



TUGAS AKHIR - TE 141599

DESAIN SISTEM MONITORING *STATE OF CHARGE*
BATERAI PADA CHARGING STATION MOBIL LISTRIK
BERBASIS *FUZZY LOGIC* DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
TEMPERATURE

Ahmad Faiz Farizy
NRP 2212 100 194

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

DESIGN OF MONITORING SYSTEM OF STATE OF CHARGE
OF BATTERY IN A CHARGING STATION ELECTRIC CAR
BASED ON FUZZY LOGIC BY CONSIDERING THE
TEMPERATURE

Ahmad Faiz Farzy
NRP 2212 100 194

Advisor
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**DESAIN SISTEM MONITORING STATE OF CHARGE
BATERAI PADA CHARGING STATION MOBIL
LISTRIK BERBASIS FUZZY LOGIC DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN TEMPERATURE**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198109052005011002



Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.
NIP. 195512071980031004



DESAIN SISTEM MONITORING *STATE OF CHARGE* BATERAI PADA CHARGING STATION MOBIL LISTRIK BERBASIS *FUZZY LOGIC* DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *TEMPERATURE*

Ahmad Faiz Farizy
2212100194

Pembimbing 1 : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

Pembimbing 2 : Dr.,Ir Soedibjo, M.MT.

ABSTRAK

Baterai memiliki peran penting dalam perkembangan kebutuhan energi. Peforma baterai yang baik, akan mendukung perangkat yang ditunjangnya. Energi yang dapat disimpan baterai jumlahnya terbatas, maka baterai akan mengalami siklus *charge* dan *discharge*. Proses *charge* dan *discharge* yang tidak tepat dapat menyebabkan peforma baterai menurun. Oleh karena itu manajemen baterai diperlukan agar peforma baterai dapat mencapai maksimal. Salah satu aspek manajemen baterai adalah pemantauan *state of charge* yang merupakan rasio kapasitansi energi yang tersedia dengan kapasitas energy 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*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF MONITORING SYSTEM OF STATE OF CHARGE OF BATTERY IN A CHARGING STATION ELECTRIC CAR BASED ON FUZZY LOGIC BY CONSIDERING THE TEMPERATURE

Ahmad Faiz Farizy
2212100194

1st Advisor : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D

2nd Advisor : Dr.,Ir Soedibjo, M.MT.

ABSTRACT

Battery has an important role in the development of energy needs. Good performance of the battery, will be great for the device which battery supported . Energy that can be stored on batteries are limited, then the battery will undergo cycles of charge and discharge. Not appropriate process of charge and discharge may cause the battery Performance decreases. Therefore, the battery management is required in order to reach a maximum Performance of battery. One aspect of management is monitoring the battery state of charge which is a capacitance ratio of the energy available with maximum energy capacity. One method to estimate the state of charge is fuzzy logic method is to assess the input and output system of observation. In this final task, analyze and monitor the battery charge-discharge process related to the battery in order to obtain an accurate state of charge that makes the battery is not quickly broken will be performed. Monitoring and analysis results indicate that the battery state of charge in the battery has been measured accurately and can estimate the damage to the battery. But this thesis is not yet possible to estimate the age and deterioration of the battery.

Key word: VRLA gel battery, protection, monitoring, state of charge, charging, discharging

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Laporan	4
1.7 Relevansi	4

BAB 2 KARAKTERISTIK BATERAI VALVE-REGULATED LEAD-ACID PADA CHARGING STATION

2.1 Pengertian Baterai	5
2.2 Parameter Baterai	6
2.2.1 Tegangan	7
2.2.2 Kapasitas Baterai	8
2.2.3 Resistansi Internal	8
2.2.4 Energi Spesifik dan Kerapatan Energi	9
2.2.5 <i>State of Charge</i> (SOC)	9
2.3 Karakteristik Baterai <i>Valve Regulated Lead Acid</i> (VRLA)	10
2.3.1 <i>Liquid Vented</i>	10
2.3.2 <i>Baterai Sealed Lead Acid</i> (VRLA)	10
2.4 Sistem Sel Surya	13

BAB 3 PERANCANGAN PEMBUATAN SISTEM MONITORING BATERAI

3.1 Perancangan Monitoring Baterai	15
3.2 Perancangan Sensor	16
3.2.1 Perancangan Sensor Tegangan	17
3.2.1.1 <i>Voltage Divider</i>	17

3.2.2	Perancangan Sensor Suhu	18
3.2.2.1	LM 35	18
3.3	Perancangan <i>Software</i>	19
3.3.1	Pemrograman Arduino	20
3.3.1.1	Pin Masukan dan Keluaran Arduino	21
3.3.1.2	Sumber Daya dan Pin Tegangan Arduino	22
3.3.1.3	Peta Memori Arduino Uno	23
3.3.2	Pemrograman Arduino	24
3.3.2.1	<i>Fuzzy Logic</i>	25
3.3.2.2	Panel Muka	26

BAB 4 ANALISIS PENGUJIAN *HARDWARE* DENGAN ARDUINO

4.1	Persiapan Pengujian Alat	27
4.2	Pengujian Sensor Tegangan.....	28
4.2.1	Pengujian Pembacaan Sensor Tegangan <i>Voltage Divider</i> Pada <i>Charging station</i> ITS	30
4.3	Pengujian Sensor Suhu	30
4.4	Pengambilan data <i>Charge</i> dan <i>Discharge</i> Baterai VRLA di <i>Charging Station</i> ITS	32
4.5	Menentukan State of Charge berdasarkan fuzzy logic	35
4.5.1	Menentukan Membership Function.....	35
4.5.2	Menentukan aturan Logika Fuzzy (Rule Base)	36
4.6	Analisa Hasil SOC.....	39

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43

DAFTAR PUSTAKA	45
RIWAYAT HIDUP	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik lead acid secara umum berdasarkan standar	11
Tabel 4.1	Data error Pemantauan Tegangan.....	28
Tabel 4.2	Hasil pengujian nilai tegangan terukur setelah linierisasi	30
Tabel 4.3	Data pembacaan kalibrasi sensor suhu	31
Tabel 4.4	Tabel rule base tegangan dan suhu saat <i>charge</i>	38
Tabel 4.5	rule base tegangan dan suhu <i>discharge</i>	38

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen utama baterai.....	5
Gambar 2.2	Kurva tegangan berbagai macam baterai.....	7
Gambar 2.3	Baterai VRLA di <i>charging station</i> ITS.....	10
Gambar 2.4	Spesifikasi baterai VRLA di <i>charging station</i> ITS.....	12
Gambar 2.5	Aliran sinar matahari ke sel surya.....	16
Gambar 3.1	Diagram blok sistem keseluruhan.....	25
Gambar 3.2	Diagram blok perancangan sistem monitoring ...	17
Gambar 3.4	Rangkaian <i>voltage divider</i>	18
Gambar 3.5	Sensor suhu LM35.....	19
Gambar 3.6	Model Arduino MEGA 2560.....	21
Gambar 3.7	Arsitektur <i>Fuzzy Logic</i>	24
Gambar 3.8	Panel muka pada sistem monitoring	25
Gambar 4.1	Implementasi alat monitoring baterai	27
Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian Voltage Divider	29
Gambar 4.3	<i>Solar Charge Controller</i> (SCC) pada <i>charging station</i> ITS.....	29
Gambar 4.4	<i>Thermometer infrared</i>	31
Gambar 4.5	Pemasangan LM35 pada VRLA <i>charging station</i> ITS	32
Gambar 4.6	Grafik tegangan saat <i>discharge</i>	33
Gambar 4.7	Grafik suhu saat <i>discharge</i>	33
Gambar 4.8	Grafik tegangan saat <i>charge</i>	34
Gambar 4.9	Grafik suhu saat <i>charge</i>	34
Gambar 4.10	<i>Membership function</i> input tegangan	35
Gambar 4.11	<i>Membership function</i> input suhu	35
Gambar 4.12	<i>Membership function</i> output SOC.....	38
Gambar 4.13	Grafik tegangan, suhu, dan SOC saat <i>charge</i>	37
Gambar 4.14	Grafik tegangan, suhu, dan SOC saat <i>discharge</i>	37
Gambar 4.15	Pembacaan SOC pada baterai <i>charging station</i> ITS	39
Gambar 4.16	Grafik perbandingan SOC pengujian dan simulasi saat <i>charge</i>	41
Gambar 4.17	Grafik perbandingan SOC pengujian dan simulasi saat <i>discharge</i>	42

Halaman ini sengaja dikosongkan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 penyimpanan 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 [2].

