



Pengembangan Model Baterai Timbal Asam Berbasis Kecerdasan Buatan

Bambang Sri Kaloko^{*1}, Satryo Budi Utomo, Husin Mustafa Al-Atas, Ridik Yudha Susila

*#Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember
Jalan Kalimantan 37 Jember*

¹bambangsrikaloko@yahoo.com

Abstract

Pada makalah ini dijelaskan sebuah pengembangan model baterai timbal asam untuk meningkatkan kinerja mobil listrik. Pengembangan model baterai timbal asam berbasis kecerdasan buatan pada penelitian awal dapat memetakan model baterai dengan ketelitian 0,99977. Metode ini dapat menentukan model baterai yang diperlukan oleh mobil listrik sehingga kekhawatiran akan pemakaian mobil listrik yang tiba-tiba kehabisan energi listrik dipergunakan dapat diantisipasi.

Keywords— motor induksi, multi penggerak, *diagonal recurrent neural network*.

I. PENDAHULUAN

Mobil merupakan sarana transportasi yang diperlukan untuk mobilitas penduduk. Pada umumnya mobil yang ada di Indonesia berbahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari fosil, merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan tidak berkelanjutan. Mobil dengan BBM berkembang sangat cepat sehingga kebutuhan BBM semakin lama semakin meningkat. Sementara itu cadangan BBM kian menipis (Kaloko et al, 2011).

Mobil yang menggunakan BBM akan menghasilkan emisi gas buang yang berpotensi menimbulkan polusi udara sebagaimana disampaikan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA). Gas buang yang dihasilkan oleh mobil dengan mesin pembakaran dalam terdiri dari 18% partikel padat, 27% merupakan campuran bahan mudah menguap (terdiri 28% Pb, 32% NO dan 62% CO) serta CO₂ sebanyak 25% (Dhameja, 2008). Polusi udara ini akan berdampak pada lingkungan (Bernstein et al, 2008) dan kesehatan manusia (Kunzli, N et al, 2000).

Kebijakan Pemerintah tentang penghematan penggunaan BBM pada sektor transportasi serta isu pemanasan global pada pertemuan Kyoto mewajibkan untuk mengurangi emisi

gas rumah kaca sehingga perlu dikembangkan suatu transportasi yang hemat BBM dan ramah lingkungan. Dari permasalahan ini perlu dicari sumber energi alternatif untuk menggerakkan mobil serta teknologi penggerak mobil yang tidak menggunakan mesin pembakaran dalam. Salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan pada BBM dan mengurangi polusi lingkungan hidup adalah dengan membuat mobil listrik.

Permasalahan dalam mendesain mobil listrik dengan sumber energi listrik dari baterai adalah sistem pengaturan energi, penentuan daya dan metode pengaturannya sehingga dapat memenuhi kebutuhan sistem penggerak mobil listrik (Kaloko et al, 2009). Untuk itu perlu dikembangkan suatu model baterai cerdas yang dapat memenuhi kebutuhan mobil listrik (Kaloko et al, 2011).

Baterai sebagai sumber energi pada mobil listrik merupakan suatu sel elektrokimia yang terdiri dari empat komponen dasar yaitu plat positif, plat negatif, larutan elektrolit, dan separator atau pemisah yang berfungsi sebagai isolasi antara elektroda positif dan negatif. Reaksi kimia diantara plat-plat dengan larutan elektrolit akan menghasilkan potensial listrik. Kapasitas baterai ditentukan oleh banyaknya muatan listrik yang dapat diperoleh dari

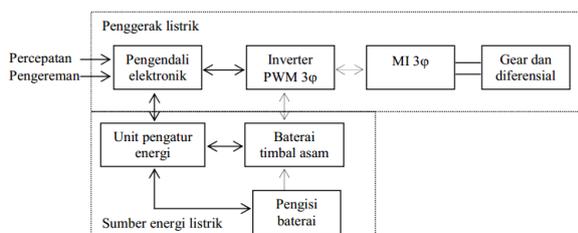
suatu baterai dan besarnya tergantung pada bahan aktif yang ada pada plat (Kiehne, H. A, 2003).

