

PENENTUAN PARAMETER TREMBLAY BATTERY MODEL UNTUK PEMODELAN KARAKTERISTIK DISCHARGE BATTERY GEL LEAD ACID SGL100

Andi Setiawan, Universitas Jember

setiawan.teknik@unej.ac.id

Abstrak

Gel *lead acid* battery is considered as a noble battery that must be treated carefully in order to avoid damage. Modeling is the best alternative way to test the performance of this battery. In this research a 110 Ah gel *lead acid* battery to be modeled using Tremblay battery model and the model parameter is identified based on manufacturer data. The results of discharge performance testing show a very identical characteristic of battery model and manufacturer data. This research also verified the model for charge state and the test show the possibility to use this model to represent *lead acid* storage battery in power system modeling.

Kata kunci : *Battery modeling, simulink matlab.*

I. Pendahuluan

Battery adalah komponen utama yang memegang peranan penting pada banyak sistem kelitrikan. Karakteristik battery pada sistem ini membawa pengaruh pada pemilihan komponen sistem yang lain termasuk pemilihan piranti pengisian dan beban. Terlebih lagi pada sistem energi surya fotovoltaik (SESF) di mana battery sangat memegang peranan penting. Karakteristik battery benar-benar mempengaruhi sistem secara keseluruhan termasuk ukuran-ukuran dan spesifikasi komponen utama yang lain.

Berdasarkan hal tersebut di atas, informasi yang akurat tentang karakteristik *battery* sangatlah penting dalam tahap perancangan sistem. Di samping itu, untuk mendapatkan desain sistem yang baik perlu dilakukan pengujian-pengujian terhadap komponen-komponen utamanya, baik pengujian mandiri maupun pengujian ketika komponen-komponen ini dirangkaikan dalam sebuah sistem.

Dikarenakan harga komponen battery, terutama sekali *battery* asam timbal jeni gel yang sangat tinggi serta sensitivitasnya terhadap kondisi luar, maka pengujian-pengujian ini sulit dilakukan dengan menggunakan komponen aslinya. Dengan kata lain pemodelan untuk komponen ini akan sangat membantu proses perancangan sistem.

Dalam makalah ini disajikan hasil pemodelan *battery* asam timbal gel SGL100 dengan menggunakan Tremblay model yang diimplementasikan dalam model simulink

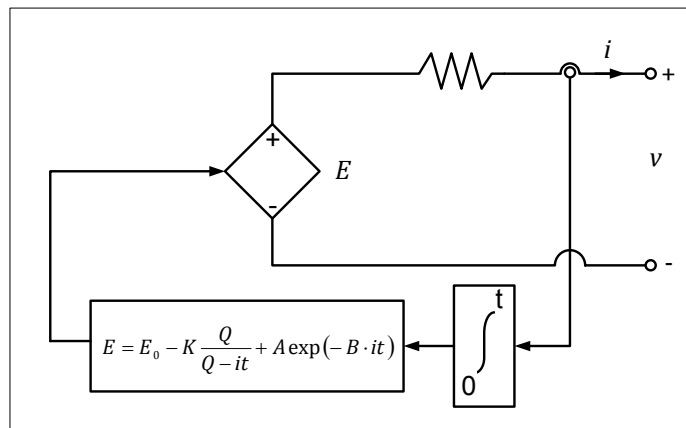
Matlab. Identifikasi parameter pemodelan dilakukan dengan menggunakan data pabrik dan unjuk kerja model diuji pada beberapa kondisi sistem.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Tremblay Battery Model

Tremblay *battery* model adalah beberapa pemodelan yang dikembangkan oleh Oliver Tremblay dan kawan-kawan [4]. Langkah terpenting dalam pemodelan ini adalah penentuan parameter yang didasarkan pada data pabrikan terutama data tegangan discharge dengan arus konstan.

Dalam [4] dikembangkan sebuah model general yang tidak melibatkan pengaruh state of charge (SOC) *battery* terhadap nilai resistansi internal *battery*, sedangkan dalam [5] pemodelan sudah melibatkan pengaruh SOC terhadap resistansi internal *battery*.



Gambar 2.1 Non Linier Generic Battery Tremblay Model

Gambar 2.1 menunjukkan model nonlinier untuk generic *battery* yang dikembangkan oleh Oliver Tremblay dalam [4]. Dalam model ini E dan E_0 masing-masing adalah tegangan tanpa beban dan tegangan konstan *battery*, Q adalah kapasitas *battery* dan R , v dan i adalah resistansi internal, tegangan terminal dan arus yang ditarik dari *battery*.