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 [3].

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.

1.2 Perumusan Masalah

Tugas Akhir ini membahas terkait perancangan dan implementasi rangkaian pengukuran *State of Charge* dengan input tegangan, arus, dan suhu pada baterai untuk mengukur *State of Charge* secara akurat sehingga dapat menghindari pengaruh akibat *overvoltage* dan *overdischarge* untuk parameter tegangan, serta *overheat* untuk parameter suhu

1.3 Tujuan Penelitian

Tugas Akhir ini bertujuan untuk mendapatkan simulasi dari rangkaian kontrol yang dapat memprediksi *State of Charge* yang akurat dengan menggunakan input tegangan dan *temperature*

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada Tugas Akhir ini yaitu, perancangan implementasi alat disesuaikan dengan komponen-komponen yang ada di pasaran serta peralatan pendukung yang tersedia di laboratorium. Tipe baterai pada *charging station* yang digunakan adalah *Valve-Regulated Lead-Acid* tipe gel dengan tegangan 25 V dan kapasitas 1500 Ah. Untuk monitoring kondisi baterai, dilakukan dengan menggunakan metode *fuzzy logic* pada SIMULINK sebagai *software* monitoring untuk mendapatkan kurva tegangan dan suhu selama proses *charge-discharge*.

1.5 Metodologi

Prosedur yang dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini antara lain, studi literatur, desain simulasi, implementasi alat, analisis data, dan penyusunan laporan.

A.Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah studi literatur terkait memahami permodelan sistem monitoring baterai, monitoring tegangan, arus dan suhu untuk estimasi state of charge (SOC) baterai, memahami fuzzy logic. Studi literatur dapat dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari literatur yang telah ada, baik dari jurnal ilmiah maupun buku referensi yang ada. Referensi utama berasal dari jurnal IEEE yang memiliki pokok bahasan tentang SOC, Fuzzy Logic, dan stasiun pengisian listrik.

B.Desain Simulasi

Setelah didapat rancangan permodelan sistem monitoring state of charge (SOC) baterai dengan menggunakan software Labview, digunakan software Proteus untuk mensimulasikan rancangan permodelan sistem monitoring SOC baterai dengan menggunakan parameter tegangan dan arus. Simulasi dilakukan untuk membuat permodelan kondisi baterai saat kondisi charge dan discharge.

C.Implementasi Alat

Setelah hasil simulasi untuk implementasi alat sesuai dengan literatur yang dipelajari, tahap selanjutnya yakni melakukan

implementasi rangkaian monitoring SOC seperti yang telah dijelaskan tadi. Jika hasil implementasi telah sesuai dengan yang diinginkan, yaitu SOC yang terdeteksi pada alat simulasi telah sesuai teori pada jurnal, maka akan dilakukan analisis dan monitoring pada kondisi pengisian normal dan cepat pada baterai ketika dilakukan proses charge dan discharge.

D. Analisis Data

Setelah hasil analisis diperoleh, langkah terakhir adalah melakukan penyusunan laporan tugas akhir berupa laporan ilmiah yang mencakup semua proses pengerjaan tugas akhir, mulai dari dasar teori, rangkaian simulasi, hasil analisis, hingga penarikan kesimpulan dan saran yang didapat berdasarkan pengerjaan tugas akhir ini.

E. Pembuatan Laporan

Tahap penulisan laporan dilakukan pada saat tahap pengujian sistem dimulai serta setelahnya.

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab akan dijabarkan sesuai dengan pembahasan yang dituju.

BAB 1 Pendahuluan, bab ini berisikan penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi dari Tugas Akhir. BAB 2 Dasar Teori, bab ini membahas mengenai beberapa dasar teori yang menunjang perancangan alat proteksi pengisian dan monitoring baterai antara lain seperti, teori baterai, parameter baterai, karakteristik baterai *Valve-Regulated Lead-Acid* tipe gel, dan sistem photovoltaic. BAB 3 Perancangan dan Pembuatan *Hardware*, membahas tentang perancangan alat proteksi pengisian dan monitoring baterai untuk sistem *photovoltaic* meliputi 2 proses utama, yaitu perancangan *hardware* (seperti desain rangkaian monitoring pengisian baterai, desain algoritma *charging* baterai VRLA, dan perancangan sensor), serta pemrograman alat (seperti program arduino dan program SIMULINK). Kemudian BAB 4 Pengujian dan pengintegrasian *Hardware* dengan SIMULINK, terkait dengan pengujian alat untuk mengetahui kinerja alat secara keseluruhan dan mengambil data uji untuk mengetahui karakteristik baterai tersebut. Selanjutnya dari hasil *Analog to Digital Converter* (ADC) kemudian

diproses oleh perangkat lunak untuk menampilkan data dalam bentuk grafik. Selanjutnya, yang terakhir adalah BAB 5 Kesimpulan dan Saran. Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari Tugas Akhir yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

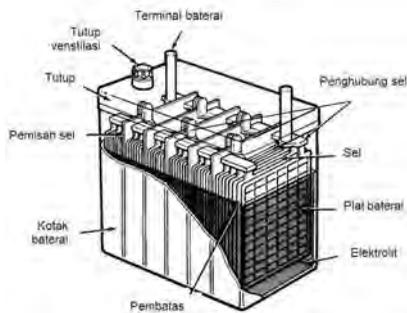
Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya mengenai teknik monitoring kondisi baterai serta memberi manfaat sebagai referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk dikembangkan sebagai Tugas Akhir.

BAB 2

KARAKTERISTIK BATERAI *VALVE-REGULATED LEAD-ACID*

2.1 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. Berdasarkan penggunaannya, baterai terdiri dari dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder.



Gambar 2.1 Komponen utama baterai [Sumber : www.kitapunya.com]

Gambar 2.1. menunjukkan komponen yang terdapat pada baterai. Kotak baterai berfungsi sebagai penampung dan pelindung bagi semua

komponen baterai yang ada di dalamnya seperti sel, penghubung sel, pemisah sel, plat baterai dan lain-lain.

Tutup baterai, sesuai dengan namanya bagian ini berfungsi sebagai tutup bagian atas baterai, tempat kedudukan terminal-terminal baterai, lubang ventilasi.

Plat baterai. Terdapat dua buah plat, plat positif dan plat negatif. Kedua plat tersebut mempunyai grid yang terbuat dari antimoni dan paduan timah. Bahan pembuat Plat positif adalah bahan antimoni yang dilapisi dengan lapisan aktif oksida timah (lead dioxide, PbO_2) yang berwarna coklat dan plat negatif terbuat dari sponge lead (Pb) yang berwarna abu-abu. Salah satu yang mempengaruhi kemampuan baterai dalam mengalirkan arus adalah jumlah dan ukuran plat. Semakin besar atau banyak platnya maka semakin besar pula arus yang dihasilkan.

Separator atau penyekat, bagian ini berfungsi untuk mencegah hubungan singkat antar plat.

Sel. Satu unit plat positif dan plat negatif yang dibatasi oleh penyekat di antara kedua plat positif dan negatif disebut dengan sel atau elemen.

