

Desain Sistem Monitoring *State of Charge* Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis *Fuzzy Logic* Dengan Mempertimbangkan *Temperature*

Ahmad Faiz Farizy, Dimas Anton Asfani, dan Soedibjo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: ahmadfaizfarizy@yahoo.com, anton@ee.its.ac.id

Abstrak— Baterai memiliki peran penting dalam perkembangan kebutuhan energi. Performa baterai yang baik, akan mendukung perangkat yang ditunjungnya. Energi yang dapat disimpan baterai jumlahnya terbatas, maka baterai akan mengalami siklus *charge* dan *discharge*. Proses *charge* dan *discharge* yang tidak tepat dapat menyebabkan performa baterai menurun. Oleh karena itu manajemen baterai diperlukan agar performa baterai dapat mencapai maksimal. Salah satu aspek manajemen baterai adalah pemantauan *state of charge* yang merupakan rasio kapasitas energi yang tersedia dengan kapasitas energi maksimum. Salah satu metode untuk mengestimasi *state of charge* adalah metode *fuzzy logic* yaitu dengan menilai *input* dan *output* system dari hasil pengamatan. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis dan monitoring baterai terkait proses *charge discharge* pada baterai agar diperoleh *state of charge* yang akurat sehingga membuat baterai tidak cepat rusak. Hasil monitoring dan analisis baterai menunjukkan bahwa *state of charge* pada baterai telah diukur secara akurat dan bisa memperkirakan kerusakan baterai. Akan tetapi pada tugas akhir ini masih belum dapat dilakukan perkiraan umur dan kerusakan baterai.

Kata Kunci— VRLA gel baterai, proteksi, monitoring, *state of charge*, charging, discharging.

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi transportasi memanfaatkan energi terbarukan semakin banyak dikembangkan. Di era mendatang, penggunaan PHEVs (*Plug-in Electrical Vehicle*) atau stasiun pengisian kendaraan listrik diperkirakan akan mengalami peningkatan pesat. Hal ini didukung dengan adanya isu terkait menipisnya persediaan minyak dunia, sehingga perlu adanya penerapan kendaraan yang ramah lingkungan [1].

Salah satu elemen penting pada stasiun pengisian kendaraan listrik adalah battery bank. Elemen ini digunakan sebagai tempat penyimpan energi listrik dari *output* photovoltaic (PV) ketika operasi stand alone. Sehingga, kondisi baterai harus dipastikan selalu terisi penuh. Teknologi pengisian baterai sendiri dibedakan menjadi 3, yaitu metode arus konstan, metode tegangan konstan, dan metode pulsa. Sementara itu, proses pengisian baterai sendiri dapat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu *slow charge*, *rapid charge*, *fast charge*, dan *ultra-fast charge* [3].

Namun, proses *charge-discharge* pada baterai jenis *Valve-Regulated Lead-Acid* tipe gel (VRLA gel) dengan waktu yang cepat tidak sepenuhnya menguntungkan karena memiliki dampak negatif bagi baterai, antara lain dapat memperpendek

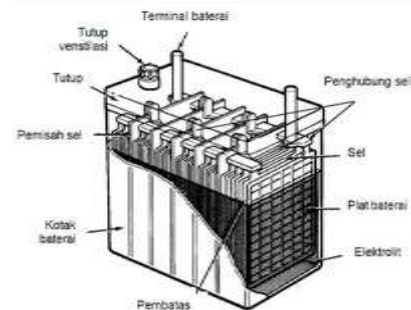
usia baterai akibat overcharge dan overdischarge dari proses *charge-discharge* baterai yang kurang diperhatikan [4].

Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan estimasi *state of charge* yang akurat, sehingga mampu mendeteksi ketika batas atas tegangan pengisian baterai telah tercapai untuk mencegah baterai dari kerusakan overcharge. Selain itu, batas bawah dari tegangan baterai juga harus diperhatikan agar tidak terjadi overdischarge.