Mobil listrik umumnya menggunakan baterai sebagai sumber energi untuk menjalankan motor penggerak. Namun baterai pada mobil listrik memiliki kapasitas yang terbatas. Pemakaian baterai dalam waktu tertentu akan menyebabkan kapasitas baterai berkurang. Untuk mengembalikan kapasitas baterai seperti semula diperlukan proses pengisian ulang (recharging) (Park et all, 2001; Haiying Wang et all,2013). Untuk menjaga keandalan ketersediaan sumber energi dari baterai maka diperlukan pemilihan jenis baterai yang sesuai dan pengaturan penggunaan energi listrik pada mobil listrik (Thomas B.G., 2000). Pada pengoperasian mobil listrik kita harus dapat memantau kinerja baterai selama mobil beroperasi. Untuk itu perlu dikembangkan suatu model baterai. Dari pelacakan jejak hasil penelitian tentang baterai ini maka perlu dikembangkan model baterai cerdas untuk meningkatkan kinerja mobil listrik.

II. MODEL BATERAI TIMBAL ASAM

Konfigurasi mobil listrik dalam penelitian ini dijelaskan seperti diagram blok pada gambar 1 di bawah, terdiri dari penggerak listrik dan sumber energi. Subsistem penggerak listrik terdiri dari pengendali elektronik, inverter PWM tiga fasa, motor induksi tiga fasa, transmisi mekanik dan gear. Subsistem sumber energi terdiri dari baterai sebagai sumber energi listrik, unit pengatur energi, dan pengisi baterai (battery charger).

Peranan baterai pada mobil listrik sangat penting karena menentukan seberapa besar energi yang dapat digunakan oleh mobil listrik dan juga menentukan seberapa banyak energi listrik yang dapat disimpan dalam baterai. Dalam mendesain mobil listrik sistem pengaturan daya dan energi listrik sangat penting. Sistem baterai yang digunakan pada mobil listrik harus memiliki daya yang tinggi, energi yang tinggi, serta memiliki usia pakai yang lama



Gambar 1. Konfigurasi mobil listrik

A. Membangun Model Elektrokimia Baterai

Prinsip kerja baterai secara umum berdasarkan reaksi redoks, yang terdiri dari reaksi oksidasi dan reduksi. Reaksi oksidasi adalah reaksi yang melibatkan pelepasan elektron oleh suatu zat, sedangkan reaksi reduksi adalah reaksi yang melibatkan pengikatan elektron oleh suatu zat.

B. Membangun Model Matematis Baterai

Pengendalian mobil listrik multi penggerak yang diusulkan dengan menggunakan metode jaring saraf tiruan

DRNN seperti terlihat pada Gambar 5 Model Shepherd merupakan model baterai yang paling sering digunakan untuk menganalisis baterai dengan menguraikan tentang perilaku elektrokimia baterai. Model ini digunakan bersama dengan persamaan Peukert untuk mendapatkan tegangan baterai dan pengisian baterai:

$$V_T = E_0 - R_I I - \frac{K_I}{1-f} \quad (1)$$

dengan V_T : tegangan terminal baterai (Volt), E_0 : tegangan rangkaian terbuka ketika baterai diisi penuh (Volt), R_I : tahanan internal baterai (Ohm), K_I hambatan polarisasi (Ohm), I arus sesaat (Ampere).

$$f = \int \frac{I}{Q_0} dt \quad (2)$$

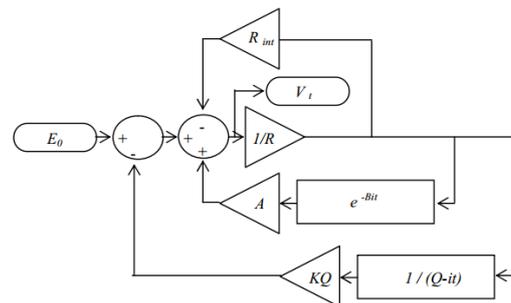
dengan f adalah ampere jam (Ah) yang terkumpul dalam baterai dibagi dengan kapasitas baterai penuh (Q_0).