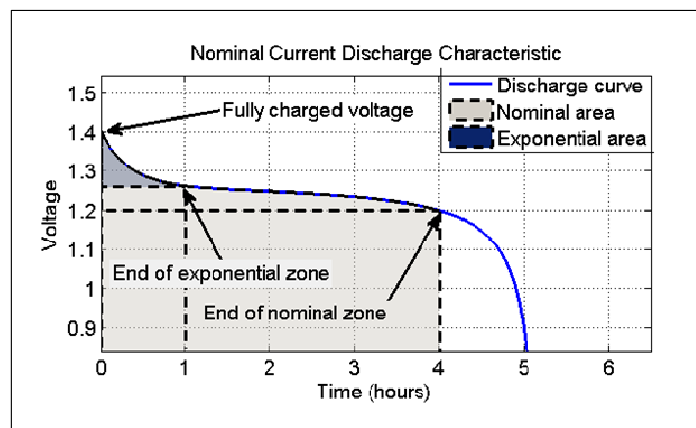
Data Q dan R didapatkan dari data pabrikan *battery* sedangkan data E_0 diturunkan dari grafik discharge yang diberikan oleh pabrikan *battery*. Untuk nilai-nilai parameter K , A dan B diturunkan dari grafik discharge dengan menggunakan metode yang dikembangkan dalam [4]. A adalah tegangan jatuh selama zone eksponensial seperti terlihat dalam Gambar 2.2 yaitu:

$$A = E_{full} - E_{exp} \quad (2.1).$$

B adalah muatan *battery* dalam zone eksponensial yang didapatkan dengan persamaan:

$$B = 3/Q_{\text{exp}} \quad (2.2).$$

K didapatkan dengan persamaan yang melibatkan informasi tentang nilai tegangan E_{nom} nominal dan nilai muatan nominal Q_{nom} [4] [5] Di mana E_{nom} dan Q_{nom} adalah tegangan dan muatan *battery* pada akhir zone nominal seperti terlihat dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kurva Discharge Tipikal dari Generic Battery

$$K = \frac{(E_{full} - E_{nom} + A(\exp(-B \cdot Q_{nom}) - 1)) \cdot (Q - Q_{nom})}{Q_{nom}} \quad (2.3).$$

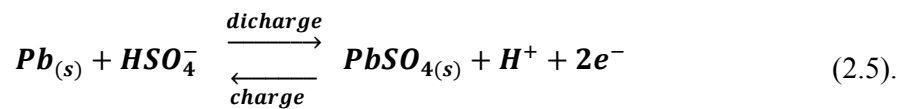
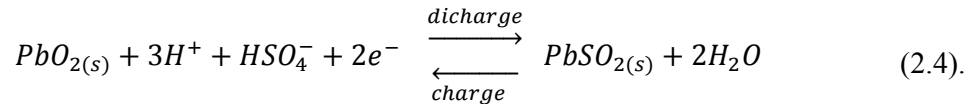
Dari Gambar 2.1 jelas terlihat bahwa besarnya tegangan pada terminal *battery* adalah fungsi dari jumlah muatan yang ditarik dari *battery*, yang merupakan integrasi arus terhadap waktu. Resistansi internal adalah parameter model rangkaian listrik yang menyebabkan jatuh tegangan dan besarnya jatuh tegangan ini merupakan fungsi arus sesaat yang ditarik dari *battery*.

2.2 Gel Lead acid Battery

Battery Gel adalah *battery* yang menggunakan elektrolit berbentuk jelli untuk mengurangi evaporasi dan pelepasan gas yang menyebabkan korosi pada peralatan di

sekitarnya. Dengan teknologi ini *battery* gel menjadi sangat sesuai untuk aplikasi backup power yang memungkinkan perangkat ditempatkan berdekatan dengan *battery*.