II. DASAR TEORI

A. Baterai

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi Baterai listrik adalah alat yang terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion didalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja.[1] Meski sebutan baterai secara teknis adalah alat dengan beberapa sel, sel tunggal juga umumnya disebut baterai



Gambar 1. Bagian pada baterai

B. State of Charge

SOC didefinisikan sebagai rasio total kapasitas energi yang dapat digunakan dari sebuah baterai dengan kapasitas baterai seluruhnya. SOC menggambarkan energi yang tersedia dan dituliskan dalam presentase sesuai beberapa referensi, terkadang dianggap sebagai nilai kapasitas dari baterai. Cara

mengukur SOC dari baterai dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

1. Pengukuran secara langsung, dapat dilakukan jika baterai dapat di-discharge pada nilai yang konstan dan pengukuran
2. Pengukuran *Specific Gravity* (SG), cara ini bergantung pada perubahan pengukuran dari berat bahan kimia aktif.
3. Perkiraan SOC berdasarkan tegangan, dengan mengukur tegangan cell baterai sebagai dasar untuk perhitungan SOC atau sisa kapasitas. Hasil dapat berubah tergantung pada level tegangan nyata, suhu, nilai discharge, dan umur cell.

C. Karakteristik Baterai Valve Regulated Lead Acid (VRLA)

Baterai ini tidak memiliki caps/ katup, tidak ada akses ke elektrolit dan total *sealed*. Dengan demikian baterai jenis ini tidak memerlukan maintenance. Baterai *Deep Cycle*, adalah baterai yang cocok untuk sistem solar cell, karena dapat discharge sejumlah arus listrik secara konstan dalam waktu yang lama. Umumnya baterai *deep cycle* dapat discharge sampai dengan 80% kapasitas baterai. Dengan perencanaan kapasitas dan *maintenance* yang baik, baterai jenis ini dapat bertahan selama kurang lebih 10 tahun.

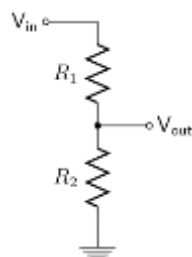
Tabel 1 Karakteristik lead acid berdasarkan standar

Karakteristik	Lead Acid
Energi Spesifik (Wh/kg)	30-50
Resistansi Internal (mΩ)	Sangat Rendah
Siklus Hidup (80% discharge)	200-300
Waktu <i>Fast-Charge</i>	8-16 jam
Toleransi <i>Overcharge</i>	Tinggi
<i>Self-discharge</i> per bulan	5%
Tegangan Sel (nominal)	2V
Tegangan Cutoff <i>Charge</i> (V/cell)	2.40
	Float 2.25
Tegangan Cutoff <i>Discharge</i> (V/cell, 1C)	1.75
Arus <i>Load Peak</i>	5C
<i>best result</i>	0.2C
Suhu <i>Charge</i>	-20 sampai 50 °C
Suhu <i>Discharge</i>	-20 sampai 50 °C
Perawatan	3-6 bulan
Keamanan	Suhu Stabil
Digunakan Sejak	Sekitar 1800-an

III. PERANCANGAN SIMULASI PENGISIAN OPTIMAL STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK

A. Perancangan Sensor Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) digunakan untuk pembacaan data tegangan pada sistem monitoring baterai VRLA.



Gambar 2 Rangkaian *voltage divider*

Rangkaian *voltage divider* digunakan untuk membuat suatu tegangan referensi dari sumber tegangan yang lebih besar

untuk titik tegangan referensi pada sensor. Hal ini dikarenakan tegangan baterai yang akan diukur adalah 25V, sedangkan pin ADC Arduino memiliki batasan pembacaan tegangan sebesar 5V. Oleh karena itu, rangkaian *voltage divider* digunakan untuk memperkecil tegangan sesuai dengan perbandingan yang telah dihitung dengan persamaan 3.2 berikut ini :

$$V_o = V_{bat} \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \tag{3.2}$$