Penghubung sel (cell connector) merupakan plat logam yang dihubungkan dengan plat-plat baterai. Ada dua buah plat penghubung pada setiap sel yaitu untuk plat positif dan plat negatif. Penghubung sel pada plat positif dan negatif disambungkan secara seri untuk semua sel.

Pemisah sel (cell partition). Bagian ini merupakan bagian dari kotak baterai yang memisahkan tiap sel.

Terminal baterai. Secara umum ada dua buah terminal pada baterai, yaitu terminal positif dan terminal negatif. Terminal ini terletak pada bagian atas dari aki.

Larutan elektrolit, yaitu cairan pada baterai merupakan campuran antara asam sulfat (H_2SO_4) dan air (H_2O). Secara kimia, campuran tersebut bereaksi dengan bahan aktif pada plat baterai untuk menghasilkan listrik. Baterai yang terisi penuh mempunyai kadar 36% asam sulfat dan 64% air. Larutan elektrolit mempunyai berat jenis (specific gravity) 1,270 pada 20°C (68°F) saat baterai terisi penuh. Berat jenis merupakan perbandingan antara massa cairan pada volume tertentu dengan massa air pada volume yang sama. Makin tinggi berat jenis, makin kental zat cair tersebut. Berat jenis air adalah 1 dan berat jenis asam sulfat adalah 1,835. Dengan campuran 36% asam dan 64% air, maka berat jenis larutan elektrolit pada baterai sekitar 1,270.

2.2 Parameter Baterai

Proses *charging* dan *discharging* baterai tergantung pada beberapa parameter. Adapun parameter baterai antara lain :

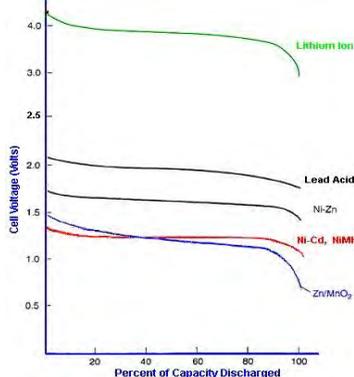
2.2.1 Tegangan

Tegangan pada baterai merupakan beda potensial antara anoda dan katoda, sehingga baterai atau sel dapat mengalirkan arus listrik. Besarnya tegangan baterai saat diberi beban tergantung pada nilai arus, keadaan muatan, umur baterai, dan periode penyimpanan. Ada dua jenis tegangan pada baterai, yaitu tegangan sel tertutup (CCV) dan tegangan sel terbuka (OCV).

$$CCV = OCV - (arus \times resistansi \ internal) \quad (2.1)$$

OCV dapat digunakan untuk menentukan keadaan muatan baterai (*state of charge/SOC*). SOC adalah presentase kapasitas baterai yang tersimpan terhadap kapasitas baterai maksimal.

Tegangan sel tertutup adalah tegangan ketika baterai dihubungkan ke sebuah beban, sedangkan tegangan sel terbuka adalah tegangan ketika baterai tidak dihubungkan ke beban. Sedangkan tegangan nominal adalah besarnya nilai tegangan referensi dari baterai atau tegangan normal baterai. Besarnya tegangan nominal baterai berbeda-beda, hal itu dipengaruhi oleh karakteristik dari baterai.



Gambar 2.2 Kurva tegangan berbagai macam baterai [sumber : www.elkimkor.com]

Pada baterai jenis *lead-acid* tegangan yang dihasilkan dari reaksi kimia sebesar 2 V/sel, sehingga dibutuhkan 6 sel yang dihubungkan seri untuk memperoleh nilai tegangan 12 V.

2.2.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas (*Capacity*) adalah energi yang disimpan di dalam sebuah cell. Energi yang dapat disimpan dalam baterai bersifat terbatas. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dalam parameter kapasitas arus atau biasa disebut kapasitas saja. Kapasitas baterai memiliki satuan AH (ampere-hour) atau mAH (mili ampere hour, $1000 \text{ mAH} = 1 \text{ AH}$). Kapasitas adalah perkalian antara arus konstan yang dikeluarkan dengan lamanya pemakaian baterai. Sebagai contoh baterai 500 mAH mampu mengeluarkan arus 250 mA secara konstan selama 2 jam atau arus konstan 10 mA selama 50 jam. Disamping itu kapasitas juga merupakan perkalian antara kerapatan energi dengan masa baterai.

Pada kenyataannya sebagian besar baterai tidak mampu mengeluarkan arus sebesar ratingnya. Contohnya baterai 500 mAH tidak mampu mengeluarkan arus konstan 500 mAH selama 1 jam. Arus sebesar ini akan menghasilkan panas yang cukup signifikan. Baterai akan berperilaku aneh (mengeluarkan tegangan dan arus dengan nilai yang tidak diharapkan) dan bahkan dapat rusak. Selain itu umumnya baterai juga tidak mampu mengeluarkan arus sangat kecil selama waktu yang diharapkan dalam rating. Sebagai contoh baterai 500 mAH tidak dapat mengeluarkan arus konstan 0.1 mA selama 5000 jam, arus ini hanya akan bertahan kurang dari 5000 jam. Penyebabnya adalah *self discharge* baterai. Pada rentang waktu yang lama kebocoran kapasitas baterai akan lebih terasa.

2.2.3 Resistansi Internal

Ketika baterai dihubungkan singkat, arus yang disuplai baterai dibatasi oleh resistansi internalnya. Resistansi internal bertambah seiring dengan dengan pengosongan baterai. Resistansi internal adalah resistansi ada di dalam baterai. Resistansi ini dapat dimodelkan dengan sebuah resistor yang di seri dengan baterai ideal. Besarnya resistansi internal ini tergantung pada material penyusun dan teknologi pembuatan baterai. Baterai carbon-zinc dan alkaline memiliki resistansi internal yang cukup besar. Baterai Lead-acid dan NiMH memiliki resistansi internal yang

rendah. Disamping itu nilai real resistansi internal ditentukan oleh usia baterai, kapasitas, pengisian dan temperatur.

Baterai ideal memiliki resistansi internal 0 ohm. Baterai ini mampu mempertahankan tegangan keluarannya ($V_o = V_b$) sama dengan tegangan nominal baterai pada arus keluaran berapapun. Baterai sebenarnya (real) memiliki resistansi internal tidak nol (R_i). Pada resistansi ini akan terjadi drop tegangan sebesar $i.R_i$. Dimana i adalah arus keluaran baterai. Semakin besar arus, maka drop tegangan akan semakin besar, sehingga tegangan keluaran akan semakin menurun ($V_o = V_b - i.R_i$). Semakin besar resistansi internal, maka daya keluaran baterai juga semakin kecil.

2.2.4 Energi Spesifik dan Kerapatan Energi

Parameter baterai yang sangat penting adalah Kerapatan Energi (Energy Density). Jumlah maksimum energi per unit masa dari suatu teknologi baterai tertentu yang dapat disimpan disebut sebagai Kerapatan Energi. Kerapatan Energi biasanya diukur dalam satuan Watt-hours/kilogram (Wh/kg). Satuan lainnya yaitu: energy per unit volume.

2.2.5 State of Charge (SOC)

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 *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, dilakukan 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*.

2.3 Karakteristik Baterai *Valve Regulated Lead Acid*

Pada baterai, terdapat berbagai macam jenis dan ukuran. Ada dua jenis baterai yaitu "disposable" dan rechargeable. Baterai rechargeable digunakan oleh sistem solar cell adalah aki/ baterai lead-acid.

Baterai lead acid dapat dikelompokkan menjadi **Liquid Vented** dan **Sealed** (VRLA - Valve Regulated Lead Acid).