Battery gel dikelompokkan ke dalam *battery* asam timbal karena proses kimiawi yang terjadi selama *battery* beroperasi sama dengan *battery* asam timbal, yaitu proses reduksi dan oksidasi sebagaimana terlihat dalam Persamaan (2.4) dan **Error! Reference source not found.** [1]



Di samping itu, *battery* gel juga digolongkan sebagai *Sealed Lead acid battery* dan *Valve Regulated Lead acid* (VRLA) karena *battery* ini adalah *battery* yang didesain sebagai *free maintenance battery* yang tidak memungkinkan penambahan elektrolit pada saat pengoperasiannya, juga *battery* ini didesain dengan menggunakan katup-katup pengatur yang berfungsi untuk pengaturan gas dan batas tekanan yang mengharuskan gas dikeluarkan dari container *battery* dan memungkinkan adanya proses rekombinasi antara oksigen dan hidrogen untuk mengurangi hilangnya cairan pada *battery* [6]

2.3 SGL100 Gel Battery

Battery gel produksi PT. Siklon Energi Nusantara dengan kode produk SGL100 adalah *battery* yang didesain untuk aplikasi dengan suhu tropis. *Battery* ini didesain dengan menggunakan komponen yang sesuai dengan kebutuhan desain *battery deep cycle* dengan menggunakan separator khusus untuk *battery* gel dan plate dengan spesifikasi *deep cycle*. Hal ini terlihat dari massa *battery* yang mencapai 3 s/d 4 kali massa *battery* otomotive dengan kapasitas yang setara [8] Data pabrikan untuk *battery* ini adalah sebagaimana terlihat dalam 0. Dalam tabel ini disajikan data yang bisa dikembangkan untuk kepentingan pemodelan dengan menggunakan model Tremblay, yaitu data discharge voltage dengan arus konstan.

Data Charge Discharge SGL100

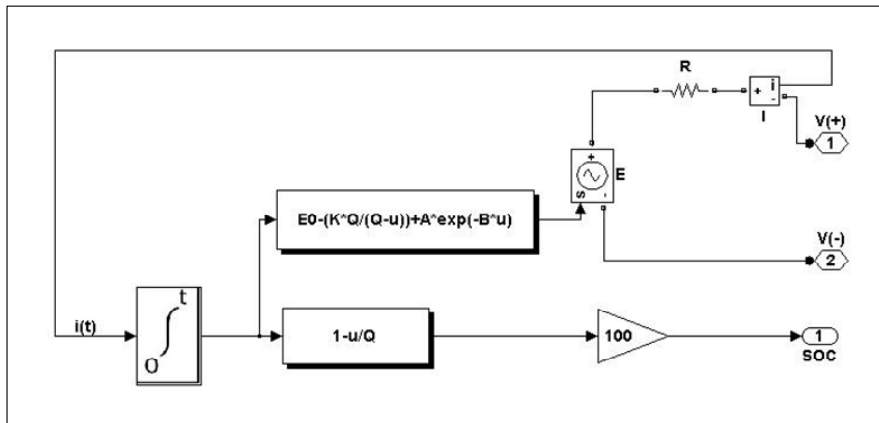
| VOLT per CELL | DISCHARGE TIME IN HOURS | | | | | | | | | | |
|------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | DISCHARGE DATA AMPS @ C20. | | | | | | | | | | |
| | END | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 20 |
| 1.85 | 61.00 | 37.80 | 26.90 | 21.10 | 17.50 | 15.10 | 12.10 | 9.83 | 8.35 | 5.46 | 4.57 |
| 1.80 | 64.20 | 40.10 | 28.50 | 22.40 | 18.60 | 16.00 | 12.80 | 10.50 | 8.93 | 5.83 | 4.54 |
| 1.75 | 66.10 | 41.00 | 29.20 | 23.00 | 19.00 | 16.40 | 13.10 | 10.80 | 9.18 | 6.00 | 5.08 |
| END | DISCHARGE DATA AMPERE HOURS @ C20 | | | | | | | | | | |
| 1.85 | 61.0 | 75.5 | 80.7 | 84.5 | 87.4 | 90.6 | 96.8 | 98.3 | 100.0 | 109.0 | 110.0 |
| 1.80 | 64.2 | 80.1 | 85.6 | 89.6 | 92.8 | 96.0 | 103.0 | 105.0 | 107.0 | 117.0 | 109.0 |
| 1.75 | 66.1 | 82.1 | 87.7 | 91.8 | 95.0 | 98.4 | 105.0 | 108.0 | 110.0 | 120.0 | 122.0 |
| END | DISCHARGE DATA WATT PER CELL @ C20 | | | | | | | | | | |
| 1.85 | 117.0 | 73.0 | 52.4 | 41.4 | 34.5 | 29.8 | 24.0 | 19.6 | 16.7 | 10.9 | 9.17 |
| 1.80 | 120.0 | 76.9 | 55.3 | 43.7 | 36.3 | 31.5 | 25.3 | 20.7 | 17.8 | 11.6 | 9.08 |
| 1.75 | 121.0 | 78.8 | 56.4 | 44.5 | 37.1 | 32.1 | 25.8 | 21.2 | 18.1 | 11.9 | 10.00 |
| FULL | CONSTANT CURRENT DISCHARGE VOLTAGE @ C20, C10 and C5 | | | | | | | | | | |
| 2.25 | 2.15 | 2.08 | 2.06 | 2.05 | 2.04 | 2.04 | 2.04 | 2.03 | 2.03 | 1.85 | |
| 2.25 | 2.08 | 2.05 | 2.04 | 2.03 | 2.03 | 2.02 | 2.00 | 1.85 | | | |
| 2.25 | 2.05 | 2.03 | 2.02 | 2.00 | 1.85 | | | | | | |