Diasumsikan :

$$V_{in} = 30 \text{ V (tegangan baterai)}$$

$V_o = 5 \text{ V (tegangan maksimal yang boleh masuk arduino)}$

$$R_2 = 20.000 \text{ ohm}$$

Maka,

$$5 = \frac{20.000}{R_1 + 20.000} \cdot 30$$

$$R_1 (5) + 20.000 (5) = 600.000$$

$$5 R_1 = 500.000$$

$$R_1 = 100.000 \text{ ohm} \approx 100 \text{ Kohm}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai tahanan resistor yang digunakan untuk membuat rangkaian *voltage divider* dengan $R_1 = 100K \text{ ohm}$ dan $R_2 = 20 \text{ Kohm}$

B. Perancangan Sensor Suhu

Untuk mengambil data suhu pada sistem monitoring baterai VRLA ini digunakan sensor suhu dengan tipe LM35. Sensor ini memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Selain memiliki tingkat akurasi dan kemudahan dalam merancang yang tinggi, sensor ini juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan.

C. Perancangan Software Arduino

Penggunaan Arduino MEGA pada desain monitoring baterai VRLA ini berfungsi mengubah pembacaan sinyal analog dari sensor menjadi sinyal digital. Sinyal digital inilah yang nantinya dapat diolah menjadi data yang diperlukan dalam sistem monitoring.

D. Perancangan Fuzzy Logic Controller

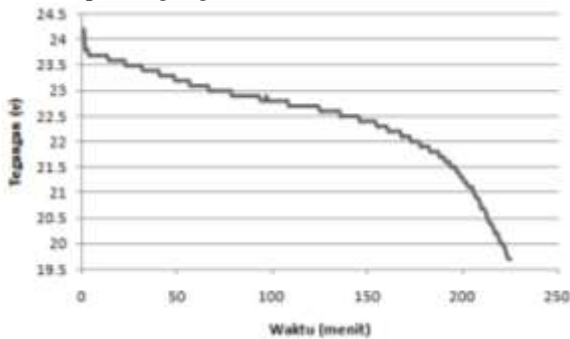
Ada tiga proses utama jika ingin mengimplementasikan fuzzy logic pada suatu perangkat, yaitu fuzzifikasi, evaluasi rule, dan defuzzifikasi.

1. *Fuzzification*, merupakan suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi fuzzy yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy dengan suatu fungsi kenggotaannya masing-masing.
2. *Interference System* (Evaluasi Rule), merupakan sebagai acuan untuk menjelaskan hubungan antara variable-variabel masukan dan keluaran yang mana variabel yang diproses dan yang dihasilkan berbentuk fuzzy. Untuk menjelaskan hubungan antara masukan dan keluaran biasanya menggunakan "IF-THEN".
3. *Defuzzification*, merupakan proses perubahan variabel berbentuk fuzzy tersebut menjadi data-data pasti (*crisp*) yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

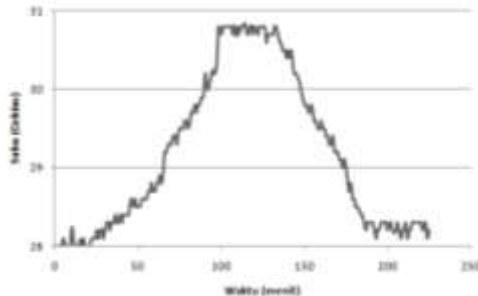
A. Pengambilan data Charge dan Discharge Baterai VRLA di Charging Station ITS

Simulasi Berikut ini adalah grafik hasil implementasi alat dengan proses charge-discharge yang berlangsung berturut-turut meliputi tegangan baterai dan suhu.