Gambar 2.3 Baterai VRLA di *charging station* ITS

2.3.1 Liquid vented

Adalah baterai mobil yang terbuat dari lempengan positif dan negatif dari paduan timah yang ditempatkan dalam larutan elektrolit dan air asam sulfuric. Baterai lead-acid yang terdiri dari 6 individu 2-sel volt. Baterai ini dirancang untuk memberikan arus listrik yang besar hanya beberapa saat, kemudian harus dicharging. (contoh pada saat starter mobil). Jadi baterai Liquid vented tidak cocok untuk sistem solar cell.

Pada saat mendekati full charge, hidrogen dihasilkan dan menguap dari baterai, mengakibatkan air baterai jenis ini berkurang. Untuk maintenance, baterai jenis ini harus dimonitor.

2.3.2 Baterai sealed lead-acid (VRLA)

Tidak seperti baterai liquid vented, 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 2.1 Karakteristik lead acid secara umum 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 best result</i>	5C 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

Dua jenis baterai sealed yang digunakan sistem panel surya adalah **gelcell** dan **Absorbed Glass Mat (AGM)**. Baterai **gelcell** adalah elektrolit baterai di-gel dengan silika gel untuk mengubah cairan menjadi gel massa. Baterai **AGM** menggunakan mat gelas silik berserat untuk menunda elektrolit. Mat ini menyediakan kantong yang membantu dalam penggabungan gas-gas yang dihasilkan selama charging, dan membatasi jumlah dari gas hidrogen yang dihasilkan. Keuntungan utama dari baterai sealed yaitu memiliki spill-proof.(tidak tumpah).



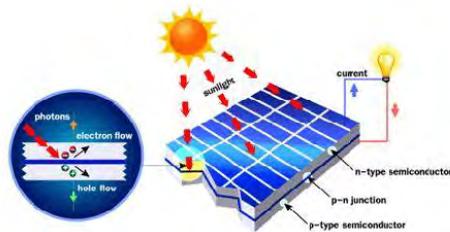
Gambar 2.4 Spesifikasi baterai VRLA di *charging station* ITS

Baterai gelcell sangat rentan terhadap kerusakan dari overcharging khususnya pada cuaca panas dan jangka hidup menjadi lebih pendek daripada jenis baterai lainnya. Kebanyakan baterai sealed harus di charge pada tegangan rendah dan tingkat amper yang rendah untuk menghindari kelebihan gas dari kerusakan sel. Baterai lead-acid memerlukan PV controller untuk menghindari overcharging dan discharging. PV controller, bekerja dengan cara mengawasi tegangan baterai, yang meningkat sebagaimana baterai di charge dan jatuh sebagaimana baterai discharge. Pengontrol charge dibutuhkan karena overcharging menyebabkan kehilangan cairan elektrolit yang berlebihan, yang meningkatkan kebutuhan pemeliharaan dan mempersingkat masa hidup baterai. Semakin baterai secara teratur discharge, maka umur baterai akan semakin pendek.

2.4 Sistem Sel Surya

Indonesia adalah negara dengan sumber daya alam matahari yang melimpah. Potensi sumber matahari yang melimpah ini dapat dimanfaatkan dengan dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan *photovoltaic cell* (sel surya). Sel surya ialah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung. Sel surya pada dasarnya

terdiri atas sambungan p-n yang sama fungsinya dengan sebuah dioda (diode).



Gambar 2.5 Aliran sinar matahari ke sel surya
[Sumber : www.teknologisurya.com]

Sederhananya, ketika sinar matahari mengenai permukaan sel surya, energi yang dibawa oleh sinar matahari ini akan diserap oleh elektron pada sambungan p-n untuk berpindah dari bagian dioda p ke n dan untuk selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke sel.

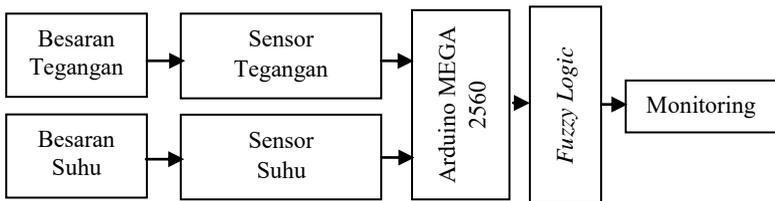
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

PERANCANGAN PEMBUATAN SISTEM MONITORING BATERAI

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan desain sistem monitoring pada baterai VRLA Yuasa 12V 8Ah secara keseluruhan. Adapun terdapat dua pokok bahasan utama, yaitu terkait perancangan perangkat keras serta perancangan *software* untuk sistem proteksi dan monitoring baterai.

Perancangan perangkat keras meliputi sistem monitoring yang akan diterapkan dan kalibrasi dari sensor-sensor yang digunakan. Sedangkan pembahasan perancangan *software* meliputi pemrograman Arduino dan sistematika *fuzzy logic* pada simulink.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem keseluruhan

Sumber yang digunakan untuk proses *charging* baterai VRLA adalah sumber DC yang berasal dari panel *photovoltaic*. Berdasarkan mode pengisian yang digunakan pada pengujian tugas akhir ini adalah *slow charging* dan *rapid charging*, maka dengan demikian, arus pengisian yang digunakan pada pengujian baterai adalah 1A untuk *slow charging* dan 2.4 A untuk *rapid charging*. Pada metode ini arus *charging* dijaga tetap.

3.1 Perancangan Monitoring Baterai

Pada baterai dengan tipe VRLA sangat rentan terhadap kerusakan akibat *overcharging* sehingga, jika terlalu sering mengalami *overcharge*, *lifetime* baterai akan menjadi lebih pendek.. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem monitoring baterai yang akurat sehingga baterai dapat dimonitoring dengan akurat dan tidak mengalami *overcharging*.

Untuk memonitoring baterai agar tidak terjadi *overdischarging*, akan diambil data ketika baterai dalam kondisi penuh lalu baterai akan *discharge* sampai batas bawah baterai. Berdasarkan standar *discharging* pada baterai VRLA, kondisi *discharge* maksimum baterai adalah 20%. Setelah baterai memenuhi kondisi *discharge* 20%, maka baterai akan *charge* sampai kondisi maksimum sehingga diketahui tegangan, arus, dan suhu puncak pada baterai.

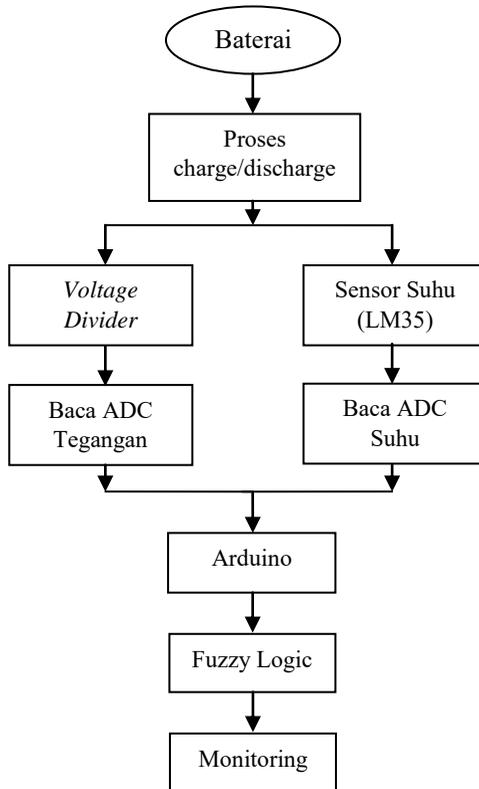
Setelah data *charge* dan *discharge* didapat, dilakukan perancangan sistem monitoring melalui *fuzzy logic* pada simulink. Kemudian dilakukan kalibrasi sensor arus, tegangan, dan suhu untuk kemudian dipasang di *charging station*.

