

**SISTEM MONITORING DAN KONTROL TERMAL PADA
BATERAI LITHIUM ION (LI-ION) MENGGUNAKAN FUZZY
LOGIC CONTROL**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun Oleh:

KHEN NUHFUS SANJAYA

3332150054

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2021**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Sistem *Monitoring* dan Kontrol Termal Pada Baterai
Lithium Ion (Li-Ion) Menggunakan *Fuzzy Logic Control*
Nama Mahasiswa : Khen Nuhfus Sanjaya
NPM : 3332150054
Fakultas/Jurusan : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar - benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 28 Juni 2021



KHEN NUHFUS SANJAYA
3332150054

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut

Judul : Sistem *Monitoring* dan Kontrol Termal Pada
Baterai Lithium Ion (Li-Ion) Menggunakan *Fuzzy
Logic Control*

Nama Mahasiswa : Khen Nuhfus Sanjaya

NPM : 3332150054

Fakultas/Jurusan : Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 28 Juni 2021 melalui Sidang Skripsi di
Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan
LULUS.



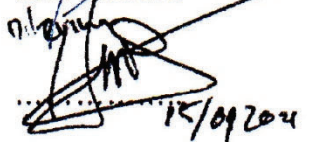
Dewan Penguji

Pembimbing I : HM. Hartono, S.T., M.T.

Penguji I : Dr.-Ing. Muhammad Iman Santoso, M.Sc.

Penguji II : Heri Haryanto, S.T., M.T.

Tanda Tangan


.....

.....

.....
15/09/2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan




Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng

NIP. 198307032009121006

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Romi Wiryadinata, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Rian Fahrizal, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing akademik saya.
3. HM. Hartono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama menyelesaikan skripsi ini.
4. Orang tua saya Puguh Santoso dan Yulianti serta adik saya Muhammad Kemal yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
5. Ledia Septiana atas dukungan, doa dan perhatiannya.
6. Teman – Teman Teknik Elektro angkatan 2015 dan pihak-pihak yang telah banyak membantu penulis yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.
Terima kasih untuk kebersamaan, semangat, dan bantuannya selama ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Cilegon, 28 Juni 2021

Penulis

ABSTRAK

Khen Nuhfus Sanjaya
Teknik Elektro

Sistem *Monitoring* dan Kontrol Termal pada Baterai Lithium-Ion menggunakan
Fuzzy Logic Control

Baterai memiliki peran penting dalam perkembangan kebutuhan energi. Performa baterai yang baik, mendukung perangkat yang didukungnya. Selain arus dan tegangan pada baterai suhu juga mempengaruhi kinerja baterai seperti *overheat*, *short circuit* atau bahkan ledakan pada baterai. Salah satu aspek dari *monitoring* baterai adalah bagaimana caranya suhu di dalam baterai selalu dikontrol. Ini menempatkan baterai selalu pada suhu yang ideal agar dapat bekerja secara optimal. Tahapan dalam perancangan perangkat lunak terdiri dari perancangan *fuzzy logic* yang menggunakan *mikrokontroler*. *Input* yang digunakan adalah sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan dan sensor suhu *max6675 thermocouple type-k*. digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sistem, *liquid crystal display* digunakan dalam perangkat lunak Arduino IDE. Pada proses kalibrasi rata-rata *error* pada sensor tegangan 0,635%, sensor arus 4,68% dan sensor suhu 0,14%. Pada kinerja baterai pada *charging* baterai lithium ion menggunakan metode *fuzzy logic control* pada kondisi siang dan malam hari. Pada kondisi malam terjadi penurunan suhu 36,63⁰C sampai 26,23⁰C. Tegangan *full charge* pada 12,49 V dengan lama waktu *charge* 6 Jam 35 menit. Sedangkan Pada kondisi siang hari terjadi kenaikan suhu 30,91⁰C sampai 38,27⁰C. Tegangan *full charge* pada 12,33 V dengan lama waktu *charge* 8 Jam 54 menit.

Kata kunci:

Lithium Ion, Sistem *Monitoring* Termal Baterai, *Fuzzy logic*.