Dengan memasukkan persamaan (2) ke dalam persamaan (1) dan dengan memasukkan tegangan jatuh pada saat baterai bekerja maka menghasilkan persamaan tegangan keluaran (V_{out}) perselnnya sebagai berikut:

$$V_i = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} + Ae^{-Bit} - iR_{int} \quad (3)$$

dengan A dan B adalah suatu konstanta.

Model tegangan keluaran berbeban dalam bentuk blok diagram dibuat berdasarkan persamaan (3), seperti pada gambar 2. Model ini diperlukan untuk mengetahui tegangan keluaran baterai terhadap perubahan arus beban..



Gambar 2. Model baterai berdasarkan persamaan Shepherd

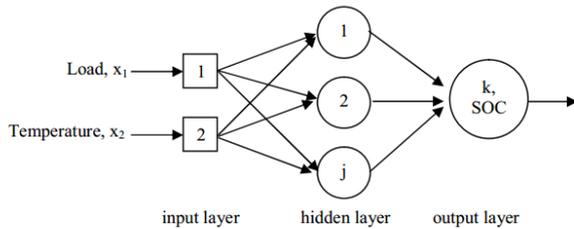
III. BATERAI BERBASIS KECERDASAN BUATAN

Pengembangan baterai sangat sulit terutama dalam hal desain maupun aplikasinya bahkan untuk pengujian diperlukan biaya yang tidak sedikit dan akan sulit jika variabel data berubah-ubah. Interaksi proses kimia dan fisika perlu dilakukan untuk membangun model analitis. Pendekatan alternatif lain dengan mengembangkan model sistem baterai berdasarkan kecerdasan buatan. Kecerdasan buatan ini dapat digunakan untuk mensimulasikan berbagai macam model termasuk sistem elektrokimia baterai. Diperlukan pelatihan data pola input/output untuk mensimulasikan model.

Tujuan dari pemetaan berdasarkan kecerdasan buatan adalah dapat mengungkapkan secara matematis dengan menggunakan notasi input/output. Dalam penelitian ini

digunakan metode *feedforward back propagation neural network* (BPN) dan *radial basis function neural network* (RBF) sebagai pembanding model elektrokimia.

Terdapat beberapa tipe jaringan syaraf tiruan untuk menyelesaikan problem elektrokimia. Gambar 3 menjelaskan sistem elektrokimia baterai dengan menggunakan model *feedforward back propagation neural network* (BPN). Pada model ini terdapat lapisan input, lapisan tersembunyi dan lapisan output.



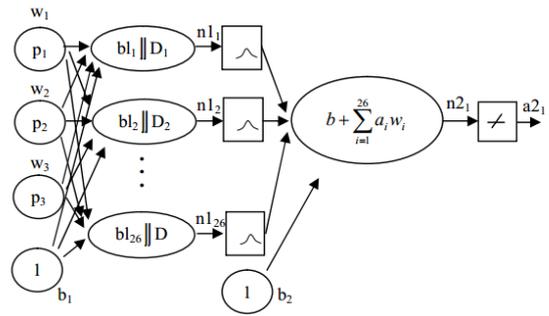
Gambar 3. Diagram model *feedforward back propagation*

Masing-masing neuron pada BPN diperlihatkan pada persamaan 4. Dimana y_k direpresentasikan sebagai output neuron k, sementara y_j dan w_{kj} sebagai output neuron j pada lapisan sebelumnya dan faktor bobot yang bersesuaian. Nilai θ_k adalah bias atau *threshold* untuk aktivasi neuron.

$$y_k = f \left[\sum_{j=1}^N (y_j)(w_{kj}) - \theta_k \right] \quad (4)$$

Ketika input diberikan pada model *feedforward back propagation neural network* (BPN) maka kita memberikan input untuk mendapatkan output. Output yang dihasilkan dibandingkan dengan output contoh dan parameter BPN dapat disesuaikan untuk mengurangi perbedaan antara output BPN dengan output pelatihan. Pelatihan dengan BPN melibatkan kesalahan dari lapisan output ke lapisan input.

Model kecerdasan buatan *radial basis function neural network* digunakan untuk pembanding lain apakah model baterai sudah cukup baik atau masih memerlukan perbaikan. Dalam model ini diperlukan sejumlah data untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. *Radial basis function neural network* mengalikan jarak antara vektor bobot, vektor input dan bobot bias. Ketika jarak antara vektor bobot dan vektor input berkurang maka output fungsi menjadi lebih besar. Model jaringan ini memerlukan neuron yang lebih banyak dibandingkan model BPN. Model jaringan ini akan bekerja lebih baik apabila diberikan data input yang cukup banyak. Arsitektur model *Radial Basis Function Neural Network* suatu baterai timbal asam dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.

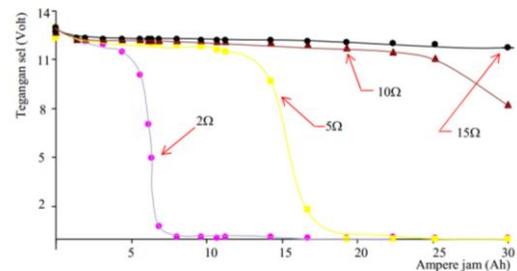


Gambar 4 Arsitektur model RBF baterai dengan 3 variabel input, satu target.

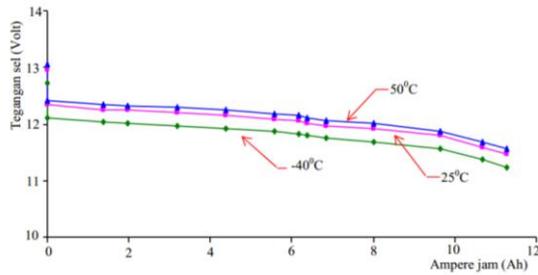
IV. HASIL DAN DISKUSI

Model baterai dengan neural network dilakukan dengan melakukan pemetaan data elektrokimia untuk menjadi model baterai dengan menggunakan back propagation neural network. Model baterai back propagation neural network dilatih pada temperatur konstan 25°C dengan beban bervariasi 2, 5, 10 dan 15 ohm. Hasil simulasi diperlihatkan pada gambar 5.

Simulasi juga dilakukan untuk mengidentifikasi kapasitas baterai dengan variasi temperatur seperti dijelaskan pada gambar 6. Kapasitas baterai mengalami fluktuasi ketika temperatur berubah dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Karakteristik penting yang perlu dicatat adalah bahwa jaringan mampu memprediksi perubahan tegangan dari satu temperatur ke temperatur lain dan kapasitas baterai bertambah dari temperatur rendah ke tinggi. Prediksi dengan menggunakan BPN terjadi perubahan data sebesar 0,320 volt ketika temperatur bergerak dari 500C ke -400C.



Gambar 5. Hasil simulasi model baterai timbal asam dengan BPN



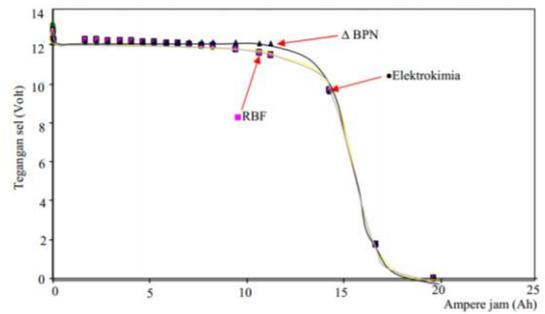
Gambar 6. Hasil simulasi model baterai timbal asam dengan BPN pada 5 ohm ($T=-40^{\circ}\text{C}$, 25°C dan 50°C).