3.2 Perancangan Sensor

Pada pengambilan data untuk sistem monitoring kondisi baterai pada tugas akhir ini, diperlukan tiga jenis sensor, yaitu sensor tegangan, arus, dan suhu. Masing-masing besaran analog yang terukur oleh sensor akan dikalibrasi dan dimasukkan kedalam arduino untuk kemudian diteruskan kedalam *fuzzy logic* pada *simulink*.

Sesuai dengan diagram blok pada Gambar 3.1, besaran arus akan disensing oleh sensor arus yang diambil dari *shunt resistor* yang sudah terpasang di baterai, untuk besaran tegangan akan digunakan rangkaian *voltage divider*, dan untuk besaran suhu akan disensing oleh sensor suhu LM35.

Pada tugas akhir ini, digunakan program *driver* Arduino, yang menggunakan bahasa C sederhana, untuk melakukan pemrograman microcontroller pada sistem monitoring baterai ini. Pengambilan data menggunakan 10 bit data, dimana data yang masuk kedalam Arduino diantara 0-1023 angka yang nantinya akan dikonversikan kedalam angka desimal.

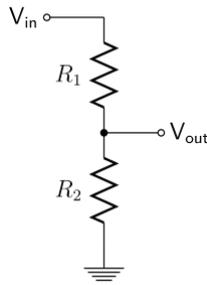


Gambar 3.2 Diagram blok perancangan sistem monitoring

3.2.1 Perancangan Sensor Tegangan

3.2.1.1 *Voltage Divider*

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



Gambar 3.4 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 :

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

Diasumsikan :

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

$V_o = 5$ V (tegangan maksimal yang boleh masuk arduino)

$R_2 = 20.000$ ohm

Maka,

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

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

$$5 R_1 = 500.000$$

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

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

3.2.2 Perancangan Sensor Suhu

3.2.2.1 LM35

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 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.



Gambar 3.5 Sensor suhu LM35 [sumber : www.instructables.com]

Sensor LM35 ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mVolt/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam celcius.
2. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5°C pada suhu 25 °C seperti terlihat pada gambar
3. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55 °C sampai +150 °C
4. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
5. Memiliki arus rendah yaitu kurang dari 60 μ A.
6. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (low-heating) yaitu kurang dari 0,1 °C pada udara diam.
7. Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA.
8. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar $\pm \frac{1}{4}$ °C.

3.3 Perancangan Software

Perancangan software pada tugas akhir ini meliputi 2 bagian utama, yaitu pemrograman Arduino dan pembuatan *interface* pada Simulink. Pemrograman arduino digunakan untuk mengolah data dari sensor-sensor yang digunakan kemudian digunakan untuk komunikasi ke PC untuk dilakukan pemrograman *fuzzy logic* pada arduino.

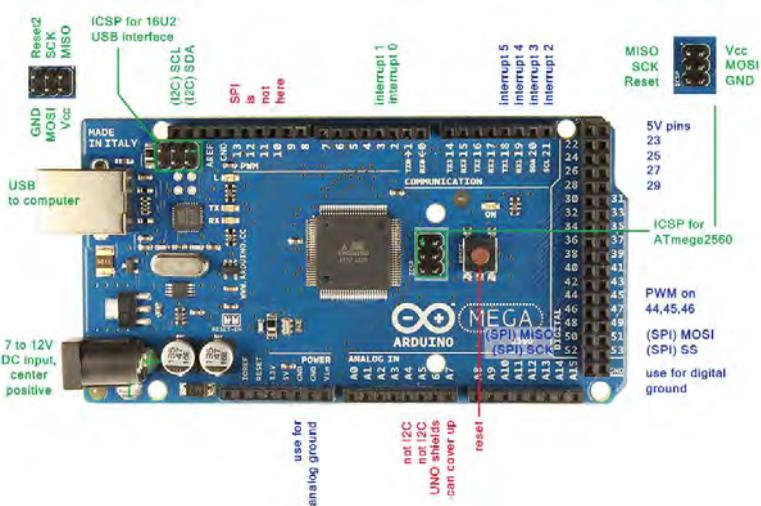
3.3.1 Pemrograman Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Saat ini Arduino sangat populer di seluruh dunia. Banyak pemula yang belajar mengenal robotika dan elektronika lewat Arduino karena mudah dipelajari. Tapi tidak hanya pemula, para hobbyist atau profesional pun ikut senang mengembangkan aplikasi elektronik menggunakan Arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (libraries) Arduino. Arduino juga menyederhanakan proses bekerja dengan mikrokontroler, sekaligus menawarkan berbagai macam kelebihan antara lain:

1. Harga terjangkau
2. Dapat dijalankan diberbagai sistem operasi, Windows, Linux, Max, dan sebagainya.
3. Sederhana, dengan bahasa pemograman yang mudah bisa dipelajari orang awam, bukan untuk orang teknik saja.
4. Open Source, hardware maupun software.

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.

Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 (datasheet ATmega2560). Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Arduino MEGA dapat diaktifkan dengan dihubungkan ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai.



Gambar 3.6 Model Arduino MEGA 2560
[sumber : www.forum.arduino.cc]

3.3.1.1 Pin Masukan dan Keluaran Arduino Uno

Masing-masing dari 54 digital *pin* pada Arduino Mega dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode ()*, *digitalWrite ()*, dan *digitalRead ()*. Mereka beroperasi pada 5 Volt. Setiap *pin* dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal (terputus secara *default*) dari 20-50 kOhms. Selain itu, beberapa *pin* memiliki spesialisasi fungsi:

- (RX) dan Transceiver (TX) TTL *data serial*. Pins 0 dan 1 juga terhubung ke *pin* yang sesuai dari ATmega16U2 USB-to-Serial TTL.
- *External Interruption*: 2 (0 *interrupt*), 3 (*interrupt* 1), 18 (*interrupt* 5), 19 (*interrupt* 4), 20 (*interrupt* 3), dan 21 (*interrupt* 2). *Pin* ini dapat dikonfigurasi untuk memicu *interrupt* pada nilai yang rendah, naik atau jatuh atau perubahan nilai.
- PWM: 2-13 dan 44-46 Menyediakan 8-bit PWM keluaran dengan analogWrite () *function*.

- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). *Pin* ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI Library*.
- LED: 13. Terdapat *built-in* LED yang terhubung ke *pin* digital 13. Ketika *pin* pada nilai besar, LED menyala, ketika *pin* yang rendah, akan mati..
- TWI: 20 (SDA) dan 21 (SCL). Dukungan komunikasi TWI menggunakan *Wire Library*. ArduinoMega2560 memiliki 16 *input*

ArduinoMega2560 memiliki 16 *input* analog, yang masing-masing menyediakan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara *default* mereka mengukur dari *ground* sampai 5 Volt, namun bisa merubah batas atasnya menggunakan *pin* AREF dan *analogReference()* *function*.

3.3.1.2 Sumber Daya dan Pin Tegangan Arduino Uno

Pin-pin pada bagian *power* yang terdapat pada Arduino Mega 2560 adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan *input* ke papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan 5V dari koneksi USB atau sumber daya lainnya). Anda dapat menyediakan tegangan melalui *pin* ini, atau, jika memasok tegangan melalui colokan listrik.
- 5V. *Pin* ini *output* 5V diatur dari regulator di papan Arduino. Dapat diaktifkan dengan daya baik dari colokan listrik DC (7 - 12V), konektor USB (5V), atau *pin* VIN (7-12V). Menyediakan tegangan melalui 5V atau *pin* 3.3V melewati regulator.
- 3V3. Sebuah pasokan 3,3 Volt dihasilkan oleh regulator *on-board*. Menarik arus maksimum 50mA.
- GND adalah *pinground*.
- IOREF. *Pin* ini di papan Arduino memberikan tegangan referensi .