ABSTRACT

Khen Nuhfus Sanjaya
Electrical Engineering

Thermal Monitoring and Control System on Lithium-Ion Batteries using Fuzzy
Logic Control

Batteries have an important role in the development of energy needs. Good battery performance, will support the devices it supports. In addition to the current and voltage on the battery, the temperature also affects the performance of the battery such as overheating, short circuit or even an explosion in the battery. One aspect of battery monitoring is how the temperature inside the battery is always controlled. This will keep the battery always at the ideal temperature for optimal performance. The stages in software design consist of fuzzy logic design using microcontroller. The input used is a voltage sensor using a voltage divider circuit and a temperature sensor max6675 thermocouple type-k. To display the system readings, a liquid crystal display is used in the Arduino IDE software. In the calibration process the average error on the voltage sensor is 0.635%, the current sensor is 4.68% and the temperature sensor is 0.14%. On the performance of the battery in charging lithium ion batteries using the fuzzy logic control method in day and night conditions. At night conditions there is a decrease in temperature from 36.63⁰C to 26.23⁰C. Full charge voltage at 12.49 V with a long charge time of 6 hours 35 minutes. Meanwhile, during the day, the temperature increased from 30.91⁰C to 38.27⁰C. Full charge voltage at 12.33 V with a long charge time of 8 hours 54 minutes.

Keywords:

Lithium Ion, Battery Thermal Monitoring System, Fuzzy logic.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baterai	5
2.2 Sel Lithium Ion.....	5
2.2.1 Unsur Kimia	7
2.2.2 Prinsip Kerja	7
2.2.3 Fungsi dan Komponen.....	8
2.2.4 <i>Safe Operating Area (SOA)</i>	8
2.2.5 Siklus Penggunaan (<i>Cycle Life</i>).....	10
2.2.6 Efisiensi	11
2.2.7 Konfigurasi Sel	12
2.3 Sistem <i>monitoring</i> termal baterai	14
2.3.1 Fungsi Sistem <i>Monitoring</i> Termal Baterai Lithium Ion.....	14
2.3.2 Pengisian dan Pengosongan Baterai Lithium Ion.....	14
2.3.3 <i>State of Charge</i>	15
2.3.4 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	16
2.4 Mikrokontroler ATmega 2560	17
2.5 Sensor Max6675 <i>Thermocouple type k</i>	18

2.6 Sensor Arus ACS712.....	19
2.7 Sensor Tegangan	20
2.8 Driver Module MOSFET	20
2.9 Catu Daya.....	21
2.10 Kajian Pustaka.....	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Perancangan penelitian.....	24
3.2 Blok Sistem Diagram	25
3.3 Perancangan Sistem <i>Monitoring</i> Termal Baterai Lithium Ion	28
3.4 Perancangan Sistem <i>Monitoring</i> dan Kontrol Termal Baterai Li-Ion.....	29
3.4.1 Modul <i>Charge Constant Current Constant Voltage</i>	31
3.4.2 Driver Module MOSFET.....	32
3.5 Perancangan Sistem <i>Monitoring</i>	33
3.6 Metode Pengujian.....	37
3.7 Instrumen Penelitian.....	37
3.8 Waktu dan Tempat Penelitian	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil Perancangan	41
4.2 Hasil perancangan sistem <i>Monitoring</i>	42
4.3 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Suhu	42
4.4 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Tegangan.....	43
4.5 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Arus.....	44
4.6 Pengujian modul MOSFET	45
4.7 Pengujian <i>Charging</i> baterai lithium ion	46
4.7.1 Pengukuran Tegangan Baterai Lithium Ion pada Proses <i>Charging</i>	46
4.7.2 Pengukuran Arus Baterai Lithium Ion pada Proses <i>Charging</i>	47
4.7.3 Pengukuran Suhu Baterai Lithium Ion pada Proses <i>Charging</i>	47
4.7.4 <i>State of Charge</i> pada Pengujian <i>Charging</i>	48
4.8 Perbandingan Hasil Pengujian menggunakan Metode <i>Fuzzy Logic Control</i> pada Kondisi Siang dan Malam Hari	49
BAB 5 PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	1

