memonitor nilai BEMF agar dapat menghitung nilai tegangan battery yang sebenarnya.

Makalah ini mengusulkan sebuah metoda untuk mengambil keputusan apakah misi yang diberikan dapat terlaksana dengan simpanan energi yang tersedia dan menentukan kapan battery harus di-charge, berdasarkan dinamika yang telah dibuat seperti ditunjukkan pada gambar 4. Ide dasarnya adalah melakukan simulasi di dalam prosesor dengan memasukkan nilai-nilai yang diketahui pada saat sebuah misi diberikan, misalnya: jarak yang akan ditempuh, besarnya friksi selama perjalanan (dapat diestimasi),

dan kemiringan jalan sepanjang perjalanan. Dengan simulasi menggunakan gambar 4, dapat diketahui pada awal sebelum kendaraan otonomos melakukan tindakan berapa jumlah energi yang akan diperlukan untuk merampungkan sebuah misi yang diberikan. Dengan membandingkan jumlah energi yang diperlukan dengan jumlah energi yang tersimpan, maka dapat dilakukan pengambilan keputusan secara kuantitatif.

Kondisi kesehatan dan gerak kendaraan otonomos dapat dimonitor dengan menggunakan sensor suhu, sensor arus listrik, dan sensor tegangan listrik. Jika nilai BEMF kecil mendekati nol dan nilai arus yang mengalir besar, berarti kendaraan otonomos dalam kondisi stuck.

Gambar 4 dapat digunakan menjadi dasar desain/rekayasa sistem identifikasi diri dengan berbagai pengembangannya. Salah satu contoh konfigurasi sistem identifikasi diri yang dapat digunakan ditunjukkan pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Konfigurasi Sistem Identifikasi Diri

5. KESIMPULAN DAN DISKUSI

1. Makalah ini telah menurunkan satu set persamaan yang mengekspresikan dinamika mekanik-elektrik sebuah kendaraan otonomos dua roda yang memakai mekanisme transmisi daya berupa pulley-belt. Dinamika mekanik-elektrik tersebut memakai parameter-parameter motor listrik (seperti: tahanan, induktansi,

koefisien torsi, koefisien BEMF), parameter-parameter mekanik (seperti: moment inertia, jari-jari roda dan pulley), variabel listrik (seperti: tegangan battery, arus listrik yang mengalir pada lilitan motor listrik), variabel mekanik (seperti: torsi roda, kecepatan putar roda, kecepatan kendaraan, masa beban muatan, koefisien gesek roda), dan variabel kemiringan jalan.

2. Dinamika mekanik-elektrik yang telah dibuat dapat digunakan untuk melakukan analisa daya secara numerik (simulasi di dalam prosesor yang mengendalikan kendaraan otonomos), sehingga sebelum melakukan tindakan atas misi yang diberikan dapat diestimasi berapa jumlah energi yang dibutuhkan.
3. Jumlah energi yang tersimpan di dalam battery dapat dimonitor dengan membuat konfigurasi sistem identifikasi diri yang diusulkan. Konfigurasi sistem identifikasi diri ini juga berfungsi untuk mengetahui kondisi kesehatan dan gerak kendaraan otonomos, termasuk: suhu, keadaan stuck, keadaan roda berputar mengambang, kabel/sambungan terputus dan sebagainya.
4. Informasi mengenai estimasi jumlah energi yang dibutuhkan dari hasil analisa daya, dan informasi tentang jumlah energi yang tersimpan digunakan oleh kendaraan secara otomatis untuk mengambil keputusan sendiri kapan battery harus di-charge, sehingga terwujud sistem identifikasi diri untuk mengurangi kemungkinan kegagalan dalam menjalankan misi yang diberikan.

REFERENSI

- [1] Estiko Rijanto, *Differential Mobile Robot*, Monograph, Tokyo, 1996.
- [2] H.J.Hong and H.Y.Jo, "Prediction of Friction Between Tire and Road Using Power Train Model", Proceeding of the International Conference on Advanced Vehicle Control, 1998, pp. 135- 140.
- [3] Committee of Electrical Vehicle Hand Book, *Electrical Vehicle Hand Book* (in Japanese), Maruzen Publisher, Tokyo, 2001.
- [4] Masahiro Ichikawa, *Reliability Engineering* (in Japanese), Shokabo Publisher, Tokyo, 1990.
- [5] Minoru Hayase, *Introduction of Control System Engineering* (in Japanese), Ohmsha Publisher, Tokyo, 1990.