

# Pemodelan dan Simulasi Kendaraan Listrik Berbasis Motor Arus Searah pada MATLAB/Simulink

## *Modeling and Simulation of an Electric Vehicle Based on Direct Current Motor on MATLAB/Simulink*

Adnan Rafi Al Tahtawi

Program Studi Teknik Komputer, Politeknik Sukabumi, Jl. Babakan Sirna No. 25 Kota Sukabumi

Email: [adnanrafi@polteksmi.ac.id](mailto:adnanrafi@polteksmi.ac.id)

---

### **Abstract**

*Electric vehicle is one of vehicles which not have pollution due to environmental-friendly characteristic. Recently, the researches about electric vehicles, especially electric car, are still being conducted as well as hardware realization or software simulation. In this paper, modeling and simulation of an electric vehicle based Direct Current Motors (DCMs) using MATLAB/Simulink will be presented. Interaction between vehicle's wheels and the road can be simulated using two units of DCM with linked axis of rotation. DCM1 and DCM2 are assumed respectively as electric motor drive and various road profiles. Input of DCM1 is speed profile, while the other is road's slope angle profile. Therefore, with using this model, the amount of power consumption which is needed by the vehicle for each scenario designed can be observed easily.*

**Keywords:** *Electric vehicle, power, direct current motor (DCM), MATLAB/Simulink*

### **Abstrak**

Kendaraan listrik merupakan jenis kendaraan yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi udara. Saat ini penelitian terkait kendaraan listrik, khususnya mobil listrik, masih terus dilakukan baik secara simulasi maupun eksperimen langsung. Pada makalah ini, akan dimodelkan dan disimulasikan mobil listrik menggunakan MATLAB/Simulink berbasis motor arus searah (MAS). Interaksi antara roda mobil dengan permukaan jalan dapat disimulasikan menggunakan dua buah MAS yang saling terhubung sumbu putarnya. MAS1 dan MAS2 berturut-turut diasumsikan sebagai motor listrik dan profil jalan. Masukan pada MAS1 adalah profil kecepatan dan masukan MAS2 adalah profil sudut kemiringan jalan. Dengan digunakannya model ini, besarnya konsumsi daya yang diperlukan oleh mobil listrik untuk setiap skenario yang dirancang dapat diamati dengan mudah.

**Kata kunci:** Mobil listrik, daya, motor arus searah (MAS), MATLAB/Simulink

---

## **1. Pendahuluan**

Jumlah kendaraan bermotor yang semakin hari semakin bertambah akan berdampak pada lebih besarnya lagi tingkat polusi udara di muka bumi. Hal ini tentu saja menjadi tugas besar bagi umat manusia untuk terhindar dari kondisi tersebut. Penelitian-penelitian terkait kendaraan yang ramah lingkungan pun masih terus dilakukan, salah satunya yaitu tentang mobil listrik. Seperti yang diketahui bahwa energi listrik merupakan salah satu jenis energi yang ramah lingkungan. Dengan adanya kendaraan yang menggunakan sumber energi listrik, maka tingkat pencemaran udara dapat ditekan.

Saat ini penelitian terkait mobil listrik telah banyak dilakukan baik secara eksperimen *hardware* langsung maupun secara simulasi *software*. Pada makalah ini akan dimodelkan serta disimulasikan sebuah mobil listrik dengan menggunakan motor arus searah (MAS) sebagai komponen utamanya pada MATLAB/Simulink. Sebelumnya, simulasi mobil listrik secara *software* telah dilakukan. Pemodelan mobil listrik berbasis MATLAB/Simulink menggunakan mesin sinkron sebagai komponen utamanya telah dilakukan oleh [1]. Selain itu pada [2]-[4], mobil listrik juga telah dimodelkan pada MATLAB/Simulink dengan menggunakan persamaan dinamika kendaraan. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah pada makalah ini skema pemodelan digunakan dengan menggunakan dua unit MAS sebagai komponen utamanya. Kedua MAS tersebut saling terhubung sumbu putarnya satu sama lain. MAS1 diasumsikan sebagai mobil listrik sedangkan

MAS2 diasumsikan sebagai beban yang diterima. Dengan menggunakan skema ini, simulasi secara *hardware* dapat lebih mudah dilakukan karena digunakannya MAS yang memiliki karakteristik lebih sederhana jika dibandingkan dengan motor listrik lainnya, seperti yang dilakukan pada [5] dan [6]. Selain itu, dengan menggunakan model yang dirancang, besarnya konsumsi daya mobil listrik yang diperoleh dapat diketahui untuk setiap skenario profil jalan yang dirancang.