Perhitungan Seri dan Pararel Baterai.....	A-1
Perhitungan Pembagi Tegangan.....	A-1
<i>Listing</i> Program pada Arduino IDE.....	A-2
Hasil Perancangan <i>Hardware</i>	B-1
Hasil Pengujian Bentuk Gelombang pada MOSFET.....	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Perbandingan <i>Power Density</i> dan <i>Energy Density</i>	6
Gambar 2.2 Proses <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> pada Baterai Lithium Ion	7
Gambar 2.3 Area Operasi Baterai Lithium Ion	9
Gambar 2.4 Grafik Perbandingan Siklus Hidup baterai dan Suhu Lithium Ion ...	10
Gambar 2.5 Rangkaian Seri Sel Li-Ion	12
Gambar 2.6 Rangkaian Paralel Sel Li-Ion	13
Gambar 2.7 Rangkaian Seri Paralel Sel Li-Ion	13
Gambar 2.8 Grafik <i>Charging Discharging</i> Baterai Li-ion	15
Gambar 2.9 Grafik Fungsi Keanggotaan	17
Gambar 2.10 Mikrokontroler Atmega 2560	18
Gambar 2.11 Sensor suhu Max6675 <i>Thermocouple type k</i>	19
Gambar 2.12 Sensor Arus ACS712	19
Gambar 2.13 Rangkaian Pembagi Tegangan	20
Gambar 2.14 <i>Driver Module</i> MOSFET	21
Gambar 2.15 Catu daya	22
Gambar 3.1 Flowchart Sistem <i>Monitoring</i> Baterai dan Program Fuzzy Logic	24
Gambar 3.2 Blok Sistem <i>Monitoring</i> Termal Baterai <i>Li-Ion</i>	26
Gambar 3.3 Spesifikasi Li-Ion LG 18650HE4	28
Gambar 3.4 Konfigurasi Seri Paralel Baterai Li-Ion LG 18650HE4	29
Gambar 3.5 Hasil Perancangan Modul Baterai Pack Li-Ion LG 18650HE4	29
Gambar 3.6 Rangkaian <i>Buck Converter DC-DC STEP DOWN</i> 300W	31
Gambar 3.7 Modul <i>Charge Buck Converter CC-CV</i>	32
Gambar 3.8 Rangkaian Skematik <i>Driver Module</i> MOSFET LR7843	33
Gambar 3.9 Rangkaian Skematik Sistem <i>Monitoring</i> Tegangan, Arus dan Suhu	33
Gambar 3.10 Rangkaian Sensor Suhu MAX6675 dengan <i>thermocouple type-K</i> .	34
Gambar 3.11 Rangkaian Pembagi Tegangan (<i>Voltage Divider</i>)	35
Gambar 3.12 Perancangan Sensor Arus ACS712-5A	35
Gambar 3.13 Tampilan <i>Software</i> Arduino IDE	38
Gambar 3.14 Tampilan <i>Software</i> EasyEDA	38
Gambar 3.15 Tampilan Microsoft Excel 2019	39

Gambar 4.1 Hasil Perancangan <i>Monitoring</i> Termal Baterai Lithium Ion	42
Gambar 4.2 Tampilan Sistem <i>Monitoring</i> Pada LCD.....	42
Gambar 4.3 Grafik Tegangan Baterai (V) pada Proses <i>Charging</i>	46
Gambar 4.4 Grafik Arus (A) pada Proses <i>Charging</i>	47
Gambar 4.5 Grafik Pengukuran Suhu Baterai pada Proses <i>Charging</i>	47
Gambar 4.6 Grafik <i>State Of Charge</i> (Soc) pada Saat <i>Charging</i>	48
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Total</i> Dan Suhu Pada <i>Charging</i>	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Baterai Lithium Ion dan Baterai Lainnya.....	6
Tabel 2.2 Pengosongan Dan Kapasitas Sebagai Batas Tegangan Pengisian	11
Tabel 2.3 Spesifikasi Mikrokontroler ATmega 2560.	18
Tabel 2.4 Spesifikasi sensor suhu Max6675	19
Tabel 2.5 Spesifikasi sensor Arus ACS712	20
Tabel 2.6 Spesifikasi sensor tegangan	20
Tabel 2.7 Spesifikasi Driver Module MOSFET	21
Tabel 2.8 Spesifikasi Catu daya	22
Tabel 3.1 Spesifikasi Li-Ion LG 18650HE4.....	28
Tabel 3.2 <i>Membership function</i> pada <i>Input Suhu error</i> dan <i>delta error</i>	30
Tabel 3.3 <i>Membership function</i> pada <i>Input Tegangan error</i> dan <i>delta error</i>	30
Tabel 3.4 <i>Rule Base</i> pada <i>Interference System</i>	31
Tabel 4.1 Kalibrasi Sensor Suhu.....	43
Tabel 4.2 Data Kalibrasi Sensor Tegangan.....	44
Tabel 4.3 Data Kalibrasi Sensor Arus.....	44
Tabel 4.4 Data Kalibrasi MOSFET.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai merupakan media penyimpanan energi melalui reaksi kimia yang selalu mengalami perkembangan seiring dengan kebutuhan dan penggunaan di berbagai aplikasi [1]. Baterai lithium-ion memiliki kemampuan penyimpanan energi tinggi per satuan volume. Energi yang tersimpan merupakan jenis energi elektrokimia. Energi elektrokimia merupakan jenis energi listrik yang berasal dari reaksi kimia yang dalam hal ini terjadi di dalam baterai [2]. Agar bisa berfungsi, setiap sel elektrokimia harus memiliki dua elemen penting yaitu elektroda dan elektrolit.