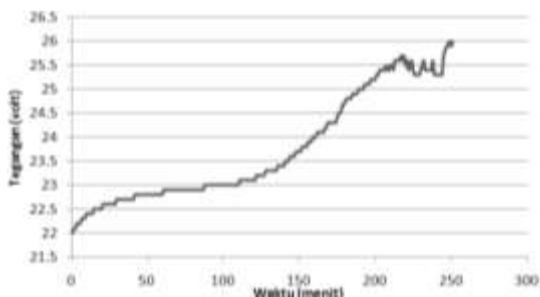
Gambar 3 Grafik tegangan saat discharge

Ketika baterai discharge, dapat dilihat pada grafik tegangan turun dengan konstan. Jika mengacu pada datasheet baterai, terlihat tegangan memiliki kisaran yang cenderung linear. Perbedaan grafik dapat dikarenakan proses discharge yang kurang sempurna dan kondisi baterai yang mulai berkurang kapasitasnya.



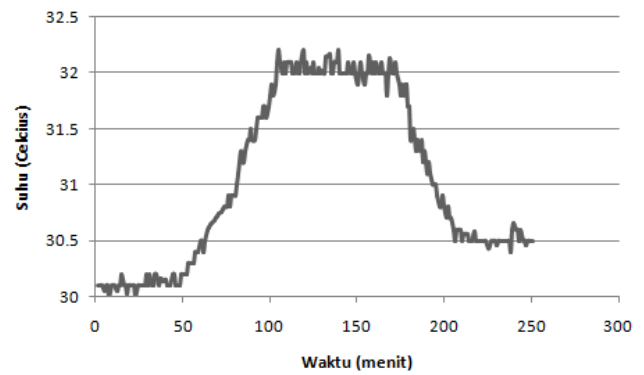
Gambar 4 Grafik suhu saat discharge

Dari grafik suhu saat discharge, dapat terlihat suhu semakin meningkat ketika semakin mendekati waktu discharge maksimal.



Gambar 5 Grafik tegangan saat charge

Pada kurva tegangan saat charge dapat dilihat tegangan pada grafik tegangan naik dengan konstan. Jika mengacu pada datasheet baterai, terlihat tegangan memiliki kisaran yang cenderung linear. Perbedaan grafik dapat dikarenakan proses charge yang kurang sempurna dan kondisi baterai yang mulai berkurang kapasitasnya. Terlihat tegangan baterai saat mendekati peak sempat tidak konstan. Hal itu menandakan baterai sudah mencapai kapasitas charge maksimal nya.

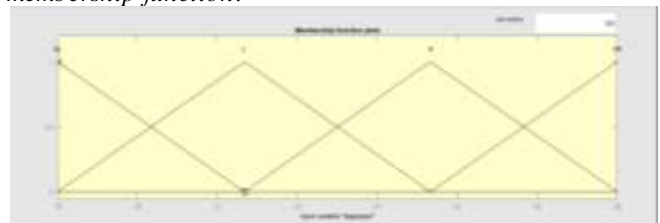


Gambar 6 Grafik suhu saat charge

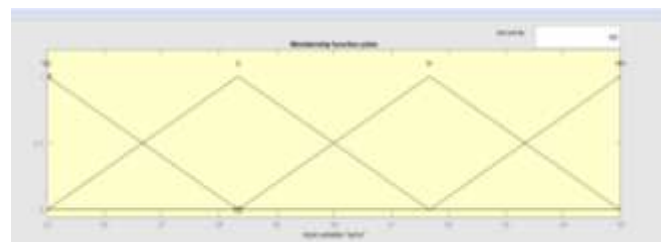
Pada kurva grafik suhu saat charge, dapat dilihat suhu cenderung konstan sampai saat mendekati waktu ketika tegangan mencapai puncak (peak).

B. Menentukan State of Charge berdasarkan Fuzzy Logic

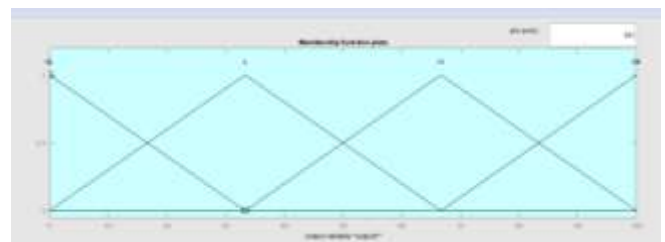
Dari hasil pengukuran charge dan discharge pada tegangan dan suhu baterai, untuk menentukan SOC digunakan metode logika fuzzy. Tahap pertama fuzzifikasi dengan menentukan setiap derajat keanggotaan untuk setiap set pada fuzzy. Dari pengukuran tegangan dan suhu sebelumnya, dapat ditentukan membership function.