3.3.1.3 Peta Memori Arduino Uno

Arduino Uno adalah arduino board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Maka peta memori arduino uno sama dengan peta memori pada mikrokontroler ATmega328. Memori Arduino terdiri dari :

1. *Memori Program*
2. *Memori Data*

3.3.2 Pemrograman Arduino

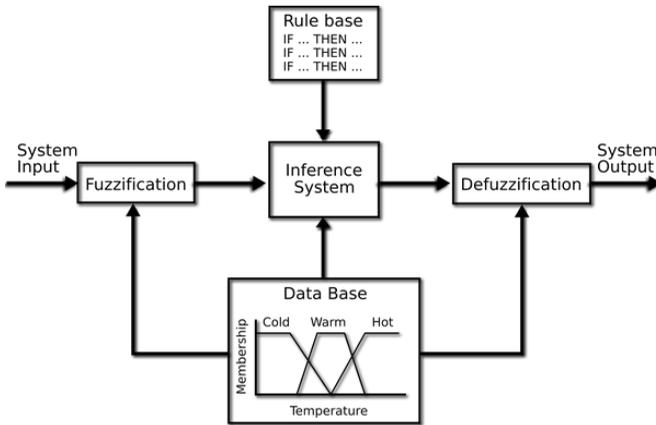
Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Saat ini Arduino sangat populer di seluruh dunia. Banyak pemula yang belajar mengenal robotika dan elektronika lewat Arduino karena mudah dipelajari. Tapi tidak hanya pemula, para hobbyist atau profesional pun ikut senang mengembangkan aplikasi elektronik menggunakan Arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (libraries) Arduino. Arduino juga menyederhanakan proses bekerja dengan mikrokontroler, sekaligus menawarkan berbagai macam kelebihan antara lain:

5. Harga terjangkau
6. Dapat dijalankan diberbagai sistem operasi, Windows, Linux, Max, dan sebagainya.
7. Sederhana, dengan bahasa pemograman yang mudah bisa dipelajari orang awam, bukan untuk orang teknik saja.
8. Open Source, hardware maupun software.

3.3.2.1 Fuzzy Logic

Fuzzy Logic adalah suatu cabang ilmu *Artificial Intellegence*, yaitu suatu pengetahuan yang membuat komputer dapat meniru kecerdasan manusia sehingga diharapkan komputer dapat melakukan hal-hal yang apabila dikerjakan manusia memerlukan kecerdasan. Dengan kata lain fuzzy logic mempunyai fungsi untuk “meniru” kecerdasan yang dimiliki

manusia untuk melakukan sesuatu dan mengimplementasikannya ke suatu perangkat, misalnya robot, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan lain-lain.



Gambar 3.7 Arsitektur *fuzzy logic*

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

- *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.
- *Inference 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”.
- *Defuzzification*, merupakan proses pengubahan variabel berbentuk fuzzy tersebut menjadi data-data pasti (*crisp*) yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian.

3.3.2.2 *Panel Muka*

Panel muka (*front panel*) merupakan interface antara pengguna (user) dengan program. Didalam front panel terdapat informasi tentang data tegangan, suhu, dan SOC.



Gambar 3.8 Panel muka pada sistem monitoring

Digunakan *display* 16x2 untuk menampilkan hasil monitoring *state of charge*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISIS PENGUJIAN DAN INTEGRASI HARDWARE DENGAN ARDUINO

Pada bab ini, akan disajikan mengenai hasil simulasi dan analisis data dari implementasi alat monitoring baterai. Setelah sebelumnya dibahas mengenai perancangan dan pembuatan alat pada Bab 3. Pengujian alat berkaitan dengan pengujian sensor tegangan, dan sensor suhu yang terhubung dengan arduino. Dalam bab ini akan dibandingkan hasil kalibrasi dan analisis antara hasil yang diperoleh dalam implementasi alat dan simulasi.

4.1 Persiapan Pengujian Alat

Pada pengujian alat monitoring dan proteksi baterai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 menggunakan baterai VRLA pada *charging station* 25 Volt dengan kapasitas 1500Ah, dan sensor-sensor yang saling terintegrasi dengan perancangan monitoring arduino.



Gambar 4.1 Implementasi alat monitoring baterai

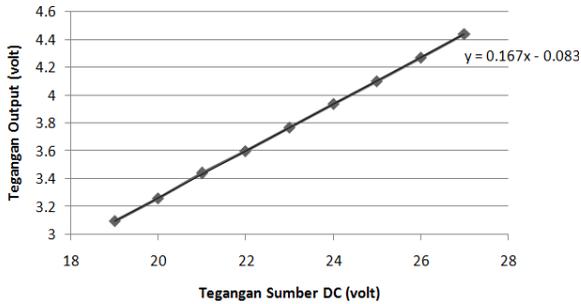
Sensor-sensor tersebut meliputi sensor tegangan dan sensor suhu. Output dari masing-masing sensor akan masuk ke Arduino untuk diubah menjadi data digital. Kemudian data tersebut akan terintegrasi dengan *interface* monitoring arduino.

4.2 Pengujian Sensor Tegangan

Rangkaian pengujian sensor tegangan menggunakan *voltage divider*. Pada kalibrasi ini dibandingkan tegangan yang terbaca oleh *voltage divider* dengan *solar charge controller* (SCC) yang terpasang pada baterai yang terhubung paralel dengan sumber tegangan DC. Rangkaian pembagi tegangan pada dasarnya dapat dibuat dengan 2 buah resistor, dipakai resistor 20 Kohm dan 100 Kohm seperti pada perhitungan sebelumnya.

Tabel 4.1. Data Error Pemantauan Tegangan

Tegangan Sumber DC (volt)	Output Sensor (Volt)
19	3,10
20	3,26
21	3,44
22	3,60
23	3,77
24	3,94
25	4,10
26	4,27
27	4,44



Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian Voltage Divider

Dari data pengujian tersebut dilakukan linearisasi dengan metode regresi linear untuk mendapatkan persamaan output sensor terhadap tegangan sumber. Persamaan ini nantinya dimasukkan ke arduino untuk mendapatkan nilai tegangan yang sebenarnya.



Gambar 4.3 Solar Charge Controller (SCC) pada charging station ITS

Dengan persamaan regresi linier, didapatkan koefisien 'm' adalah 0,83 dan nilai koefisien 'c' adalah 0,167. Berdasarkan persamaan linier

secara umum :

$$y = mx + c$$

dengan 'y' merupakan tegangan output sensor dan 'x' merupakan nilai tegangan sumber yang terukur, maka persamaan yang dimasukkan ke arduino adalah sebagai berikut:

$$\text{Tegangan terukur} = \frac{y + 0,83}{0,167}$$

4.2.1 Pengujian Pembacaan Sensor Tegangan Voltage Divider Charging Station ITS

Setelah pembacaan pada output linier, dilakukan pengujian untuk membandingkan nilai output sensor terhadap nilai input yang sebenarnya. Pengujian ini dilakukan di *charging station*. Sensor dipasang pada kabel DC yang terhubung dengan baterai pada bus DC.