Elektroda terdiri dari dua jenis yaitu anoda dan katoda yang menghantarkan energi listrik (ion). Anoda dihubungkan ke terminal negatif baterai sementara katoda dihubungkan ke terminal positif baterai. Elektroda terendam dalam elektrolit yang bertindak sebagai medium cair untuk pergerakan ion [3]. Elektrolit juga bertindak sebagai *buffer* dan berfungsi membantu reaksi elektrokimia dalam baterai. Pergerakan elektron dalam elektrolit dan di antara elektroda menghasilkan arus listrik [4].

Baterai *rechargeable* diklasifikasikan oleh bahan kimia yang digunakan, bahan reaktan dan reaksi kimia merupakan dasar dari pembentukan mekanisme penyimpanan energi. Empat bahan kimia yang umum digunakan dalam aplikasi konsumen diantaranya *lead acid*, *nickel-cadmium* (NiCd), *nickel-metal hydride* (NiMH), lithium ion (Li-Ion) dan lithium polymer (Li-Po) [5]. Baterai kimia yang dinilai sesuai dengan beberapa kriteria seperti: biaya, *self-discharge* (tingkat dimana baterai secara alami kehilangan energi sementara tanpa digunakan), *energy density* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan volume), *specific energy* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan berat), dan *cycle life* (jumlah pengisian baterai dapat diisi ulang sebelum pemakaian habis) [6].

Baterai ion litium umumnya dijumpai pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik,

tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan [7]. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, lithium ion juga sering digunakan oleh industry militer, kendaraan listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi baterai lithium ion tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan intrinsik [8].

Pada saat ini baterai yang masih dalam perkembangan adalah baterai Lithium Ion. Baterai lithium ion memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki lebih dari 500 kali siklus hidup, tidak terdapat efek memori, dan tingkat *selfdischarge* yang rendah [9]. Arus dan tegangan merupakan besaran yang menjadi parameter kinerja baterai Lithium Ion. Selain arus dan tegangan suhu juga dapat menjadi parameter kinerja baterai Lithium Ion. Suhu yang berlebihan dapat memberikan beberapa efek pada kinerja baterai seperti, *overheat*, *short circuit*, atau bahkan terjadi ledakan pada baterai. Kenaikan pada suhu dapat menyebabkan penurunan nilai impedansi sehingga baterai lebih reaktif, sehingga kinerja baterai kurang optimal [10].

Terdapat berbagai metode untuk melakukan pendinginan yaitu, pendinginan aktif, pendinginan pasif dan pendinginan internal [11][12]. Pendinginan aktif bekerja dengan memerlukan energi dari luar untuk dapat berfungsi, seperti kipas, sedangkan pendinginan pasif berkeja tanpa memerlukan energi dari luar, seperti *heatsink* yang melakukan pendinginan dengan menyerap panas dan membuangnya ke lingkungan [13]. Pada penelitian ini dipilih metode pendinginan internal menggunakan logika *fuzzy* untuk mengontrol sistem yang diperoleh dengan mempertimbangkan parameter *input* menggunakan sensor tegangan dan suhu [14] [15]. Sistem *monitoring* Termal Baterai ini diharapkan dapat menjadi alternatif untuk menjadikan baterai Lithium-Ion *pack* tidak mengalami *overheat* yang dapat mengurangi kehandalan dan kesehatannya. Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kinerja baterai maka diperlukan sistem *monitoring* termal baterai.

Berdasarkan banyaknya referensi yang bertemakan termal baterai lithium-ion pada penelitian ini maka, dapat dilakukan perancangan skripsi dengan judul “*Monitoring dan Kontrol Sistem Termal Pada Baterai Lithium Ion (Li-Ion) Menggunakan Fuzzy Logic Control*”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini dirumuskan beberapa masalah:

1. Bagaimana pemodelan sistem *monitoring* dan kontrol termal baterai lithium ion ketika proses *charging*.
2. Bagaimana perbedaan kontrol termal pada baterai lithium ion menggunakan metode *fuzzy logic Control* pada kondisi siang dan malam hari.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pemodelan sistem *monitoring* termal dan mengontrol suhu pada proses *charging*.
2. Dapat memantau pengaruh suhu terhadap kinerja baterai pada baterai lithium ion menggunakan metode *fuzzy logic control* pada kondisi siang dan malam hari.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari sistem manajemen termal baterai ini diharapkan dapat menjadi alternatif untuk menjadikan baterai lithium-ion *pack* tidak mengalami *overheat* dan *short circuit* yang dapat mengurangi kehandalan dan kesehatannya.

1.5 Kita

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Baterai lithium-ion yang digunakan adalah baterai LG 18650HE4 dengan kapasitas 12,6 V 10.000mAh.
2. Menggunakan *mikrocontroller* ATmega 2560.
3. Menggunakan metode *fuzzy logic control* untuk mengatur suhu dan tegangan pada saat pengisian menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM).
4. Arus pengisian yang digunakan sebesar 1,25 A (0,5C) sesuai standar pengisian baterai.
5. Pembatasan suhu dibatasi sesuai aturan standar baterai lithium ion yaitu 0°C sampai 40°C.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini terdiri dari 5 (lima) bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian singkat mengenai isi penelitian yang meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori-teori penunjang dan dasar-dasar ilmu yang berhubungan dengan baterai, Sel Lithium Ion, Sistem *monitoring* termal baterai dan lainnya. Penyampaian teori hanya sebatas garis besar, serta kajian pustaka yang berupa *review* terhadap hasil penelitian sebelumnya yang sejenis.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai tahap-tahap penelitian yang dilakukan mulai dari awal hingga akhir dengan didapatkan data hasil penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil *monitoring* termal yang didapatkan dari hasil rancang bangun dan simulasi menggunakan *software* Arduino IDE.

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan yang berisi uraian mengenai kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya, merupakan jawaban dari tujuan penelitian dan saran untuk yang ingin melanjutkan tentang judul skripsi Sistem *Monitoring* dan Kontrol Termal Pada Baterai Lithium Ion (Li-Ion) Menggunakan *Fuzzy Logic Control*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afif Muhammad T. dan Pratiwi Ayu Putri, Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review, *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015
- [2] Zhu C., X. Li, L. Song and L. Xiang, Development of a theoretically based thermal model for lithium ion battery pack, *J. Power Sources*, vol. 223, pp. 155–164, 2013
- [3] Huang Q., X. Li, G. Zhang, J. Zhang, F. He and Y. Li, Experimental investigation of the thermal performance of heat pipe assisted phase change material for battery thermal management system, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 141, pp. 1092–1100, 2018
- [4] Hisan A. R., I. P. Handayani and R. F. Iskandar, Perancangan Dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Pendinginan Semi-Pasif Designing and Realization of Battery Thermal Management System, *e-Proceeding Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 4948–4955, 2016.
- [5] Kizilel R., R. Sabbah, J. R. Selman and S. Al-Hallaj, An alternative cooling system to enhance the safety of Li-ion battery packs, *J. Power Sources*, vol. 194, no. 2, pp. 1105–1112, 2009
- [6] Li X., F. He, G. Zhang, Q. Huang and D. Zhou, Experiment and simulation for pouch battery with silica cooling plates and copper mesh based air cooling thermal management system, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 146, no. August 2018, pp. 866–880, 2019
- [7] Wahyudi R. and Muhammad Otong, Perancangan Modular Baterai Lithium Ion(Li-Ion) untuk Beban Lampu Led, *J. Ilm. Setrum*, vol. 8, no. 2, pp. 260–273, 2019.
- [8] Wang S.-C., G.-J. Chen and Y.-H. Liu, Adaptive Charging Strategy With Temperature Rise Mitigation and Cycle Life Extension for Li-ion Batteries, *CPSS Trans. Power Electron. Appl.*, vol. 3, no. 3, pp. 202–212, 2018
- [9] Muenzel V., J. De Hoog and M. Brazil, A Multi-Factor Battery Cycle Life Prediction Methodology for Optimal Battery Management, *Electr. Electron.*

Eng. Univ. Melb., pp. 57–66.