III. Metodologi

Penelitian untuk memodelkan SGL100 dengan menggunakan Tremblay model ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu, mengimplementasikan model Tremblay ke dalam model Simulink MATLAB, menentukan parameter-parameter model dengan mengembangkan data pabrikan dan melakukan pengujian serta analisis hasil pengujian.

3.1 Implementasi Model

Model matematik dan rangkaian listrik yang telah dikembangkan dalam [4] diimplementasikan ke dalam MATLAB simulink seperti terlihat dalam Gambar 3.1.



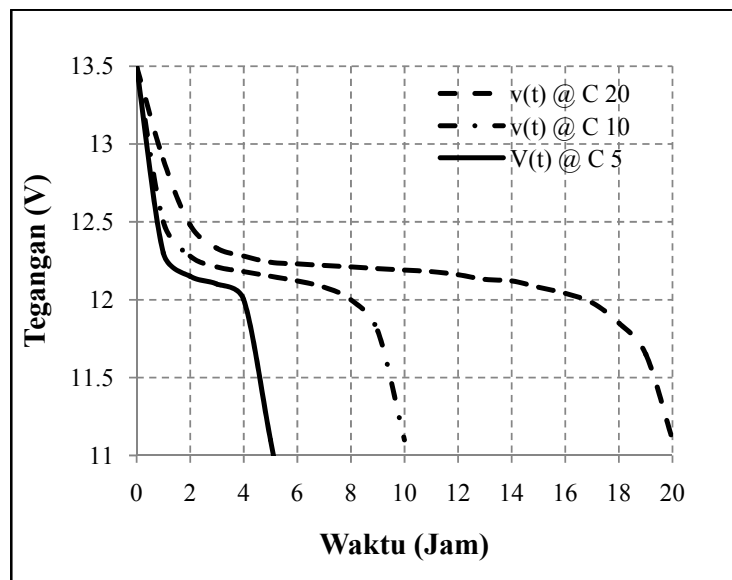
Gambar 3.1 Simulink Model untuk Tremblay Battery Model

Penggabungan antara simulink model dengan power system toolbox model dimaksudkan agar nantinya model ini dapat digunakan untuk melakukan simulasi sistem dalam rangkaian sistem yang menggunakan komponen power system toolbox.

3.2 Identifikasi Parameter

Untuk menentukan parameter-parameter SGL100 yang akan dimodelkan, terlebih dahulu diperlukan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari data pabrikan *battery*.

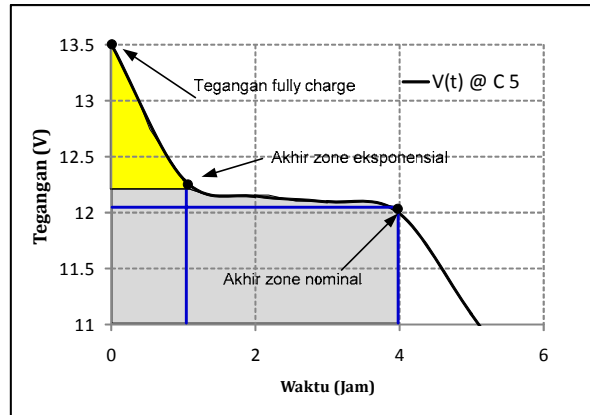
Seperti yang juga dilakukan dalam [4] dan [5] data nominal *battery* diturunkan dari data discharge pada C5 atau 0.2 dari arus kapasitas nominalnya. Dalam tabel yang didapat dari pabrikan, data pada baris paling bawah, yaitu tegangan discharge pada C20, C10 dan C5. Hasil plotting data dalam grafik hubungan antara tegangan terhadap waktu pada discharge arus konstan adalah seperti terlihat dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Data Tegangan Pada Discharge dengan Arus Konstan

Untuk menentukan parameter-parameter A, B dan K terlebih dahulu dilakukan plotting pada kurva discharge dengan arus konstan sebesar 0.2C atau C5 seperti terlihat dalam Gambar 3.3. Selanjutnya ditentukan tiga buah titik penting yaitu Tegangan fully charge E_{full} , Tegangan akhir eksponensial E_{exp} dan Tegangan sebagai akhir zone nominal E_{nom} .

Dari titik E_{full} dan E_{exp} dapat ditentukan nilai A dengan menggunakan Persamaan $A = E_{full} - E_{exp}$. Untuk SGL100 didapatkan nilai E_{full} adalah 13.5V dan E_{exp} 12.2V.



Gambar 3.3 Grafik Discharge C5 untuk Penurunan Parameter Model

Q_{exp} yang diperlukan untuk menentukan nilai parameter B didapatkan dari kapasitas atau muatan yang ditarik dari *battery* sampai akhir zone eksponensial yaitu 22Ah. Selanjutnya B didapatkan dengan Persamaan (2.2). Dengan didapatkannya Q_{exp} dapat sekaligus ditentukan Q_{nom} dengan mengalikan dengan jam zone eksponensial sehingga didapatkan. Dengan demikian K sudah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.3).

Hasil perhitungan untuk nilai-nilai ini sebagaimana terlihat dalam Tabel 4.1

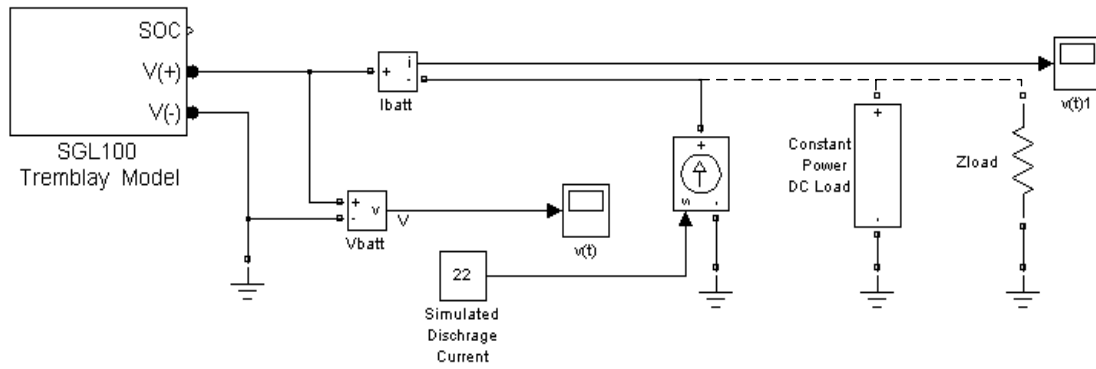
3.3 Pengujian Model

Pengujian model dilakukan untuk tiga kondisi yaitu; (1) Discharge Arus Konstan, (2) Discharge Beban Daya Konstan dan (3) Discharge Beban Impedansi Konstan.

Rangkaian pengujian model untuk tiga kondisi ini sebagaimana terlihat dalam Gambar 3.4.

Khusus untuk pengujian discharge arus konstan dilakukan pengujian pada tiga nilai arus discharge untuk mendapatkan grafik discharge dari model yang bisa dimapping dengan grafik arus discharge berdasarkan data pabrik. Hasil mapping ini yang akan digunakan untuk membandingkan seberapa jauh model ini dapat mewakili untuk kondisi discharge.

Pengujian dengan daya konstan diperlukan untuk memodelkan beban-beban yang umum dicatu dengan sistem DC yaitu beban-beban converter dengan switching power supply yang dapat menarik daya tetap pada tegangan input yang berubah.



Gambar 3.4 Pengujian Discharge dengan Arus Konstan, Daya Konstan dan Impedansi Konstan

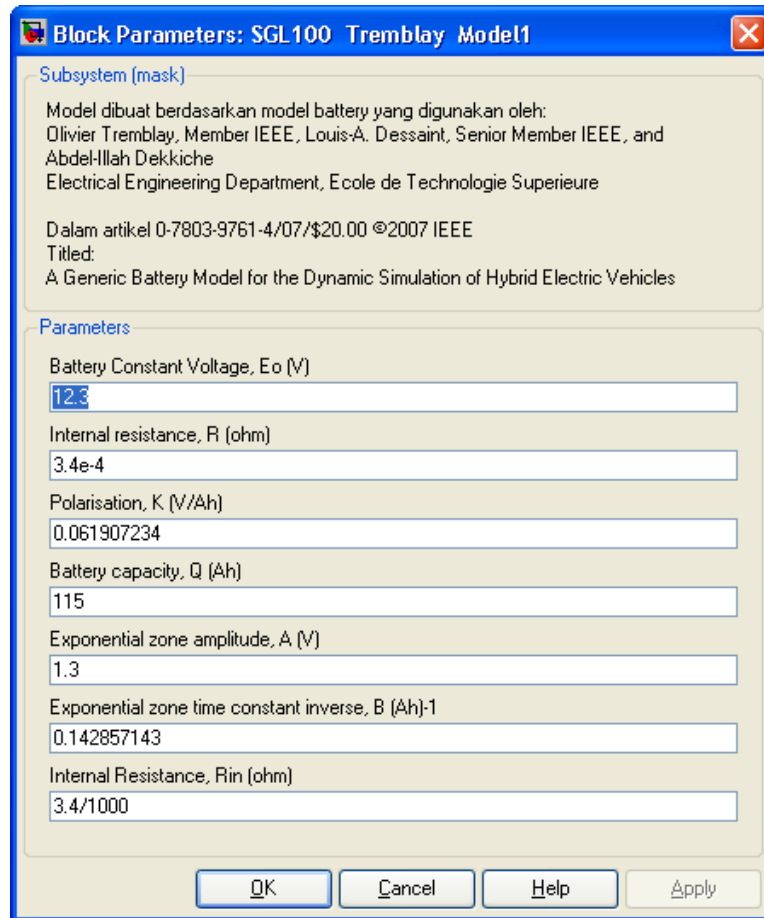
IV. Hasil Pengujian

Hasil perhitungan parameter dan nilai-nilai lain yang akan digunakan dalam pengujian model SGL100 sebagaimana terlihat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Charge Discharge SGL100

| Parameter | Nilai | Keterangan |
|------------|-------------|---|
| E_{full} | 13.5 V | |
| E_{exp} | 12.2 V | |
| Q_{exp} | 22 Ah | |
| Q_{nom} | 88 Ah | kapasitas nominal untuk discharge dengan C5 |
| Q | 110 Ah | Kapasitas nominal sesuai spesifikasi |
| A | 1.3 V | |
| B | 0.142857/Ah | |
| K | 0.061907 V | |
| R | 3.4 mV | Informasi dari pabrikan |

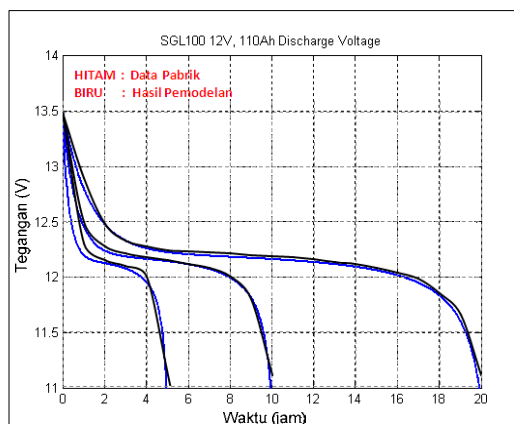
Dalam implementasinya, nilai-nilai ini masukkan sebagai variable pada SGL100 Tremblay Model seperti terlihat dalam Gambar 3.4, dengan demikian model inipun dapat digunakan mensimulasikan *battery* dengan jenis lain. Block data entry untuk model ini sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Block Parameter SGL100

4.1 Discharge Arus Konstan

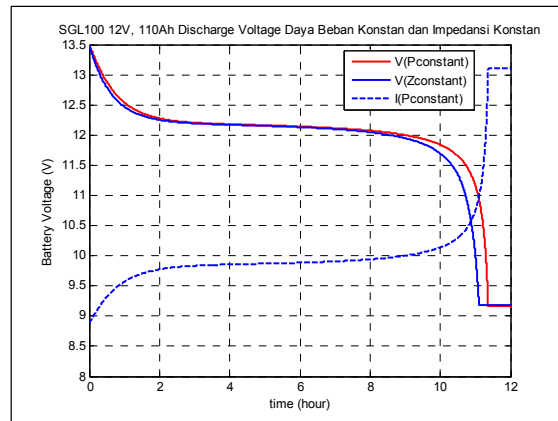
Hasil pengujian Discharge dengan arus konstan dengan menggunakan 0.05C, 0.1C dan 0.2 C adalah sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik Discharge Arus Konstan dengan C20, C10 dan C5

Secara umum, hasil pemodelan telah cukup mirip mewakili. Perhitungan persen error yang diambil pada 5 titik untuk masing-masing plot menghasilkan error persen 1.6% untuk grafik C20 dan 1.87% untuk grafik C10. Untuk grafik C5 perhitungan ini sulit untuk dilakukan karena minimnya data pabrikan yang didapatkan. Namun dari pengamatan visual terlihat bahwa kecenderungan error ini semakin naik untuk nilai discharge arus yang lebih tinggi.

4.2 Discharge Beban Impedansi dan Daya Konstan



Gambar 4.3 Grafik Discharge Dengan Daya Konstan dan Impedansi Kosntan

Hasil pengujian discharge dengan beban daya kosntan adalah sebagaimana ditunjukkan dlam Gambar 4.2.

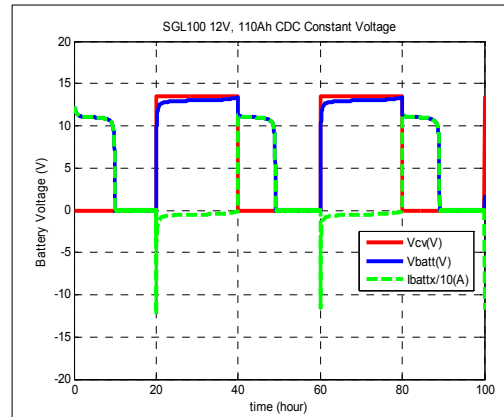
Dua buah grafik untuk tegangan terminal untuk impedansi konstan dan daya konstan menunjukkan pola yang sama sedangkan arus yang ditarik oleh beban daya konstan menunjukkan pola yang berkebalikan. Hal ini memenuhi persamaan arus dan tegangan untuk daya konstan.

Grafik arus yang ditarik dari *battery* akibat impedansi konstan tidak digambarkan di sini. Namun mudah sekali ditebak bahwa grafik ini akan sebanding dengan grafik tegangan yang digambarkan dalam Gambar 4.2.

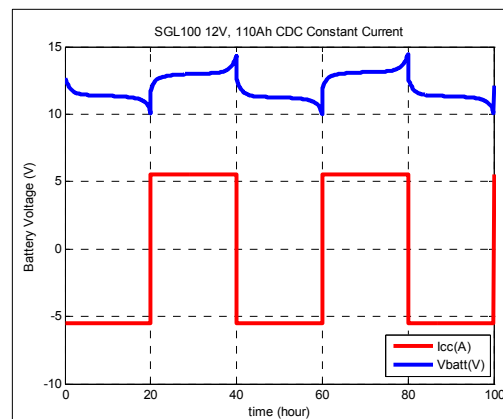
4.3 Charge Tegangan Konstan

Walaupun tidak merupakan titik berat dalam penelitian ini, dikarenakan tidak ada informasi dalam [4] tentang kesesuaian model ini untuk diaplikasikan pada keadaan charging *battery*, namun dalam penelitian ini juga dicoba untuk mengaplikasikan model yang sudah diimplementasikan ini untuk menguji *battery* pada saat charging.

Rangkaian pengujian untuk charge-discharge *battery* dengan tegangan konstan seperti terlihat dalam Gambar 4.4. Dalam pengujian ini *battery* diisi dengan menggunakan tegangan konstan setelah dalam setengah siklus sebelumnya didischarge dengan impedansi konstan.