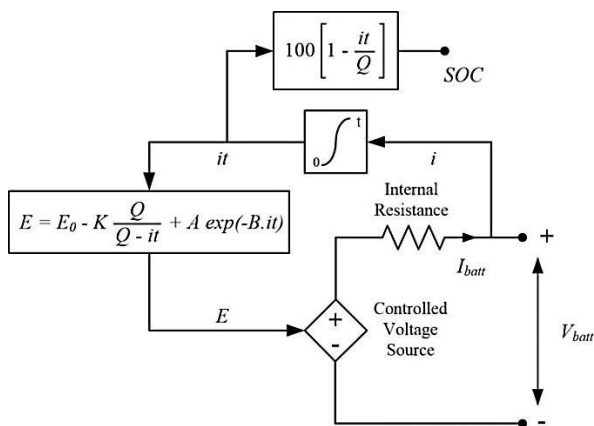
## 2. Pemodelan baterai

Model baterai yang digunakan yaitu terdiri dari sumber tegangan variabel dan resistansi internal yang tersusun seri. Sinyal variabel untuk sumber tegangan mengacu pada [7] yaitu sebagai berikut:

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} + A \exp(-B.it) \quad (1)$$

$$V_{batt} = E - Ri \quad (2)$$

dengan  $E$  adalah tegangan kendali,  $E_0$  adalah tegangan konstan baterai,  $K$  adalah tegangan polar,  $Q$  adalah kapasitas baterai,  $A$  adalah amplitudo daerah eksponensial,  $B$  adalah invers konstanta waktu daerah eksponensial,  $V_{batt}$  adalah tegangan aktual baterai,  $R$  adalah resistansi dan  $i$  adalah arus.



Gambar 1. Model baterai

## 3. Pemodelan gaya pada mobil bergerak

Interaksi antara roda mobil dengan permukaan jalan dapat dimodelkan dengan dua buah MAS yang saling terhubung sumbu putarnya. MAS1 diasumsikan sebagai kendaraan (mobil) sedangkan MAS2 diasumsikan sebagai profil beban. Karena model yang digunakan adalah MAS, maka diperlukan perhitungan tegangan masukan MAS yang mampu merepresentasikan kondisi interaksi sebenarnya antara mobil dan permukaan jalan.

Gaya yang berinteraksi pada mobil bergerak dimodelkan pada Gambar 2. Besarnya perubahan kecepatan mobil saat melintas dipermukaan jalan adalah:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\sum F_t - \sum F_{tr}}{\delta m_v} \quad (3)$$

dimana  $\frac{dv}{dt}$  adalah perubahan kecepatan terhadap waktu (percepatan),  $\sum F_t$  adalah total gaya traksi kendaraan,  $\sum F_{tr}$  adalah total gaya resistif,  $\delta$  adalah faktor massa dan  $m_v$  adalah total massa kendaraan. Gaya resistif kendaraan terdiri dari gaya resistif putaran roda ( $F_r$ ), gaya aerodinamis ( $F_d$ ) dan gaya gravitasi ( $F_g$ ). Ketiga gaya tersebut diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

$$F_r = \text{sign}(v) C_r m_v g \cos(\theta) \quad (4)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \text{sign}(v + v_w^2) \rho_a A_f C_d (v + v_w^2) \quad (5)$$

$$F_g = m_v g \sin(\theta) \quad (6)$$

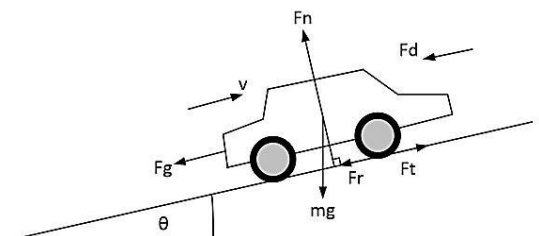
dimana  $v$  adalah kecepatan,  $v_w$  adalah kecepatan angin,  $m_v$  adalah massa kendaraan,  $g$  adalah percepatan gravitasi,  $\theta$  adalah sudut kemiringan jalan,  $\rho_a$  massa jenis udara,  $C_r$  dan  $C_d$  berturut-turut adalah koefisien resistansi roda dan aerodinamis, terakhir  $A_f$  adalah luas area depan kendaraan. Untuk kesederhanaan, massa jenis udara ( $\rho_a$ ) pada kondisi udara kering dapat ditentukan sebesar  $1 \text{ kg/m}^3$  dan kecepatan angin ( $v_w$ ) dapat diabaikan. Dengan demikian total gaya traksi yang diperlukan dapat ditulis:

$$F_t = m_v \frac{dv}{dt} + C_r m_v g \cos(\theta) + \frac{1}{2} A_f C_d v^2 + m_v g \sin(\theta) \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat dihitung besarnya torsi yang diperlukan roda sebagai berikut:

$$T = F_t r T_{sc} \quad (8)$$

dimana  $T$  adalah torsi,  $T_{sc}$  adalah skala torsi dan  $r$  adalah jari-jari roda.



Gambar 2. Gaya yang berinteraksi

## 4. Pemodelan motor arus searah (MAS)

Pada bagian ini akan dimodelkan dua buah MAS yang terhubung sumbu putarnya seperti pada Gambar 3. Kedua MAS tersebut dimodelkan

secara elektrik dan mekanik. Persamaan elektrik MAS dapat ditulis:

$$V_{in} = Ri + L \frac{di}{dt} + V_{bemf} \quad (9)$$

dimana  $V_{in}$  adalah tegangan masukan MAS,  $R$  dan  $L$  berturut-turut adalah resistansi dan induktansi,  $i$  adalah arus dan  $V_{bemf}$  adalah tegangan yang disebabkan gaya balik elektromotif. Sedangkan persamaan mekanik MAS ketika terhubung sumbu putar dengan MAS lain adalah:

$$T_{M1} + T_{M2} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (10)$$

dimana  $T_{M1}$  dan  $T_{M2}$  adalah torsi MAS1 dan MAS2,  $J$  adalah momen inersia dan  $\frac{d\omega}{dt}$  adalah percepatan sudut. Dengan menggunakan hubungan:

$$V_{bemf} = k\omega \quad (11)$$

dan

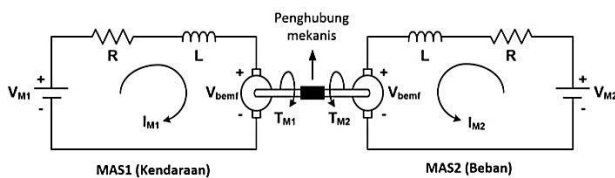
$$i = \frac{T}{k} \quad (12)$$

dimana  $k$  adalah konstanta motor dan  $\omega$  adalah kecepatan sudut, maka persamaan elektrik dan mekanis kedua MAS adalah

$$V_{M1} = R \frac{T_{M1}}{k} + k\omega \quad (13)$$

$$V_{M2} = R \frac{T_{M2}}{k} + k\omega = R \frac{J \frac{d\omega}{dt} - T_{M1}}{k} + k\omega \quad (14)$$

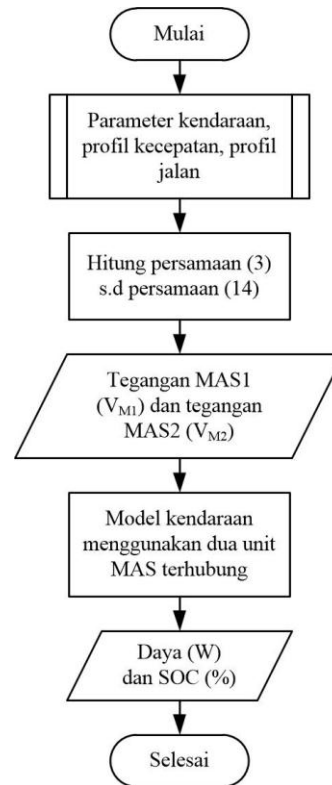
dimana  $V_{M1}$  dan  $V_{M2}$  adalah tegangan masukan kedua MAS.