Gambar 7 Membership function input tegangan



Gambar 8 Membership function input suhu



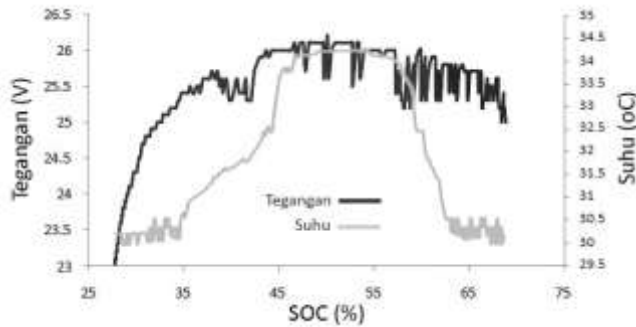
Gambar 9 Membership function untuk output SOC

Membership function pada tegangan ditentukan dari data charge dan discharge pada tegangan di baterai charging station. Didapat tegangan bawah saat discharge adalah 20 volt. Digunakan batas bawah pada membership function tegangan 19 untuk mengantisipasi undervoltage. Batas atas membership function tegangan dilihat dari tegangan maksimum saat charge yaitu 25,5. Membership function yang digunakan adalah 26.

Membership function pada suhu digunakan suhu minimum adalah 25 derajat celsius dan suhu maksimum 36 derajat celsius. *Membership function* ditentukan berdasarkan data pengukuran suhu agar *output* dari fuzzy logic lebih akurat.

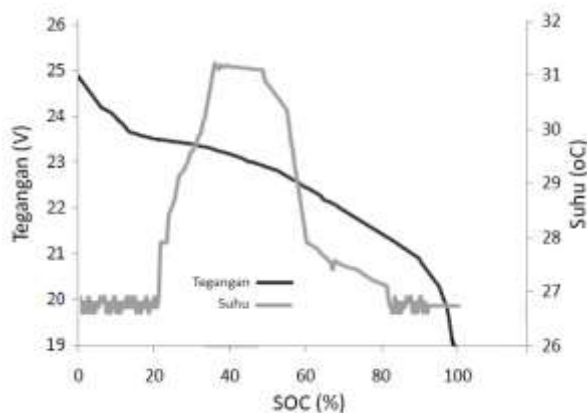
C. Menentukan Aturan Logika Fuzzy

Untuk menentukan aturan fuzzy logic, perlu dilakukan pengujian SOC terhadap tegangan dan SOC terhadap suhu. Setelah dilakukan pengujian didapat data sebagai berikut :



Gambar 10 Grafik tegangan, suhu, dan SOC saat charge

Dari gambar 9 dan 10 dapat dilihat kurva perbandingan tegangan, suhu, dan SOC. Ketika awal tegangan naik, suhu cenderung tetap, SOC naik, dan ketika tegangan turun, SOC juga menurun.



Gambar 11 Grafik tegangan, suhu, dan SOC saat discharge

Dari gambar 10, dapat dilihat kurva perbandingan suhu dan SOC. Saat *charge*, suhu cenderung tetap diawal, ketika mendekati kondisi SOC hampir penuh, suhu mengalami kenaikan. Dari gambar 11, dapat dilihat kurva perbandingan suhu dan SOC ketika kondisi baterai *discharge*. Saat *discharge*, suhu baterai saat awal cenderung tetap tetapi mengalami kenaikan saat SOC baterai berada di tengah.

Setelah melihat karakteristik SOC dengan tegangan dan suhu, dapat dibuat rule base. Untuk menentukan nilai *state of charge* yang terukur pada baterai di *charging station* ITS. Rule base pada tabel 4.4 adalah rule base dari tegangan dan suhu. Parameter yang terdapat pada tabel suhu adalah VL sebagai *very low*, L sebagai *low*, H sebagai *high*, VH sebagai *very high*.