Tabel 4.2 Hasil pengujian nilai tegangan terukur setelah linierisasi

Pengukuran Multimeter	Pembacaan Program	Error (%)
24,8	24,96	0,64
24,4	24,5	0,40
24,1	24,26	0,64
24	24,14	0,58
23,8	23,92	0,50
23,7	23,8	0,40
23,4	23,55	0,64
23,2	23,31	0,47
23,1	23,23	0,56
23	23,14	0,60

Dari hasil diatas, dapat dilihat bahwa nilai error kecil. Maka dapat disimpulkan alat ukur yang dipakai akurat. Dan proses linearisasi tepat

4.3 Pengujian Sensor Suhu

Rangkaian pengujian sensor suhu LM35 seperti pada Gambar 3.10 adalah membandingkan pembacaan suhu yang terbaca oleh sensor suhu ini dengan *thermometer infrared*. Kemudian tegangan output dari LM35 akan masuk ke pin ADC Arduino untuk diolah, dan kemudian

akan ditampilkan pada monitoring arduino. Selain membandingkan pembacaan suhu yang terbaca oleh *LM35* dengan *thermometer infrared*,



Gambar 4.4 *Thermometer infrared* sebagai pembanding dengan alat

Pada skema pengujian tersebut, plat tembaga akan dipanaskan kemudian dидiamkan, sehingga variabel suhu akan terbentuk dalam pengujian ini. Berikut adalah data pengujian sensor suhu LM35 :

Tabel 4.3 Data pembacaan kalibrasi sensor suhu

Termometer (Celcius)	Pemantauan (Celcius)	Selisih	Error
27,5	27	0,5	1,8%
27,4	27,1	0,3	0,10%
27,5	27,1	0,4	0,14%
26	26,2	0,2	0,76%
28,2	28,4	0,2	0,7%
28,3	28,5	0,2	0,7%
32,4	32,7	0,3	0,9%
33,1	33,2	0,1	0,3%
33,3	33,5	0,2	0,7%

Termometer (Celcius)	Pemantauan (Celcius)	Selisih	Error
34	34,6	0,6	1,7%
34,1	34,3	0,2	0,7%



Gambar 4.5 Pemasangan LM35 pada VRLA *charging station* ITS

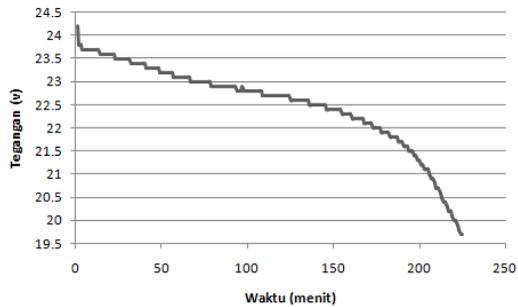
Error berada pada rentang yang bisa terbilang kecil dikarenakan beberapa faktor, diantaranya pemasangan LM35 yang kurang ideal.

4.4 Pengambilan data *Charge* dan *Discharge* Baterai VRLA di *Charging Station* ITS

Pada proses ini, akan dilakukan proses *charge-discharge* secara berurutan dengan aturan yang sama seperti pada pengujian sebelumnya. Aturan dari pengujian ini antara lain :

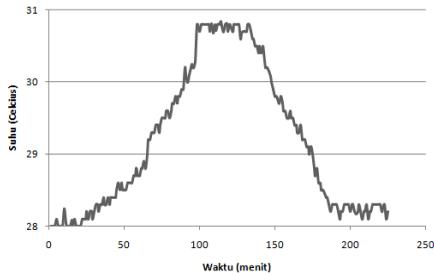
- Proses *charge* harus dapat dihentikan ketika SOC baterai telah 100%, yaitu ketika tegangan baterai 27 Volt,
- Kemudian proses *discharge* harus dibatasi, yaitu tidak boleh dibawah SOC 20%
- Suhu operasi dijaga pada standar yang berlaku, yaitu -20°C sampai 50°C .

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



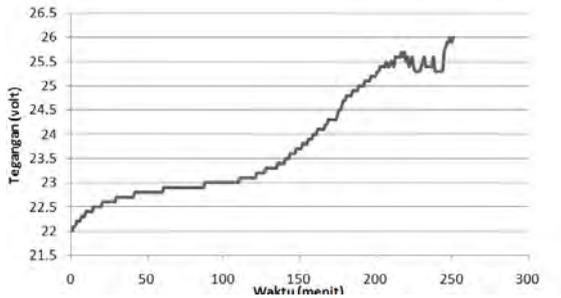
Gambar 4.6 Grafik tegangan saat *discharge*

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.



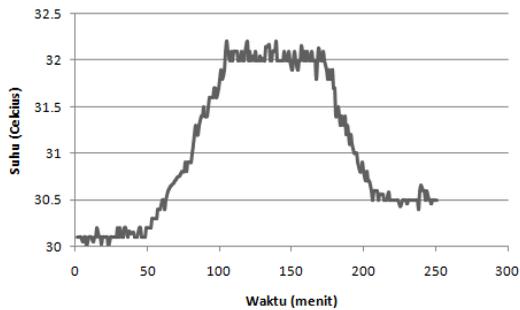
Gambar 4.7 Grafik suhu saat *discharge*

Dari grafik suhu saat *discharge*, dapat terlihat suhu sempat mengalami kenaikan namun turun kembali saat semakin mendekati waktu *discharge* maksimal.



Gambar 4.8 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.



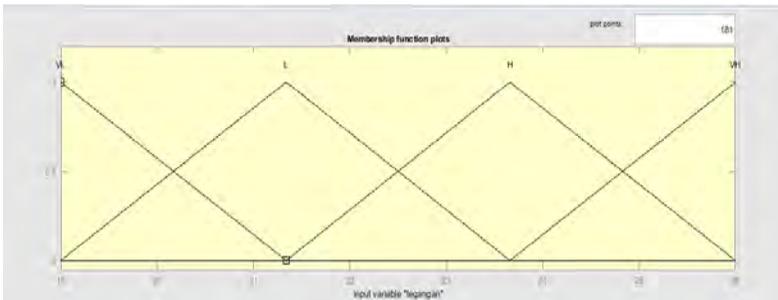
Gambar 4.9 Grafik suhu saat *charge*

Pada kurva grafik suhu saat *charge*, dapat dilihat suhu mengalami kenaikan diawal proses *charge* namun kembali turun saat mendekati waktu *charge* maksimal.

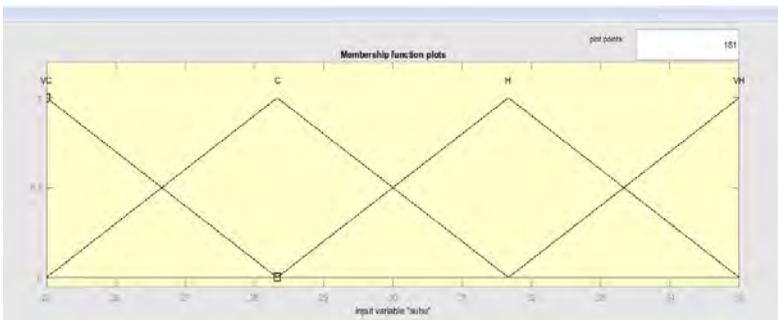
4.5 Menentukan *State of Charge* berdasarkan *fuzzy logic*

4.5.1 Menentukan Membership Fuction

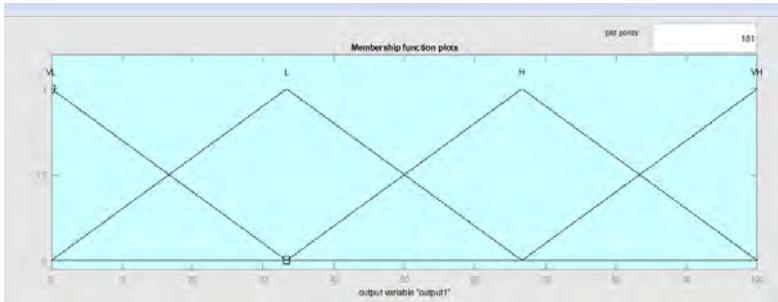
Dari hasil pengukuran *charge* dan *discharge* pada tegangan dan suhu baterai, untuk menentukan SOC digunakan metode logika fuzzy. Tahap pertama fuzzifikasi dengan menentukan setiap derajat keanggotaan untuk setiap set pada fuzzy. Dari pengukuran tegangan dan suhu sebelumnya, dapat ditentukan membership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