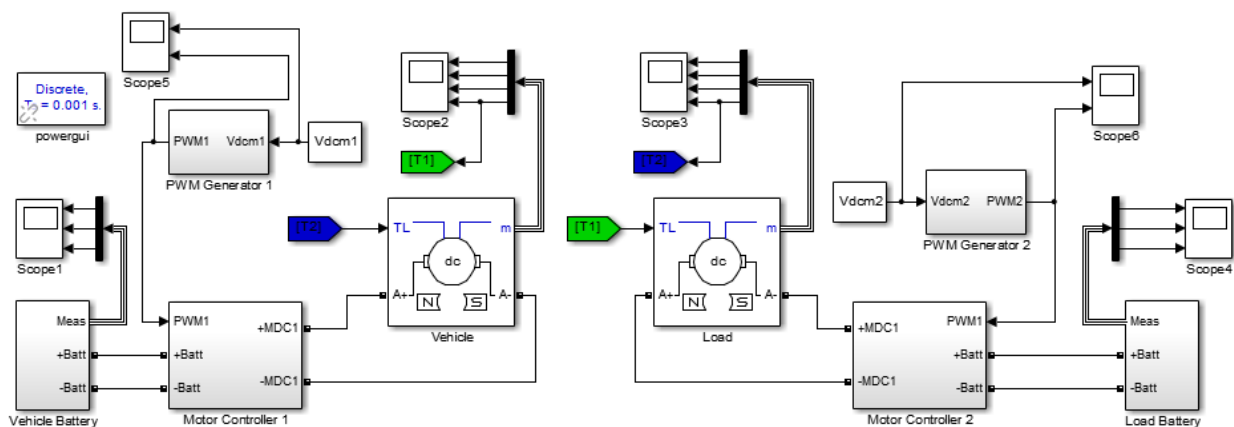
Gambar 3. Dua unit MAS yang terhubung

## 5. Desain model pada MATLAB/Simulink

Model mobil listrik berbasis MAS dirancang pada MATLAB/Simulink. Tahapan pemodelan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4. Komponen utama yang digunakan yaitu DC Machine pada library *Simscape/SimPowerSystems/Machines*. Model yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 4. Diagram alir pemodelan



Gambar 5. Model mobil listrik berbasis MAS

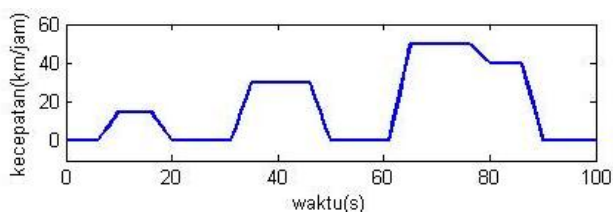
Kedua MAS tersebut dihubungkan dengan menggunakan kedua torsi yang dihasilkan (T1 dan T2). Tegangan masukan yang diperlukan untuk kedua MAS ( $V_{dcm1}$  dan  $V_{dcm2}$ ) tersebut diperoleh berdasarkan persamaan (13) dan (14). Tegangan tersebut diperoleh dari kecepatan dan profil kemiringan jalan yang ditentukan. Selanjutnya, kedua tegangan tersebut diberikan ke kedua MAS melalui sinyal PWM.