Dari keterangan diatas maka penggunaan BPN untuk memodelkan baterai memberikan variasi keuntungan disamping model elektrokimia. Model analitikal telah dikembangkan untuk sel Pb/PbO namun perhitungannya membutuhkan waktu yang intensif. Untuk itu kedepan perlu dibuat suatu model hibrid guna mempercepat dalam estimasi kapasitas suatu baterai. Model memiliki error kurang dari 0,00045 persen sebagaimana pada tabel 1

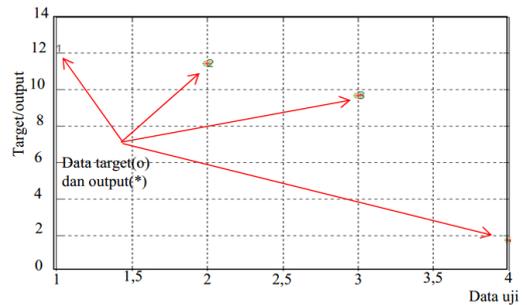
TABEL 1. DATA SIMULASI BATERAI TIMBAL ASAM

Target (volt)	Output NN (volt)	Error
12.95	12.6419	0.3081
12.33	12.6396	-0.3096
12.25	12.2606	-0.0106
12.23	12.2134	0.0166
12.19	12.1695	0.0205
12.15	12.1357	0.0143
12.09	12.0891	0.0009
12.05	12.0575	-0.0075
12.02	12.0455	-0.0255
11.97	12.0149	-0.0449
11.92	11.9137	0.0063
11.78	11.7235	0.0565
11.59	11.5828	0.0072
11.46	11.4918	-0.0318
9.679	9.6802	-0.0012
1.749	1.7458	0.0032
0.0012	0.0520	-0.0508

Model kapasitas baterai berbasis radial basis *function neural network* disimulasikan untuk menguji model BPN maupun elektrokimia. Sejumlah pengujian dilakukan untuk memvalidasi metode yang diusulkan. Pengujian dilakukan pada baterai 36 Ah 12 Volt dengan beban 5 ohm pada temperatur ruang. Dari simulasi terhadap 26 data masukan diperoleh hasil seperti terlihat pada gambar 7. Sedangkan empat data uji dilakukan untuk melihat ketepatan model dijelaskan pada gambar 8. Dalam proses learning dilakukan koreksi terhadap data arus discharge dan temperatur kerja baterai.



Gambar 7. Hasil simulasi model baterai timbal asam dengan RBF, BPN dan elektrokimia

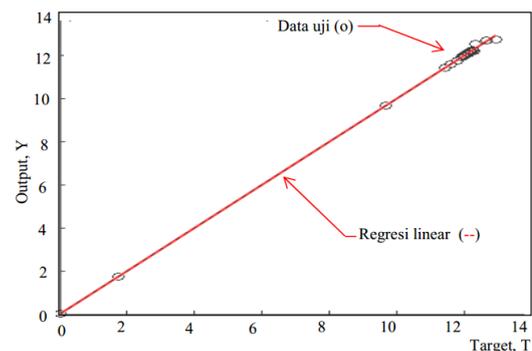


Gambar 8. Data uji model baterai timbal asam dengan RBF.

Output network dan target data selanjutnya dianalisis dengan menggunakan regresi linear. Regresi linear untuk target dan output network model ini diperlihatkan pada gambar 9. Persamaan regresi untuk model ini adalah:

$$Y = 1T + 0.0061 \quad (5)$$

dimana Y: output network, T:target.



Gambar 9. Regresi linear untuk target dan output network.

Koefisien korelasi untuk model ini adalah 0,99977 menunjukkan bahwa target dan output network sangat bagus.

V. KESIMPULAN

Dalam makalah ini menghasilkan model baterai timbal asam yang dapat digunakan untuk memperbaiki kinerja mobil listrik. Model baterai didekati dengan menggunakan baik model elektrokimia, model matematis Peukert Shepherd maupun dengan kecerdasan buatan. Disamping itu juga memodelkan penggunaan baterai untuk mobil listrik itu sendiri. Dari penelitian awal dapat diambil kesimpulan bahwa model baterai timbal asam berbasis RBF telah berhasil dilakukan dengan ketelitian sebesar 0,99 dari model analitis.