Gambar 4.10 Membership function input tegangan



Gambar 4.11 Membership function input suhu

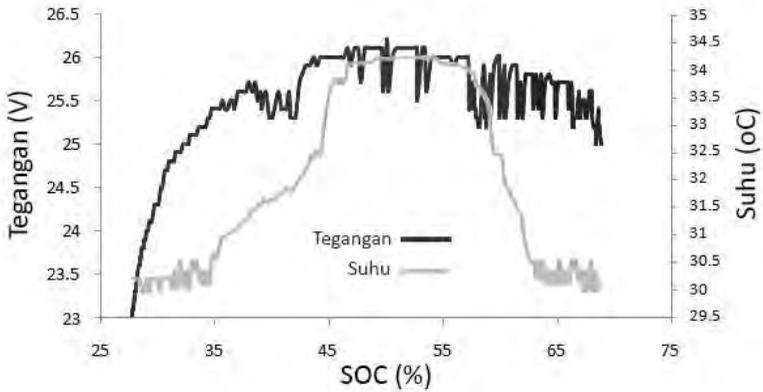


Gambar 4.12 Membership function untuk output SOC

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

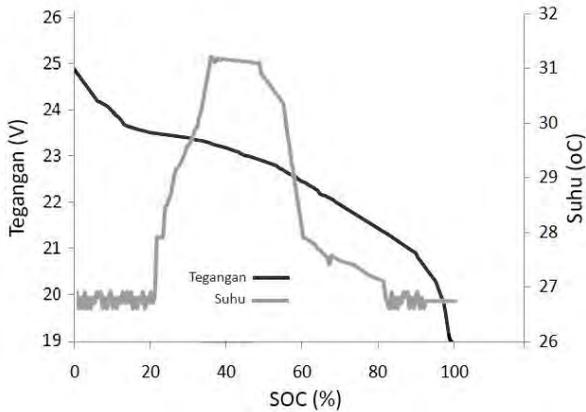
4.5.2 Menentukan Aturan logika fuzzy (rule base)

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



Gambar 4.13 Grafik tegangan, suhu, dan SOC saat *charge*

Dari gambar 4.12 dan 4.13 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 4.14 Grafik tegangan, suhu, dan SOC saat *discharge*

Dari gambar 4.13, dapat dilihat kurva perbandingan suhu dan SOC. Saat *charge*, suhu cenderung tetap diawal, ketika mendekati kondisi SOC hampir penuh, suhu mengalami kenaikan. Dari gambar 4.14, 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	VL	L	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	VH

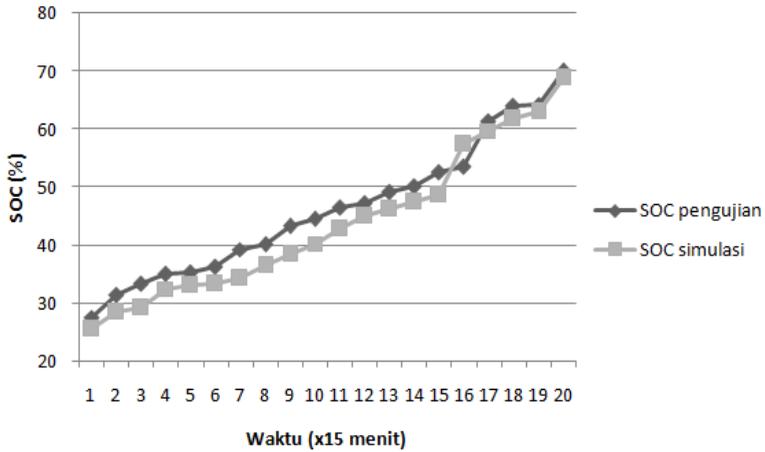
Voltage Temp	VL	L	H	VH
C	VL	VL	L	H
H	L	L	L	VH
VH	L	L	H	VH

4.6 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.

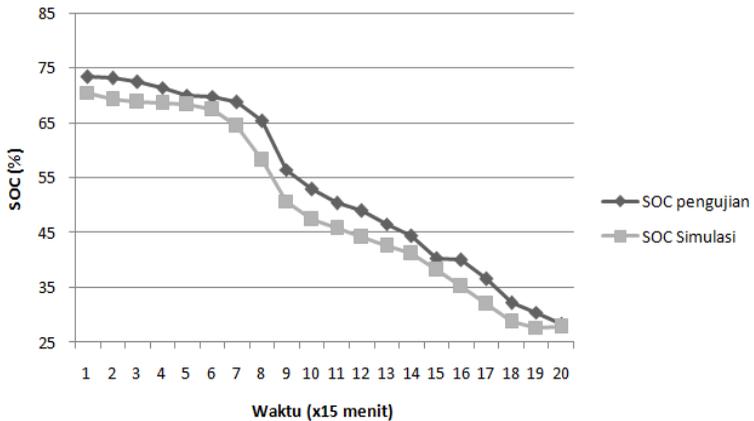


Gambar 4.15 Pembacaan SOC pada baterai *charging station* ITS



Gambar 4.16 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 4.17 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.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 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%.

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*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sehubungan dengan tugas akhir ini antara lain, untuk pengembangan selanjutnya sistem monitoring SOC baterai ini dapat dikembangkan untuk dihubungkan dengan interface web *charging station* ITS. Sehingga data real time yang sudah terbaca bisa dilihat dari web stasiun pengisian kendaraan listrik ITS.

Selain itu, dalam mempertimbangkan suhu, pada penelitian selanjutnya disarankan adanya *feedback* pada sistem *charging station* ITS, sehingga kerusakan pada baterai akibat suhu yang terlalu panas bisa dihindari.

Dalam pembuatan rangkaian monitoring ini juga harus diperhatikan kinerja masing-masing sensor harus optimal, dan harus dikalibrasi ulang setiap akan melakukan uji pengambilan data. Hal ini dikarenakan sensor-sensor tersebut sangat sensitif bila peletakannya tidak seperti semula.

Halaman ini sengaja dikosongkan

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
- [5] Cheng, K.W.E. Divakar, B.P. Hongjie Wu. Ding, Kai. dan Ho Fai Ho. 17 Januari 2011 "Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles", *Vehicular Technology, IEEE Transactions on Volume:60*, <http://ieeexplore.ieee.org/>, diakses 9 Desember 2014
- [6] Electropedia Admin, 2005. "Battery Protection Methods". <http://www.mpoweruk.com/protection.htm>, diakses 9 Desember 2014
- [7] Datasheet Yuasa Battery. "REW-Series - Valve Regulated Lead Acid Battery", 2015
- [8] Datasheet LM35. "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors", *Texas Instruments*, 2015
- [9] Batteryuniversity Admin. 2014. "BU-202: New System Lead Acid". <http://batteryuniversity.com/>, diakses 9 Desember 2014
- [10] Datasheet LM35. "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors", *Texas Instruments*, 2015
- [11] Batteryuniversity Admin. 2014. "BU-202: New System Lead Acid". <http://batteryuniversity.com/>, diakses 9 Desember 2014

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Ahmad Faiz Farizy lahir 1 September 1994 di Surabaya, Jawa Timur. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Ahmad Hayat dan Loesi Esfandiari. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari pendidikan tingkat dasar di MIN Malang I pada tahun 2000-2006. Selepas lulus dari pendidikan tingkat dasar, penulis melanjutkan pendidikan di MtSN 1 Malang pada tahun 2006-2009. Kemudian berlanjut ke tingkat menengah atas di SMAN 3 Malang, dan lulus pada tahun 2012. Saat ini penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), jurusan Teknik Elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah, penulis aktif sebagai member dari *Society of Petroleum Engineer* (SPE) ITS dan sebagai asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik B101 dengan periode aktif 2 semester terakhir. Moto hidup yang penulis pegang adalah jangan takut untuk mencoba hal baru.

e-mail: ahmadfaizfarizy@yahoo.com