## 6. Hasil simulasi

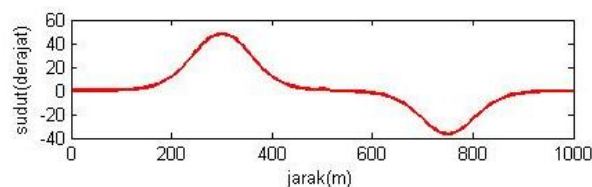
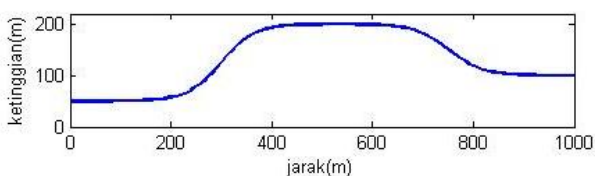
Untuk mengetahui hasil dari model yang dirancang, maka dilakukan simulasi pada MATLAB/Simulink. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *solver* ODE45 dan waktu *sampling*  $1e-03$  s. Adapun parameter kendaraan yang digunakan tersaji pada Tabel 1. Parameter tersebut diperoleh dengan mengacu pada [9]. Profil kecepatan yang diujikan terdapat dua jenis, yaitu konstan dan *stop and go*, sedangkan profil jalan yang dirancang yaitu datar dan berbukit. Profil kecepatan konstan yang dirancang yaitu 36 km/jam (10 m/s), sedangkan profil kecepatan *stop and go* tersaji pada Gambar 6. Profil jalan berbukit dirancang pada MATLAB/M-file dengan menggunakan persamaan linier parsial dan tersaji pada Gambar 7. Besarnya tegangan yang diperoleh untuk empat skenario yang dirancang juga tersaji pada Gambar 8.

**Tabel 1.** Parameter kendaraan

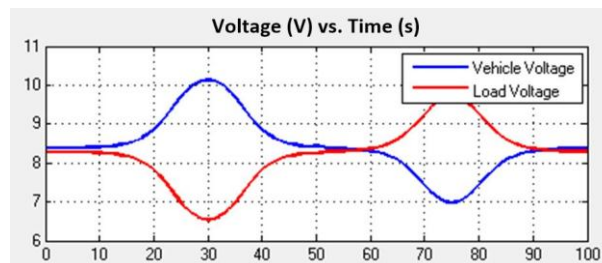
Parameter	Nilai
Massa <i>body</i>	800 Kg
Massa roda dan motor	10 Kg
Jari-jari roda	0,3 m
Rasio <i>gearbox</i>	1 : 5
Luas area depan	1,8 m <sup>2</sup>
Koefisien resistansi roda	0,01+3,6 <i>v</i>
Koefisien aerodinamis	0,55



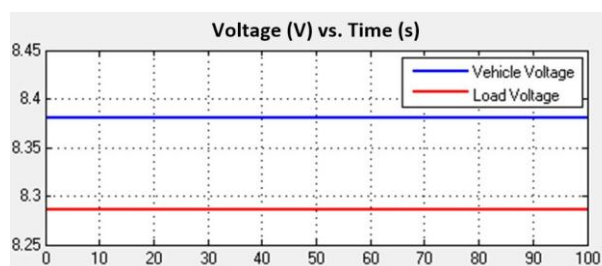
**Gambar 6.** Profil kecepatan *stop and go*



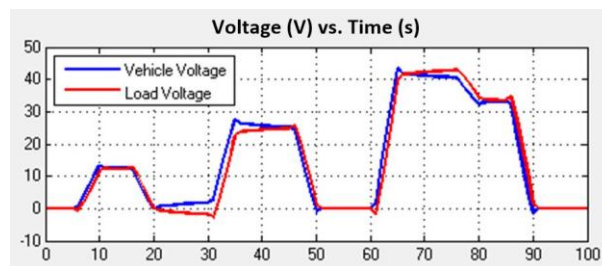
**Gambar 7.** Profil jalan berbukit beserta sudut kemiringannya



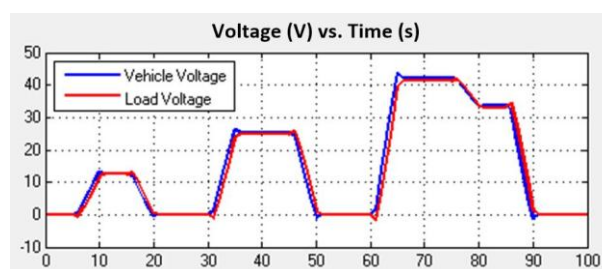
(a)



(b)



(c)

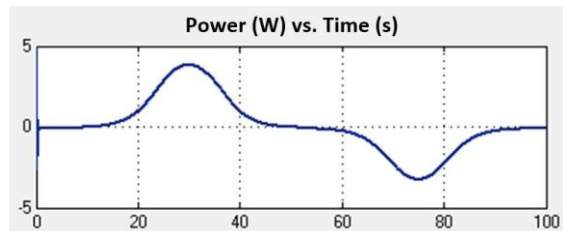


(d)

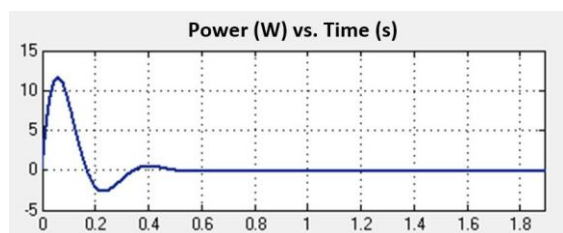
**Gambar 8.** Tegangan kedua MAS: (a) kecepatan konstan dan jalan berbukit, (b) kecepatan konstan dan jalan datar, (c) kecepatan *stop and go* dan jalan berbukit, (d) kecepatan *stop and go* dan jalan datar

Gambar 8 memperlihatkan besarnya tegangan yang diperoleh berdasarkan persamaan (13) dan (14) sesuai skenario yang dirancang. Baterai yang digunakan sebagai model yaitu Lithium-Ionium dengan tegangan nominal 3,7 V dan *rated capacity* 1 Ah. Banyaknya baterai yang digunakan yaitu 12

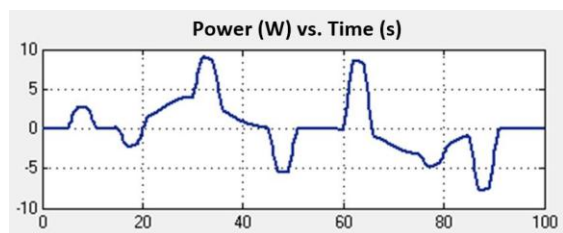
unit sehingga menghasilkan tegangan 51,68 V. Besarnya tegangan pada Gambar 8 terlihat tidak melebihi batas maksimum tegangan baterai. Hal ini terjadi karena proses *scaling* yang telah dilakukan sebelumnya. Besarnya daya yang diperlukan baterai untuk setiap skenario disajikan pada Gambar 9 dibawah ini.



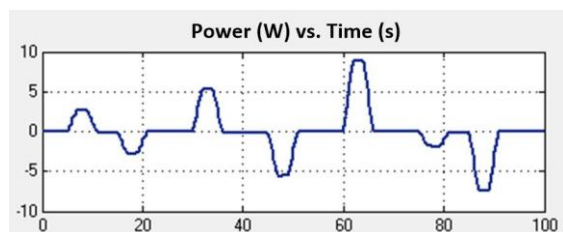
(a)



(b)

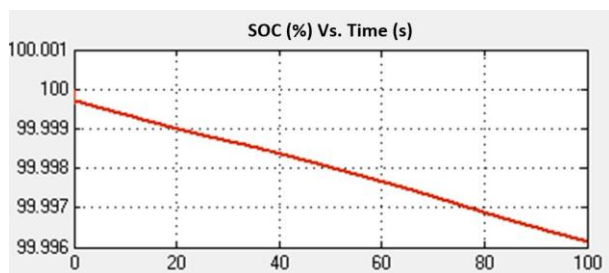


(c)

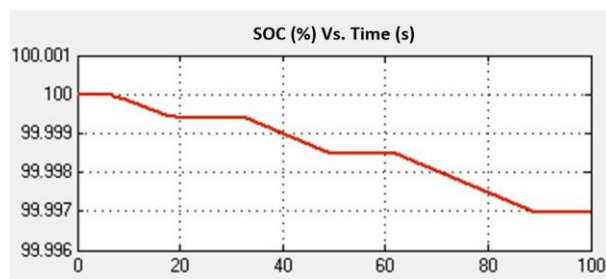


(d)

**Gambar 9.** Daya yang diperlukan: (a) kecepatan konstan dan jalan berbukit, (b) kecepatan konstan dan jalan datar, (c) kecepatan *stop and go* dan jalan berbukit, (d) kecepatan *stop and go* dan jalan datar



(a)



(b)

