

## PEMODELAN ALIRAN DAYA PADA SISTEM ENERGI MOBIL LISTRIK

Bambang Sri Kaloko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember, Jember

Masuk : 27 Oktober 2009, revisi masuk :12 Desember 2009, diterima :16 Januari 2010

### ABSTRACT

*The issue of the depletion of oil reserves in the world, and the problem of air pollution produced by motor vehicles, motivate many researchers to seek alternative energy sources to propel the vehicle. One promising way is to replace combustion motor with an electric motor, which is known as an electric car. First stage of this research is to model the flow of power in the electric car energy system to obtain its characteristics. Power flow efficiency in electric cars is very important because this type of car is highly dependent on the limited electrical energy supplied by a battery. Therefore it should be managed properly. This study is to look into the power flow calculation so that the amount of electrical energy is in accordance with the needs of electric cars. A model using Simulink software is to get the best power flow response to the electric car energy system.*

**keywords:** electric vehicle, power flow, state of discharge, battery

### INTISARI

Isu semakin menipisnya cadangan minyak yang terkandung di bumi dan besarnya polusi udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, membuat banyak peneliti untuk mencari sumber energi alternatif untuk menggerakkan kendaraan. Salah satu cara yang banyak dilakukan oleh para peneliti adalah mengganti motor bakar dengan motor listrik, sehingga dihasilkan mobil listrik. Tahap awal pada penelitian ini adalah membuat model aliran daya pada sistem energi mobil listrik untuk mendapatkan karakteristiknya. Aliran daya pada mobil listrik sangat penting mengingat mobil jenis ini sangat tergantung pada keterbatasan energi listrik yang disediakan oleh suatu baterai. Baterai mempunyai permasalahan dalam hal penyediaan sumber tenaganya. Baterai mempunyai daur kerja yang terbatas sehingga membutuhkan pengisian berulang-ulang dan berisi logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan benar. Maka diperlukan studi perhitungan aliran daya yang tepat untuk mendapatkan energi listrik dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan mobil listrik. Model menggunakan software Simulink untuk mendapatkan respon aliran daya terbaik pada sistem energi mobil listrik.

**kata kunci:** mobil listrik, aliran daya, arus pembuangan, baterai

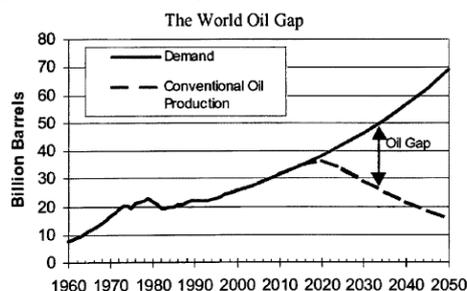
### PENDAHULUAN

Indikator keberhasilan pembangunan ditandai dengan tingginya tingkat mobilitas penduduk. Untuk meningkatkan pelayanan mobilitas penduduk diperlukan suatu sarana transportasi. Salah satu alat transportasi yang digunakan baik di kota maupun di desa adalah mobil. Di Indonesia mobil yang dipakai pada umumnya menggunakan motor ber-bahan bakar minyak (BBM). Mobil dengan bahan bakar minyak (BBM) berkembang seiring dengan rendahnya harga minyak dunia saat itu dan juga banyaknya persediaan

bahan bakar minyak(Husein, 2003). Konsumsi BBM untuk mobil semakin lama semakin meningkat. Lebih dari separuh konsumsi energi dunia di-gunakan untuk transportasi. Gambar 1 menjelaskan perbedaan cukup mencolok antara kebutuhan BBM dan produksi minyak dunia setelah tahun 2020[Patterson, 2002].

Peningkatan konsumsi BBM untuk bahan bakar mobil mempengaruhi persediaan BBM yang semakin menipis(Patterson, 2002; Wood, 2008). Disamping itu pemakaian BBM pada mobil menghasilkan gas buang yang berpo-

tensi mencemari lingkungan. Gas buang yang dihasilkan oleh mobil terdiri dari 18% partikel padat, 27% campuran bahan mudah menguap (terdiri 28% Pb, 32% NO dan 62% CO) serta CO<sub>2</sub> sebanyak 25%(Dhameja, 2002).



Gambar 1. Kebutuhan minyak dunia sampai tahun 2050 (Patterson, 2002)

Kekurangan lain dari mobil jenis ini adalah tingkat kebisingannya cukup tinggi. Polusi udara juga berdampak pada lingkungan (Bernstein, 2008) dan kesehatan manusia (Kunzli, 2000). Dari permasalahan tersebut perlu adanya perubahan sumber energi dari BBM ke listrik sebagai sumber tenaga penggerak mobil.

Usaha manusia dalam rangka mengurangi ketergantungan pada BBM dan polusi lingkungan hidup ini adalah membuat mobil listrik(Husein, 2003; Larminie, 2003; Ying et al, 2008). Mobil listrik menggunakan motor listrik sebagai penggeraknya dan energi listrik sebagai sumber tenaganya.

Mobil listrik umumnya menggunakan baterai sebagai sumber energi utamanya(Husein, 2003; Dhameja, 2002; Larminie, 2003). Namun baterai pada mobil listrik memiliki kelemahan yaitu memiliki kapasitas muatan (Ah) dan usia pakai yang terbatas sehingga diperlukan pengaturan pembebanan agar baterai tidak bekerja keras.

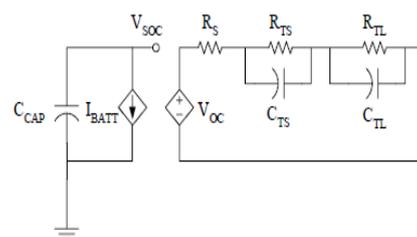
Model aliran daya pada sistem energi mobil listrik diperlukan untuk menganalisis kapasitas baterai (Ah). Model ini diperlukan untuk mendapatkan gambaran energi yang diperlukan oleh mobil listrik.

Penelitian tentang mobil listrik diperlukan seiring dengan mahalnya harga minyak dunia, isu pemanasan global dan pencemaran udara. Disamping itu

diperlukan juga pengaturan energi untuk menjalankan mobil listrik. Pemodelan matematis baterai asam dapat digunakan untuk menentukan rugi tahanan internal baterai, kapasitas baterai/Ah dan tegangan baterai(Salameh et al, 1992; Casacca et al, 1992). Model ini cukup akurat untuk menentukan performans baterai.

Pendekatan model elektrokimia digunakan untuk menentukan arus pengisian baterai berdasarkan reaksi elektroda, rugi-rugi internal dan konsentrasi elektrolit dalam baterai(Ying et al, 2008). Kapasitas baterai sangat dipengaruhi oleh beban, laju *discharge*, konverter dan profil *discharge* (Park et al, 2001).

Parameter baterai dapat juga diidentifikasi dengan menggunakan metode tesbed dan Simulink. Baterai dimodelkan menjadi dua rangkaian listrik yang berbeda, satu rangkaian merepresentasikan kapasitas baterai dan rangkaian yang lain merepresentasikan karakteristik transien dan tahanan internal baterai seperti pada Gambar 2(Knauff et al, 2008). Hasil simulasi model tesbed baterai terhadap data eksperimen mempunyai tingkat kesalahan sebesar 0,19%. Model ini cukup bagus untuk memodelkan suatu baterai, namun tidak adaptif terhadap perubahan temperatur dan konsentrasi elektrolit.

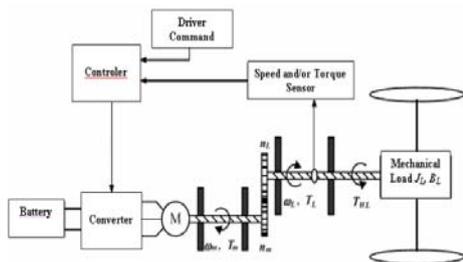


Gambar 2. Model Rangkaian Baterai (Knauff et al, 2008).

Model arus pembuangan baterai juga dapat ditentukan dengan menggunakan proses stochastic untuk penggunaan beban dinamis(Chiasserini et al, 2008). Model cukup efektif untuk beban dinamis tetapi masih perlu pengembangan lebih lanjut untuk menentukan lama pemakaian baterai.

Eksperimen untuk menentukan besarnya kapasitas muatan baterai ketika baterai dalam kondisi tidak bekerja

juga telah dilakukan (Septimu, 2008). Sedangkan pengembangan mobil listrik *hybrid* dengan sumber energi dari baterai dan *flywheel* juga telah dilakukan (Lustenader et al, 1977). Baterai yang digunakan adalah baterai asam/*lead acid battery* merupakan sumber energi utama. *Flywheel* digunakan sebagai energi alternatif jika mobil dalam fase percepatan. Melalui *flywheel* ini pula energi sisa seperti pengereman regeneratif dimanfaatkan untuk disimpan pada baterai. Model dinamis mobil listrik secara lengkap terdiri dari kontroler, *inverter*, motor traksi dan baterai dan *braking* juga telah dibangun (Powell et al, 1998). Model dikembangkan dengan model Matlab/ Simulink (Mathworks). Model peramalan energi listrik pada kendaraan listrik dengan MATLAB/Simulink juga telah dikembangkan dengan metode statistik (Kim et al, 2008).

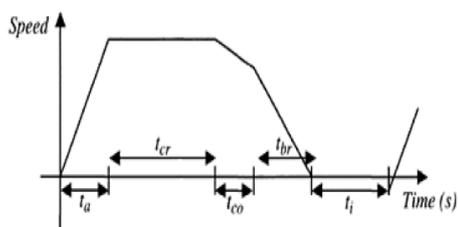


Gambar 3. Sistem pada mobil listrik.

Mobil listrik merupakan bagian dari pengemudian listrik yang terdiri dari bagian mekanik mobil listrik, motor listrik ac sebagai penggerak utama, inverter sebagai media penghubung antara sumber dc dengan motor ac, sumber energi dan sistem kontrol seperti Gambar 3. Ada dua fitur pemodelan matematis mobil listrik yang penting yaitu performans mobil listrik dan peramalan area mobil listrik (Larminie, 2003). Dari kedua fitur tersebut dibuat suatu model baterai sebagai sumber energi mobil listrik.

Area mobil listrik ditentukan oleh dua besaran yaitu siklus pengemudian dan baterai sebagai sumber energi. Pemodelan siklus pengemudian pada mobil listrik diperlukan untuk menentukan kapasitas baterai/Ah terhadap respon beban. Siklus pengemudian mobil listrik dibagi menjadi lima tahap menurut standar SAE J227 yaitu: Menurut (Husein, 2003).

Satu: Percepatan,  $t_a$  untuk mencapai kecepatan maksimum dari start; dua: Kecepatan konstan,  $t_{cr}$ ; tiga: Kendaraan pada saat turun,  $t_{co}$ ; empat: Pengereman,  $t_{br}$ ; lima: Saat istirahat/tidak bergerak,  $t_i$ . Grafik siklus pengemudian mobil listrik pada Gambar 4.



Gambar 4. Siklus pengemudian mobil listrik [Husein, 2003].

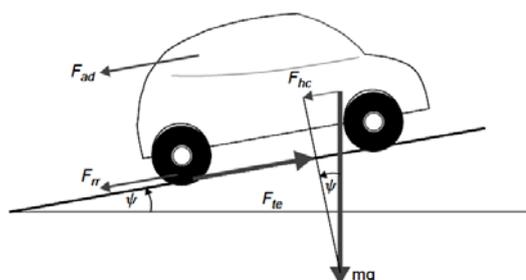
### PEMBAHASAN

Performans suatu mobil listrik ditentukan oleh gaya-gaya yang bekerja. Gaya yang bekerja pada mobil meliputi gaya gesek, gaya aerodinamik, gaya potensial dan gaya percepatan. Gaya percepatan terdiri atas gaya percepatan linier dan gaya percepatan putar.

Langkah awal pemodelan performans mobil listrik adalah membuat suatu persamaan gaya. Daya dorong mobil listrik ke depan adalah sama dengan mentransmisikan suatu *whell/roda* agar dapat melalui suatu dataran seperti Gambar 5. Daya dorong suatu mobil listrik ke depan harus memenuhi:

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg \quad \dots (1)$$

dengan  $F_{rr}$  gaya gesek mobil dan  $\mu_{rr}$  merupakan koefisien gesek.



Gambar 5. Gaya yang bekerja pada mobil listrik [Larminie, 2003].

Gaya ini terjadi pada mobil yang diakibatkan oleh pengaruh bentuk aerodinamika mobil. Gaya ini ditentukan oleh bentuk permukaan mobil ( $A$ ), koefisien bentuk ( $C_d$ ), kecepatan gerak ( $v$ ) dan kerapatan udara ( $\rho$ ).

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \quad \dots\dots (2)$$

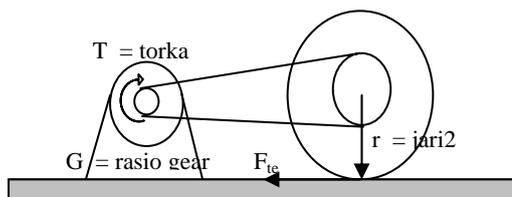
Gaya ini diperlukan oleh mobil untuk bergerak keatas atau bergerak keatas dengan suatu kemiringan.

$$F_{hc} = mg \sin(\psi) \quad \dots\dots(3)$$

dengan:  $m$  adalah massa mobil.

Gaya percepatan diperlukan mobil untuk mengubah kecepatan mobil. Jika percepatan kendaraan linear maka sesuai hukum Newton kedua adalah:

$$F_{la} = ma \quad \dots\dots(4)$$



Gambar 6. Hubungan motor dengan roda.

Karena mobil berputar dengan kecepatan putar maka disamping percepatan linear juga diperlukan percepatan putar seperti Gambar 6.

Jika  $G$  adalah rasio gear dalam sistem dan  $T$  adalah Torka mo-tor, maka:

$$T = \frac{F_{te} r}{G} \quad \dots\dots (5)$$

dan 
$$F_{te} = \frac{G}{r} T \quad \dots\dots (6)$$

Persamaan kecepatan putar motor:

$$\omega = G \frac{v}{r} \text{ rad / detik} \quad \dots\dots (7)$$

dan percepatan putar motor:

$$\omega^{\bullet} = G \frac{a}{r} \text{ rad / detik}^2 \quad \dots\dots (8)$$

maka torka yang diperlukan untuk menambah percepatan mobil adalah:

$$T = IG \frac{a}{r} \quad \dots\dots (9)$$

dengan  $I$  adalah momen inersia.

Dengan demikian gaya yang diperlukan oleh roda untuk melakukan percepatan putar ( $F_{\omega a}$ ) adalah:

$$F_{\omega a} = \frac{G}{r} IG \frac{a}{r} \quad \dots\dots (10)$$

$$= I \frac{G^2}{r^2} a$$

Persamaan 10 diasumsikan sistem gear tidak mengalami kerugian. Jika terdapat rugi-rugi gear dengan efisiensi  $\eta_g$ , maka:

$$F_{\omega a} = I \frac{G^2}{\eta_g r^2} a \quad \dots\dots (11)$$

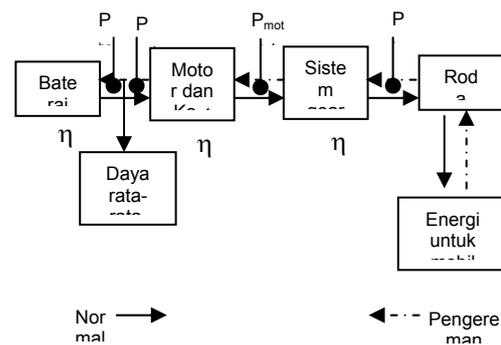
Keseluruhan gaya ( $F_{te}$ ) yang bekerja pada mobil meliputi gaya gesek, gaya aerodinamik, gaya potensial, gaya percepatan linear dan gaya percepatan putar.

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a} \dots\dots(12)$$

Aliran daya listrik dari baterai ke mobil listrik diperlihatkan pada Gambar 7. Perkiraan kebutuhan energi yang diperlukan oleh mobil dan juga pengaruh aliran energi perlu dibuat untuk menentukan kapasitas baterai yang sesuai dengan kebutuhan. Energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil listrik tiap detik adalah:

$$P_{te} = F_{te} \times v \quad \dots\dots (13)$$

dengan  $v$  adalah kecepatan mobil listrik.



Gambar 7. Aliran daya pada mobil listrik

Jika efisiensi gear diasumsikan konstan, dan efisiensi motor serta kontroler dibuat bersamaan maka efisiensi motor adalah:

$$\eta_m = \frac{T\omega}{T\omega + k_c T^2 + k_v \omega + k_\omega \omega^3 + C} \dots\dots(14)$$

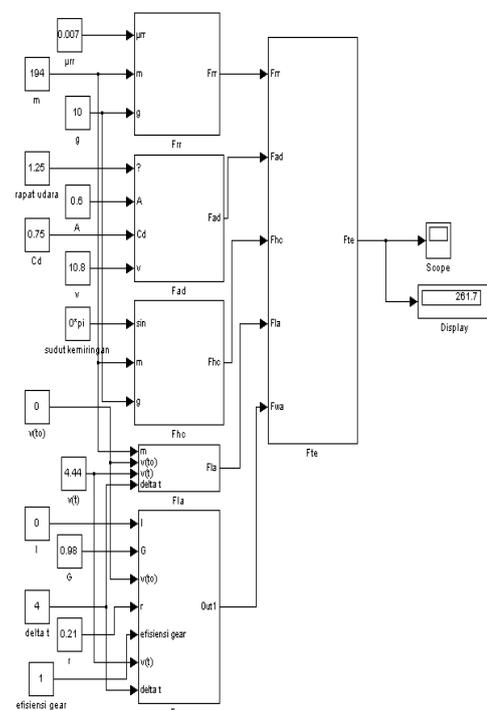
dengan  $k_c$  koefisien rugi-rugi tembaga,  $k_f$  koefisien rugi-rugi besi dan  $k_\omega$  koefisien rugi-rugi angin dan  $C$  konstanta rugi-rugi aplikasi kecepatan.

Daya listrik yang dibutuhkan motor ( $P_{mot\_in}$ ) untuk menghasilkan daya output mekanik adalah:

$$P_{mot\_in} = \frac{P_{mot\_out}}{\eta_m} \dots\dots\dots (15)$$

atau

$$P_{mot\_out} = \frac{P_{te}}{\eta_g} \dots\dots\dots (16)$$



Gambar 8. Pemodelan aliran daya pada mobil listrik dengan Simulink.

Daya listrik yang diperlukan oleh mobil listrik dari baterai secara keseluruhan adalah:

$$P_{bat} = P_{mot\_in} + P_{ac} \dots\dots\dots (17)$$

dengan  $P_{ac}$  adalah energi listrik rata-rata yang digunakan untuk keperluan lain seperti lampu, asesoris, sensor.

Untuk menentukan besarnya energi yang dibutuhkan oleh mobil listrik maka diperlukan suatu simulasi model. Pemodelan dengan menggunakan program software MATLAB/Simulink diperlihatkan pada Gambar 8.

Dengan mengacu pada pengujian tipe A untuk kecepatan maksimum 16 km/jam atau 4,4 m/detik dalam waktu 4 detik, jika suatu kendaraan listrik dengan massa total 194 kg, koefisien gesek 0,007, rapat udara 1,25 dan faktor aerodinamik 0,75, luas permukaan kendaraan 0,6 m<sup>2</sup>, faktor rasio gear G sebesar 2, jari-jari roda 0,21 m, dan torka maksimum mesin DC diberikan sebesar 34 Nm maka  $T = 153 - 1,16\omega$ . Torka motor DC;

$$T = T_0 - \frac{kG}{r} v,$$

$$34 = 153 - 1,16\omega$$

maka:

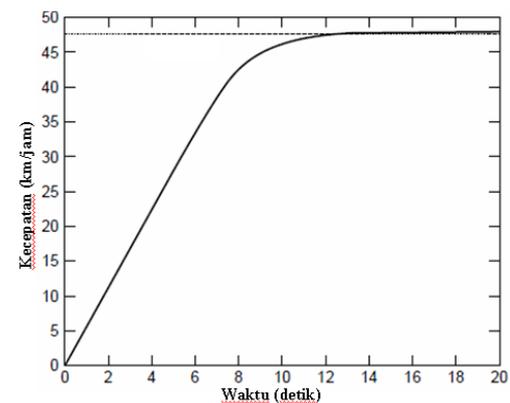
$$\omega = 103 \text{ rad / detik}$$

Jika kecepatan putar ini dimasukkan ke dalam persamaan 12, maka dapat diperoleh turunan kecepatan dari persamaan:

$$\frac{G}{r} T_{max} = \mu_{rr} mg + \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 + \left( m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

$$317 = 12,7 + 0,281v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

Jika nilai  $\omega = 103 \text{ rad/detik}$  dimasukkan ke dalam persamaan diatas, maka diperoleh persamaan percepatan kendaraan:



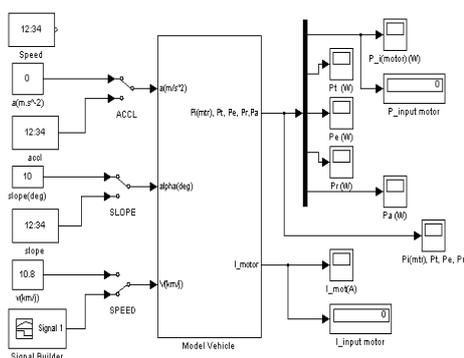
Gambar 9. Simulasi mobil listrik dengan MATLAB/ Simulink.

$$\frac{dv}{dt} = 7,3 - 0,53v - 0,00145v^2$$

$$v_t = v_0 + \partial t(7,3 - 0,53v - 0,00145v^2)$$

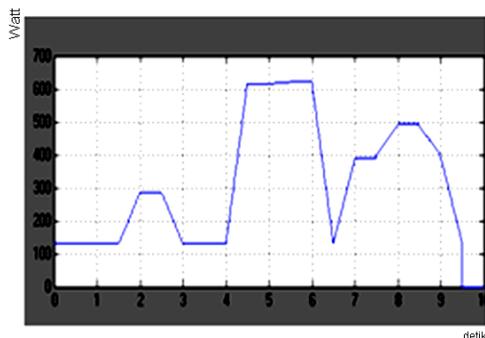
Dengan asumsi tegangan baterai sebesar 18 volt maka diperlukan daya sebesar :  $P_{te} = F_{te} \times v = 261,7 \times 18 = 4710$  joule/detik  $\approx 5$  kW untuk memindahkan dari posisi 0 meter ke posisi 17,6 meter dengan percepatan sebesar  $1,1$  m/detik<sup>2</sup>.

Dari persamaan 1-16 dapat dibuat model yang dapat merepresentasikan sebuah mobil. Input yang dibutuhkan dari model tersebut berupa percepatan, kecepatan dan kemiringan jalan sedangkan output berupa daya motor dan arus motor seperti pada Gambar 10.



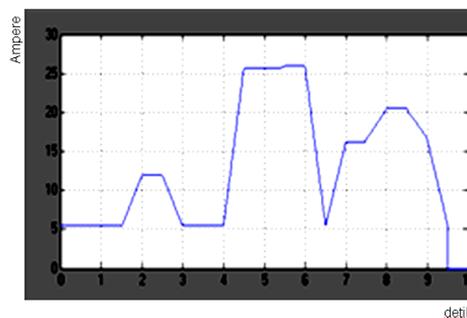
Gambar 10. Pemodelan aliran daya pada motor penggerak mobil listrik dengan Simulink.

Simulasi dari model daya motor penggerak mobil listrik dalam kondisi ini membutuhkan daya tertinggi sebesar 6000 Watt untuk pengujian tipe A seperti Gambar 11. Sedangkan daya terendah sekitar 1200 Watt untuk kecepatan konstan. Daya motor sebesar ini digunakan untuk memikul beban mobil sekitar 5000 Watt.



Gambar 11. Simulasi aliran daya pada motor penggerak mobil listrik dengan Simulink.

Sedangkan model aliran arus listrik yang dibutuhkan oleh motor listrik diperlihatkan pada Gambar 12. Simulasi model memperlihatkan bahwa motor listrik membutuhkan arus tertinggi sekitar 25 Ampere untuk melakukan percepatan sebagaimana pengujian tipe A. Dan aliran arus listrik terkecil sekitar 5 Ampere untuk kondisi kecepatan konstan.



Gambar 12. Simulasi aliran arus pada motor penggerak mobil listrik dengan Simulink.

### KESIMPULAN

Pemodelan aliran daya ini pada sistem energi mobil listrik memberikan kemudahan untuk menentukan berapa kapasitas baterai yang diperlukan oleh mobil listrik dengan spesifikasi tertentu untuk mencapai suatu jarak tertentu pula. Model ini dapat digunakan untuk mengestimasi berapa lama baterai dapat digunakan pada mobil listrik.

### DAFTAR PUSTAKA

Bernstein, L., Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Synthesis Report Summary for Policymakers, Available Jan. 2008: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

Casacca, M., Salameh, Z. M., Determination of Lead Acid Battery Capacity Via Mathematical Modeling Techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No.3, September 1992, pp.442-446.

Chiasserini, C. F., Rao, R. R., A Model for Battery Pulsed Discharge with Recovery Effect, 2008, [www.tlc.networks.polito.it/carla/pa-pers/ieee\\_wcnc99.pdf](http://www.tlc.networks.polito.it/carla/pa-pers/ieee_wcnc99.pdf)

- Dhameja, S., 2002, *Electric Vehicle Battery Systems*, Newnes, United Stated.
- Husain, I., 2003, *Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals*, Pertama, CRC Press, United Stated.
- Kim, S., Chung, S., Shin, W., Lee, J., A study of predicting model of an electrical energy balance for a conventional vehicle, Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008.
- Knauff, M., McLaughlin, J., Dafis, C., Niebur, D., Singh, P., Kwatny, C., Nwankpa, Simulink Model of a Lithium Ion Battery for the Hybrid Power System Testbed, 2008, [www.power.ece.drexel.edu/Students/Knauff .pdf](http://www.power.ece.drexel.edu/Students/Knauff.pdf)
- Kunzli, N., Public Health Impact of Outdoor and Traffic Related Air Pollution: A European Assessment, The Lancet, Vol. 356, Number 9232, September 2000, pp. 795-801.
- Larminie, J., Lowry, J., 2003, *Electric Vehicle Technology Explained*, John Wiley & Son.
- Lustenader, E. L., Guess, R. H., Richter, Turnbull, F. G., De-velopment of a Hybrid Flywheel /Battery Drive System for Elec-tric Vehicle Applications, IEEE Transactions on Vehicular Tech-nology, Vol. VT-26, May 1977, pp.135-143.
- Park, S., Savvides, A., Srivastava, M. B., Battery Capacity Measurement And Analysis Using Lithium Coin Cell Battery, 2001, *ISLPED*, August 6-7, 2001, Huntington Beach, California, USA.
- Patterson, P., Quantifying the Fuel Use and GHG Reduction Potential of EVs and HEVs, Available April 26, 2002, [http://www.ott.doe.gov/pdfs/evsl7 .pdf](http://www.ott.doe.gov/pdfs/evsl7.pdf)
- Powell, B. K., Bailey, K. E., Cikanek, S. R., Dynamic Modeling and Control of Hybrid Electric Vehicle Powertrain Systems, IEEE Control Systems. October 1998.
- Salameh, Z. M., Casacca, M., Lynch, W., A Mathematical Model for Lead Acid Batteries, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No.1, March 1992, pp.93-98.
- Septimu, M., Liviu, T., Behavior of the Lead Acid Battery after the Rest Period, WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS, Issue 3, Volume 3, March 2008.
- Wood, J. H., Long, G. R., More-house, D. F., Long Term World Oil Supply Scenarios: The Future Is Neither as Bleak or Rosy as Some Assert, US Department of Energy, 2004. Available Jan. 2008: [http://www.eia.doe.gov/pub/oil\\_gas/petroleum/feature\\_articles/2004/worldoilsupply/oilsupply04.html](http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/petroleum/feature_articles/2004/worldoilsupply/oilsupply04.html)
- Ying, S., Ding, S., Yang, J., Hung, R., Electrochemistry Theorem Based State of-Charge Estimation of the Lead Acid Batteries for Electric Vehicles, WSEAS Transactions on Systems, Issue 10, Volume 7, October 2008, pp.1092-1103.