Sedangkan parameter yang terdapat pada rule base suhu adalah VC sebagai *very cold*, C sebagai *cold*, H sebagai *hot*, VH sebagai *very hot*. Dari kedua tersebut dapat dipertimbangkan nilai *state of charge*.

Pada parameter rule base SOC, VL sebagai *very low*, L sebagai *low*, H sebagai *high*, dan VH sebagai *very high*. Nilai SOC dipertimbangkan dari dua *fuzzy logic* rule yaitu ketika baterai mengalami proses *charge* dan ketika baterai mengalami kondisi *discharge*.

Dari gambar 10, dapat dilihat kurva perbandingan suhu dan SOC. Saat *charge*, suhu cenderung tetap diawal, ketika mendekati kondisi SOC hampir penuh, suhu mengalami kenaikan. Dari gambar 11, dapat dilihat kurva perbandingan suhu dan SOC ketika kondisi baterai *discharge*. Saat *discharge*, suhu baterai saat awal cenderung tetap tetapi mengalami kenaikan saat SOC baterai berada di tengah.

Setelah melihat karakteristik SOC dengan tegangan dan suhu, dapat dibuat rule base. Untuk menentukan nilai *state of charge* yang terukur pada baterai di *charging station* ITS. Rule base pada tabel 4.4 adalah rule base dari tegangan dan suhu. Parameter yang terdapat pada tabel suhu adalah VL sebagai *very low*, L sebagai *low*, H sebagai *high*, VH sebagai *very high*.

Sedangkan parameter yang terdapat pada rule base suhu adalah VC sebagai *very cold*, C sebagai *cold*, H sebagai *hot*, VH sebagai *very hot*. Dari kedua tersebut dapat dipertimbangkan nilai *state of charge*.

Pada parameter rule base SOC, VL sebagai *very low*, L sebagai *low*, H sebagai *high*, dan VH sebagai *very high*. Nilai SOC dipertimbangkan dari dua *fuzzy logic* rule yaitu ketika baterai mengalami proses *charge* dan ketika baterai mengalami kondisi *discharge*.

Tabel 4.4 Tabel rule base tegangan dan suhu saat charge

Voltage	Temp			
	VL	L	H	VH
VC	VL	VL	L	H
C	VL	VL	L	VH
H	L	VL	L	H
VH	L	L	H	H

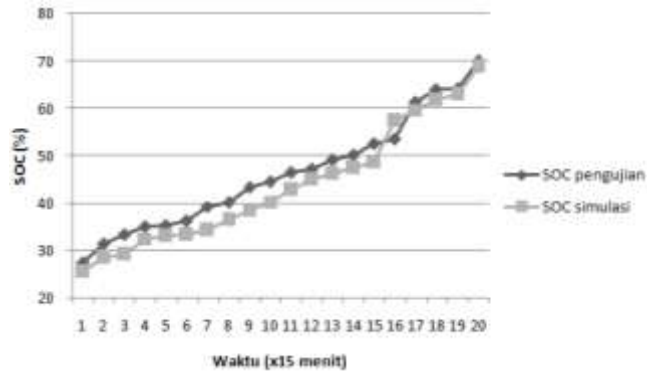
Tabel 4.5 Tabel rule base tegangan dan suhu discharge