Gambar 4.4 Charge Discharge dengan Constant Volatge



Gambar 4.5 Charge Discharge dengan Constant Current

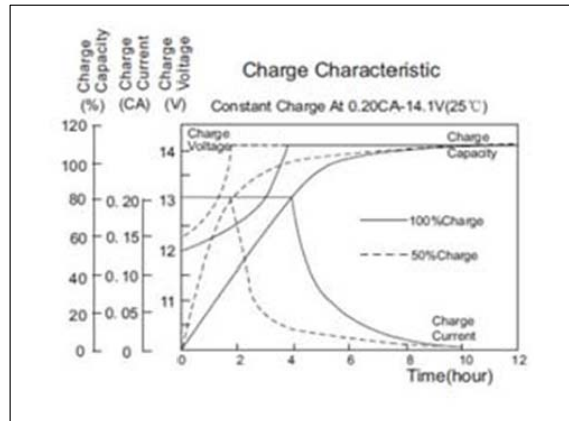
Pengujian yang lain dilakukan dengan menggunakan pengisian arus konstan dan mengurasan dengan arus yang sama. Hasil pengujian sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.5.

Dari hasil pengujian ini terlihat bahwa model ini bisa digunakan untuk melakukan simulasi charge dan discharge. Artinya model ini bisa dirangkaikan dengan model sumber arus dan sumber tegangan serta beban untuk mensimulasikan unjuk kerja sistem secara utuh di mana diperlukan model penyimpan energi sebagai komponen utamanya.

Dalam mensimulasikan siklus charging dengan arus kosntan terlihat adanya kenaikan tegangan secara eksponensial pada saat tegangan *battery* telah mencapai nilai tegangan penuhnya. Hal ini sulit untuk divalidasikan dengan data riil karena pada kenyataannya di

lapangan, pengisian dengan arus konstan dihentikan jika tegangan sudah mencapai nilai float voltage untuk mencegah overcharge.

Dalam Gambar 4.5 juga terlihat adanya kesamaan pola grafik ketika model diisi dan dikuras dengan arus yang sama. Hal ini juga sulit untuk diverifikasi dengan data *battery* SGL100 karena data dari pabrikan yang diperoleh, nilai tegangan tidak berangkat dari end voltage nya yaitu 10.8 V seperti terlihat dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Charge and Discharge SGL100

V. Kesimpulan

Penelitian ini dititikberatkan pada pemodelan *battery* SGL100 pada siklus discharge, akan tetapi dalam penelitian ini juga dicobakan unjuk kerja model pada siklus charge. Hasil pengujian siklus discharge menunjukkan bahwa model ini cukup memadai untuk digunakan dalam mensimulasikan sistem yang membutuhkan model penyimpanan energi berupa *battery lead acid*.

Hasil pengujian pada siklus discharge menunjukkan error persen yang memadai yang berarti bahwa model ini cukup memadai untuk memodelkan unjuk kerja *battery* SGL100 pada siklus discharge terutama untuk memodelkan unjuk kerja pada C10 dan C20.

Pengaruh parameter-parameter lain seperti suhu dan SOC terhadap perubahan nilai resistansi internal serta umum pemakaian *battery*, tidak bisa dilakukan dengan menggunakan model ini, namun model inipun bisa dikembangkan untuk maksud tersebut, tentunya hal ini membutuhkan kegiatan pengumpulan data pabrikan yang lebih jauh untuk mengetahui kesesuaiannya dengan data riil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. N. Harb, V. H. Johnson, D. Rausen, "Use of A Fundamentally Based Lead-Acid Battery Model in Hybrid Vehicle Simulations", Annual Electrochemical Society Conference Seattle, Washington Spring 1999.
- [2] Kevin R. Sulvivan, "12V *Lead acid* Battery Basic", Automotive Technology of Skyline College, www.autoshop101.com
- [3] Min Chen and Gabriel A. Rincon-Mora, "Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I-V Performance", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.21, No.2, June, 2006.
- [4] O. Tremblay, L.A. Dessaint, A.I. Dekkiche, "A Generic Battery Model for the Dynamic A Generic Battery Model for the Dynamic", Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE
- [5] O. Tremblay, L.A. Dessaint," Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications", World Electric Vehicle Journal Vol. 3 - ISSN 2032-6653 - © 2009 AVERE
- [6] Steve McCluer, "Coming To Terms With Batteries", External Codes and Standards Schneider Electric Providence
- [7] "Battery Testing Guide", Megger, www.megger.com
- [8] "SGL100 Charge and Discharge Characteristic", Product Catalogue Siklon Energi Nusantara, www.siklon.co.id