Pengujian awal baterai timbal asam dengan model beban mobil listrik dilakukan dengan tiga kondisi yaitu *starting*, kecepatan konstan dan pengereman (*breaking*), dengan arus *starting* tertinggi 1,9 A. Secara keseluruhan tahap awal integrasi kecerdasan buatan pada baterai timbal asam berdasarkan data arus, tegangan dan waktu kerja dengan menggunakan model RBF telah mampu memberikan capaian hasil terhadap identifikasi kapasitas baterai timbal asam yang diteliti. Hasil pemodelan pada penelitian ini memiliki karakteristik yang bersifat kompleks dan kajian serta analisis yang mendekati sama..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang Sri Kaloko, M. Haddin, 2007, *Switching Konverter Pada Pengaturan Mesin Asinkron*, Transistor.
- [2] Bambang Sri Kaloko, 2009, *Lead Acid Battery Modeling for Electric Car Power Sources*, Indonesian Journal of Chemistry.
- [3] Bambang Sri Kaloko, Soebagio, M.H.Purnomo, 2011, Mapping of Electrochemistry and Neural Network Model for Lead Acid Battery, Indonesian Journal of Chemistry.
- [4] Bernstein, L., et all, 2008, *Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Synthesis Report Summary for Policymakers*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Available Jan. 2008: www.ipcc.ch5/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4syr.pdf.
- [5] Dhameja, S., 2002, *Electric Vehicle Battery Systems*, Newnes, United Stated.
- [6] Ferreira, A. A., Pomilio, J. A., Spiazzi, G., Silva, L. A., 2008, *Energy Management Fuzzy Logic Supervisory for Electric Vehicle Power Supplies System*, IEEE Transaction On Power Electronics, VOL. 23, NO. 1, January 2008, pp.107-115.
- [7] González, F. M., Longatt, 2006, *Circuit Based Battery Models: A Review*, 2Do Congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingenieria Electrica, pp.1-5.
- [8] Haiying Wang, Yang Liu, Hang Fu, Gechen Li, 2013, Estimation of State of Charge of Batteries for Electric Vehicle, International Journal of Control and Automation, Vol 6, No. 2, April 2013.
- [9] Kaloko, B.S, Purnomo, M.H., Soebagio, 2011, *Design and Development of Small Electric Vehicle using Matlab/Simulink*, International Journal of Computer Application, Vol. 24, No.6, pp. 19-23, June 2011.
- [10] Kunzli, N., et all, 2000, *Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment*, The Lancet, Vol. 356, Number 9232, September 2000, pp. 795-801.
- [11] Kiehne, H. A., 2003, *Battery Technology Handbook*, Second Edition, Marcel Dekker, NY.
- [12] Ledovskikh, A., Verbitskiy, E., Ayeb, A., Notten, P. H. L., 2003, *Modelling of rechargeable NiMH batteries*, Journal of Alloys and Compounds, 2003, pp.742-745.
- [13] Park, S., Savvides, A., Srivastava, M. B., 2001, *Battery Capacity Measurement And Analysis Using Lithium Coin Cell Battery*, ISLPED, August 6-7, 2001, Huntington Beach, California, USA.
- [14] Papic, I., 2006, *Simulation Model for Discharging a Lead-Acid Battery Energy Storage System for Load Leveling*, IEEE Transactions on Energy Conversion, VOL. 21, NO. 2, June 2006, pp. 608-615.
- [15] Septimiu Mischie, Dan Stoiciu, 2007, A New and Improved Model of a Lead Acid Battery, Facta Universitatis Elec. Energ., Vol.20 No. 2, August 2007
- [16] Thomas, B. G., 2000, *Lead-Acid Batteries: Key to Electric Vehicle Commercialization*, The Fifteenth Annual Battery Conference January 13, 2000, Presentation to Long Beach.
- [17] Yixin Yan, Zhongli Fu, Wenjing Yan, Xiaobing Zhang, 2012, Design of Lead-Acid Battery SOC Models Based on RBF Neural Network, Advances in Information Sciences and Service Sciences, Vol. 4, No. 19, October 2012
- [18] Ying, S., Ding, S., Yang, J., Hung, R., 2008, *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.