- [10] Z. Wang *et al.*, Thermal management investigation for lithium-ion battery module with different phase change materials, *RSC Adv.*, vol. 7, no. 68, pp. 42909–42918, 2017
- [11] Jiaqiang E., Y. Long, X. Hu and R. Zhu, Thermal analysis of a dynamic lithium-ion battery during charge, *Adv. Mater. Res.*, vol. 516–517, no. May 2012, pp. 489–493, 2012
- [12] Murthy A, Optimizing State of Charge (SOC), temperature, and State of Health (SOH) of lithium-ion batteries, *Indian J. Eng.*, vol. 14, no. 35, pp. 71–76, 2017
- [13] Ma T., B. Serrano and O. Mohammed, Fuzzy logic based power and thermal management system design for multi-cell lithium-ion battery bank protection and operation, *Clemson Univ. Power Syst. Conf. PSC 2014*, pp. 1–5, 2014
- [14] Kane S. N., A. Mishra and A. K. Dutta, Analysis of effective pulse current charging method for lithium ion battery, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 755, no. 1, 2016
- [15] Ali M. U., S. H. Nengroo, M. A. Khan, K. Zeb, M. A. Kamran and H. J. Kim, A Real-Time Simulink Interfaced Fast-Charging Methodology Of Lithium-Ion Batteries Under Temperature Feedback With Fuzzy Logic Control, *Energies*, vol. 11, no. 5, 2018
- [16] Cheng Y. S., C. M. Young, Y. H. Liu, G. J. Chen and Z. Z. Yang, Design And Implementation Of Li-Ion Battery Charger Using State-Of-Charge Estimation With Fuzzy Temperature Control, *Proc. IEEE Int. Conf. Ir⁵¹ Technol.*, vol. 2015-June, no. June, pp. 2075–2079, 2015
- [17] Anonim, Teknik *et al.*, Sistem Pengisian Baterai pada Mobil Listrik, *Natl. Tek. Elektro*, vol. 56, no. 3, pp. 141–145.
- [18] Salkind A. J., C. Fennie, P. Singh, T. Atwater and D. E. Reisner, Determination Of State-Of-Charge And State-Of-Health Of Batteries By Fuzzy Logic Methodology, *J. Power Sources 80 _1999*, pp. 293–300, 1999.
- [19] Deng J., K. Li, D. Laverty, W. H. Deng and Y. H. Xue, Li-Ion Battery Management System For Electric Vehicles - A Practical Guide, *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 463, pp. 32–44, 2014

- [20] Tremblay O., L. A. Dessaint and A. I. Dekkiche, A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles, *VPPC 2007 - Proc. 2007 IEEE Veh. Power Propuls. Conf.*, no. October, pp. 284–289, 2007
- [21] Dwiono, Kinerja Pengendali Fuzzy Untuk Pengisian Baterai Menggunakan (Performance of Fuzzy Controller For Battery Charging in Constant, U. M. Purwokerto, no. December, pp. 18–24, 2017.
- [22] Ma Y., P. Duan, Y. Sun and H. Chen, Equalization of Lithium-Ion Battery Pack Based on Fuzzy Logic Control in Electric Vehicle, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 8, pp. 6762–6771, 2018
- [23] M. A. Khan *et al.*, A Novel Supercapacitor / Lithium-Ion Hybrid Energy System with a Fuzzy Logic-Controlled Fast Charging and Intelligent Energy Management System, *Basic Res. Lab. through Natl. Res. Found. Korea*, vol. 7, no. 63, pp. 1–19, 2019
- [24] Anonim. Pengisian, B. Lithium-ion, F. Kumaraning, F. Rohman, Analisis Variasi Nilai Duty Cycle pada PWM Terhadap, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [25] Shang Y., C. Zhu, Y. Fu and C. Mi, An Integrated Heater-Equalizer for Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles, *IEEE Trans. Ind. Electron. IEEE*, vol. 0046, no. c, pp. 1–8, 2018