**Gambar 10.** SOC: (a) kecepatan konstan, (b) kecepatan *stop and go*

Sesuai dengan Gambar 9, besarnya daya yang diperlukan pada skenario (a) berbanding lurus dengan besarnya sudut permukaan jalan. Hal ini terjadi karena beban yang diterima lebih besar pada kondisi jalan *uphill*, sedangkan saat *downhill* daya yang dihasilkan bernilai negatif dimana kondisi ini dimanfaatkan untuk pengereman regeneratif. Pada skenario (b), daya yang dihasilkan hampir mendekati nol. Hal ini dikarenakan profil kecepatan yang dirancang bersifat konstan dan profil jalan yang dirancang pun memiliki kemiringan  $0^\circ$ . Akan tetapi, diperlukan daya yang besar selama 0,5 detik sesaat ketika mobil memulai perjalanan. Skenario (c) dan (d) pada Gambar 9 memperlihatkan besarnya daya yang diperlukan ketika kecepatan tidak konstan. Perbedaan antara skenario (c) dan (d) terlihat saat mobil berada pada kondisi *uphill* dan *downhill*. Ketika kecepatan berakselerasi diperlukan daya yang lebih besar, sedangkan ketika mobil melakukan perlambatan daya yang dihasilkan bernilai negatif. Hal ini sesuai dengan kondisi pengereman regeneratif pada mobil listrik. Gambar 10 menunjukkan SOC baterai yang dihasilkan. SOC diperoleh sesuai skenario kecepatan dan kondisi jalan yang dirancang. Gambar 10(a) merupakan SOC ketika kondisi kecepatan konstan, sedangkan Gambar 10(b) diperoleh ketika digunakan kecepatan tidak konstan (*stop and go*). Kedua SOC tersebut berlaku untuk profil jalan berbukit dan datar.

Dari beberapa skenario yang diujikan, terlihat bahwa dengan digunakannya MAS sebagai model dari mobil listrik, maka besarnya daya yang diperlukan dapat dianalisa untuk berbagai skenario perjalanan. SOC baterai juga dapat diamati sesuai skenario yang dirancang. Selain itu, model ini juga lebih mudah direalisasikan kedalam perangkat keras sehingga sistem yang dirancang akan lebih mendekati kondisi sebenarnya.

## 7. Kesimpulan

Model mobil listrik berbasis MAS telah dirancang dan disimulasikan pada MATLAB/Simulink. Dengan digunakannya dua unit MAS yang terhubung sumbu putarnya sebagai komponen utama, besarnya daya yang diperlukan untuk setiap skenario perjalanan mobil dapat dianalisa. SOC baterai juga dapat diamati sesuai skenario perjalanan yang dirancang. Selain itu, realisasi perangkat keras pun akan lebih mudah dilakukan. Dengan demikian, model ini dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif simulasi mobil listrik dalam skala kecil baik secara *software* maupun *hardware*.

## Daftar Pustaka

- [1] Kaloko, B.S., Soebagio, Purnomo, M.H., *Design and Development of Small Electric Vehicle using MATLAB/Simulink*, International Journal of Computer Applications Vol. 24 No. 6, June 2011, pp. 19-23.
- [2] Gao, et. al., *Modeling and Simulaion of Electric and Hybrid Vehicles*, Proceedings of the IEEE Vol. 95 No. 4, April 2007, pp. 729-745.
- [3] Karen L., Butler, et. al., *A Matlab-Based Modeling and Simulation Package for Electric and Hybrid Electric Vehicle Design*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 6, Nov 1999.
- [4] Salem, Farhan A., *Modeling and Control Solution for Electric Vehicles*, European Scientific Journal Vol. 9 No. 15, May 2013, pp. 221-240.
- [5] Diaz, Stephanie, *Protodrive: Simulation of Electric Vehicle Powertrains*, NSF Summer Undergraduate Fellowship in Sensor Technologies, Binghamton University, 2012.
- [6] Al Tahtawi, A.R., Rohman, A.S., *Simple Supercapacitor Charging Scheme in Electrical Car Simulator Using Direct Current Machines*, Proceeding of The 5<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI) Bali, August 2015, pp. 623-628.
- [7] Tremblay, O., et. al., *A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicle*, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007.
- [8] Ehsani, M., et. al., *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles, Fundamentals, Theory and Design*, CRC Press LCC, 2004.
- [9] Schaltz, Erik. *Electric Vehicle Design and Modeling*. Aalborg University, Denmark, INTECH Open Acces Publisher, 2011.