Voltage	Temp			
	VL	L	H	VH
VC	VL	L	H	VL
C	VL	VL	L	H
H	L	L	L	VH
VH	L	L	H	VH

D. Analisa hasil SOC

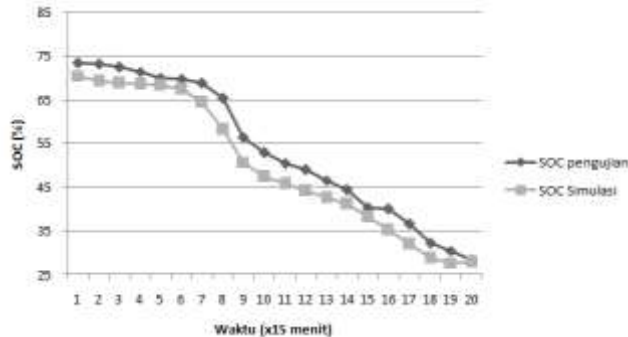
Setelah *membership function* dan rule pada fuzzy telah ditentukan, dilakukan pengujian SOC pada saat kondisi charge dan discharge. Pengujian SOC pada baterai di *charging station* ITS dilakukan dalam dua tahap. Yaitu ketika baterai dalam kondisi tidak mendapat supply listrik dari photovoltaic (malam hari) dan kemudian dibebani hingga baterai mencapai titik minimum dan ketika baterai dalam kondisi mendapat supply listrik dari photovoltaic (siang hari) dalam keadaan

tanpa beban dan besarnya supply listrik yang masuk bergantung pada sinar matahari.



Gambar 12 Grafik perbandingan SOC pengujian dan simulasi saat *charge*

Pada kurva dapat dilihat pada grafik SOC saat *charge* memiliki pola naik yang linear sesuai dengan kondisi baterai yang di-*charge* sampai keadaan penuh. Didapat perbedaan yang tidak terlalu jauh dari kurva pengujian jika dibandingkan dengan kurva SOC saat simulasi



Gambar 13 Grafik perbandingan SOC pengujian dan simulasi saat *discharge*

Pada kurva dapat dilihat pada grafik SOC saat *discharge* memiliki pola turun yang linear sesuai dengan kondisi baterai yang di-*discharge* sampai keadaan penuh. Didapat perbedaan yang tidak terlalu jauh dari kurva pengujian jika dibandingkan dengan kurva SOC saat simulasi.

V. KESIMPULAN

Pada tugas akhir ini telah didesain sistem monitoring pada baterai di stasiun pengisian kendaraan listrik ITS. Desain terdiri dari perangkat *hardware* dan *software*. Rangkaian monitoring baterai yang telah didesain mampu bekerja sesuai dengan sensor yang terpasang. Dari hasil pengujian dapat mengukur tegangan DC hingga 27 volt dengan tidak ada error dan mampu mengukur suhu dengan error 0,7%. Untuk pembatasan suhu dibatasi sesuai dengan aturan standar baterai *lead acid*, yaitu -20°C sampai 50°C.

Desain sistem monitoring baterai menggunakan *fuzzy logic* telah dikembangkan pada penelitian ini yaitu, untuk mendapatkan nilai SOC akurat pada sistem monitoring. Untuk mengestimasi SOC digunakan 2 *input membership function* yaitu tegangan dan suhu baterai.

Interface monitoring baterai yang dibangun menggunakan Arduino telah mampu melakukan pembacaan terhadap nilai yang disensing oleh masing-masing sensor. Data yang

didapatkan dari monitoring ini berupa data *logger*. Sehingga diperoleh nilai dari masing-masing sensor secara *realtime*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Faria, Ricardo. Moura, Pedro. dan Delgado, Joaquim. 21 Juli 2014, "Managing the charging of Electrical Vehicle : Impacts on the Electrical Grid and on the Enviromental". *Intelligent Transportation Systems Magazine IEEE Volume 6*, <http://ieeexplore.ieee.org/>, diakses 9 Desember 2014
- [2] Batteryuniversity Admin, 2014. "BU-401a: Fast and Ultra-fast Chargers". <http://batteryuniversity.com/learn/article/>, diakses 9 Desember 2014
- [3] Yarlagadda, S., Hartley, T.T. dan Husain, I. 23 Mei 2013 "A Battery Management System Using an Active Charge Equalization Technique Based on a DC/DC Converter Topology". *Industry Applications, IEEE Transactions on Volume:49*, <http://ieeexplore.ieee.org/>, diakses 9 Desember 2014
- [4] David, Linden and Reddy, Thomas B. 2001, *Handbook Of Batteries*, 3rd Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc