

PERANCANGAN SISTEM MANAJEMEN BATERAI PADA MOBIL LISTRIK STUDI KASUS: BATERAI KAPASITAS 46Ah 12V PADA NEO BLITS 2

Luthfitaris Haidiazi Soehartono¹, Akhmad Musafa², Sujono³

1. Teknik Elektro : Universitas Budi Luhur

Jakarta Selatan, Indonesia

1452510264@student.budiluhur.ac.id

2. Teknik Elektro : Universitas Budi Luhur

Jakarta Selatan, Indonesia

akhmad.musafa@budiluhur.ac.id

3. Pusat Studi Mobil Listrik Universitas Budi Luhur

Jakarta Selatan, Indonesia

sujono@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Dalam paper ini telah dirancang sistem manajemen baterai pada mobil listrik studi kasus: baterai kapasitas 46Ah 12v pada neo blits 2. Tujuan dari sistem ini untuk melindungi baterai dari overcharge dan overdischarge sehingga baterai akan lebih baik pemakaian life cycle nya. Dengan pemakaian life cycle yang lebih baik akan mengurangi biaya maintenance pada mobil listrik. Sistem yang dirancang terdiri dari 84 baterai Lithium ion 3,7 volt 2200 mAh paralel 21 lalu di seri sebanyak 4 sehingga menghasilkan output tegangan 14,8 volt 46Ah, 1 unit DC DC converter, 1 unit papan mikrokontroler arduino mega 2560, 6 unit sensor tegangan, 1 sensor arus, 5 sensor suhu, 1 microsd card modul, 1 bluetooth modul, 1 smartphone android, 1 unit relay modul, 1 unit fan, motor DC, modul manual putaran motor DC dan 1 unit charger 12v. Cara kerja sistem ini rangkaian baterai menghasilkan tegangan yang terhubung dengan charger ketika proses charging dan motor DC ketika proses discharging akan dideteksi oleh sensor tegangan, sebagai input sinyal analog ke mikrokontroler arduino mega 2560. Dimana algoritma switching di dalam mikrokontroler akan menghasilkan sinyal HIGH atau LOW sebagai input rangkaian relay untuk memutus arus yang mengalir ke baterai saat proses charging dan memutus arus yang mengalir ke beban motor DC ketika discharging. Pendekripsi tegangan pada setiap sel baterai ditampilkan melalui smartphone. Dari data pengujian proses discharging hasil yang paling efisien berada pada derajat 135 derajat putaran dengan waktu yang dihasilkan yaitu 14 jam 46 menit.

Kata kunci : overcharge; manajemen; baterai; overdischarge; mikrokontroler; mobil listrik.

ABSTRACT

In this paper a battery management system for electric cars has been designed case study: 46Ah 12v capacity kapasitas on neo blits 2. The purpose of this system is to protect the battery from overcharge and overdischarge so that the battery will better use its life cycle. With the use of a better life cycle will reduce maintenance costs on electric cars. The system is designed to consist of 84 3.7 volt 2200 mAh parallel Lithium ion batteries 21 and then in series of 4 so that it produces a voltage output of 14.8 volts 46Ah, 1 unit of DC DC converter, 1 unit of arduino mega 2560 microcontroller board, 6 units of voltage sensors , 1 current sensor, 5 temperature sensors, 1 microsd card module, 1 bluetooth module, 1 android smartphone, 1 unit relay module, 1 unit fan, DC motor, DC motor rotation manual module and 1 12v charger unit. How this system works, the battery circuit produces a voltage that is connected to the charger when the charging process and DC motor when the discharging process will be detected by a voltage sensor, as an analog signal input to the arduino mega 2560 microcontroller. Where the switching algorithm in the microcontroller will produce a HIGH or LOW signal as input relay circuit to cut off the current flowing into the battery during the charging process and cut off the current flowing to the DC motor load when discharging. The detection of voltage on each battery cell is displayed via a smartphone. From the discharging process test data the most efficient results are at 135 degrees rotation with the resulting time being 14 hours 46 minutes.

Keywords: overcharge; management; battery; overdischarge; microcontroller; electric car.

I. PENDAHULUAN

Mobil listrik adalah salah satu kendaraan yang diciptakan untuk mengurangi emisi gas buang pada lingkungan manusia. Sumber utama tenaga pada mobil listrik adalah baterai. Penggunaan baterai pada mobil listrik membutuhkan perawatan yang baik saat pemakaian atau saat sedang diisi ulang. Untuk itulah diperlukan sistem manajemen baterai pada mobil listrik.

Pada jurnal [1] dibahas tentang metode *State of Charge* mereka berhasil menentukan bahan kimia Li-ion battery adalah bahan terbaik yang bisa digunakan sebagai *Energy Storage System*. Mereka berhasil menentukan bahan kimia Li-ion battery adalah bahan terbaik yang bisa digunakan sebagai Energy Storage System. Dalam mobil listrik, sistem manajemen baterai adalah salah satu komponen penting, tidak hanya mengukur kondisi baterai secara akurat, tetapi juga memastikan pengoperasian yang aman dan memperpanjang masa pakai baterai.

Pada jurnal [2] dibahas tentang sistem baterai menggunakan 96 seri yang terhubung sel Li-ion dengan kapasitas 50 Ah untuk mencapai diperlukan level tegangan hingga 400 V. Paket baterai terdiri dari 2 modul masing-masing termasuk sirkuit elektronik untuk pemantauan dan menyeimbangkan sel. Hasil yang diperoleh dari jurnal tersebut menjelaskan tentang sistem manajemen baterai menggunakan 96 seri yang terhubung sel Li-ion dengan kapasitas 50 Ah untuk mencapai diperlukan level tegangan hingga 400 V. Setelah definisi platform hierarkis yang fleksibel untuk implementasi BMS dan gambaran umum tentang teknik utama untuk keseimbangan muatan dan *state of charge estimation*, telah dideskripsikan desain dan validasi eksperimental dari BMS inovatif untuk kendaraan listrik.

Pada jurnal [3] dibahas tentang Sistem manajemen baterai (*Battery Management System*) ini menerapkan dua baterai besar Vanadium Redox Battery (VRB) dalam mode master-slave untuk menyediakan penyimpanan energi tingkat grid untuk sistem tenaga hibrida angin-surya. battery VRB bisa lebih di optimalkan dengan Sizing Method. Sebagai penyimpan energi yang didapat dari Win-PV atau Solar Cell. Hasil membuktikan keunggulan baterai ganda dengan BMS yang diusulkan dan memperkuat bahwa pengenalan tarif berbasis waktu dan insentif lainnya selanjutnya akan membuat investasi dalam VRB sangat menarik untuk aplikasi yang dapat diperbarui.

Pada jurnal [4] dibahas tentang secara aktif mengontrol keseimbangan arus tanpa menghiraukan voltase sel. Alih-alih kesenjangan tegangan di antara sel, arus sel dalam konverter SIMO dan MISO SC ditentukan oleh perbedaan tegangan antara sel dan sumber, serta resistensi setara dari unit switching-kapasitor. Studi simulasi dan hasil eksperimen menunjukkan peningkatan

signifikan dalam kecepatan menyeimbangkan dengan kehadiran BMS dan kontrol loop tertutup dari arus sel.

Pada jurnal [5] dibahas tentang gambaran umum tentang konsep yang ada dalam sistem canggih dan memungkinkan pembaca untuk memperkirakan apa yang harus dipertimbangkan ketika merancang BMS untuk aplikasi yang diberikan. Hasil yang diperoleh dari jurnal tersebut menjelaskan bahwa makalah ini berfokus pada aspek perangkat keras sistem manajemen baterai (BMS) untuk kendaraan listrik dan aplikasi stasioner. Tujuannya adalah memberikan gambaran umum tentang konsep yang ada dalam sistem mutakhir dan memungkinkan pembaca untuk memperkirakan apa yang harus dipertimbangkan ketika merancang BMS untuk aplikasi yang diberikan. Kemudian, aspek implementasi mengenai pengukuran variabel fisik yang diperlukan (tegangan, arus, suhu, dll.) Dibahas, serta menyeimbangkan masalah dan strategi. Akhirnya, pertimbangan keselamatan dan aspek keandalannya diselidiki.

Pada jurnal [6] dibahas tentang menghindari masalah overcharging, over discharge dan cell balancing battery cells. Hasil yang diperoleh dari jurnal ini baterai lithium ion banyak digunakan dalam perangkat elektronik portabel dan kendaraan listrik. Meskipun teknologi baterai telah meningkat secara signifikan, itu tidak sepenuhnya memenuhi kebutuhan energi kendaraan listrik. Baterai kendaraan listrik dibangun dengan koneksi serial dan paralel dari banyak sel untuk memberikan daya yang cukup. Oleh karena itu, diperlukan sistem manajemen baterai untuk memastikan bahwa voltase, suhu, dan informasi terkini dari sel baterai digunakan sebagai kondisi optimal. Penyeimbangan sel harus digunakan untuk memastikan bahwa sel baterai diisi secara bersamaan. Tegangan dan suhu sel diukur dengan menghubungkan papan pendukung slave ke setiap paket baterai seri. Informasi ini dikendalikan oleh papan induk. Aplikasi ini telah diuji pada kendaraan listrik. Sistem manajemen baterai modular berbiaya rendah telah dikembangkan yang dapat mengontrol pengisian dan pemakaian baterai kendaraan yang aman.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, pada tugas akhir ini akan dirancang prototype battery management system electric vehicle dengan kapasitas 46Ah dengan prinsip automatis, yakni dengan mencegah overcharge saat battery digunakan dan overdischarge ketika perangkat baterai diberi beban. berbasis Mikrokontroler sistem ini akan membantu perkembangan kendaraan listrik agar lebih optimal dan ekonomis.

A. Sistem Manajemen Baterai (Battery Management System)

Sistem manajemen baterai adalah sistem elektronik yang mengelola baterai yang dapat diisi ulang (sel atau baterai), dengan melindungi baterai dari operasi di luar area operasi yang aman, memantau keadaannya dan mengendalikan suhu lingkungannya.[7] Baterai pada BMS umumnya menggunakan baterai Lithium. Fungsi utama BMS adalah sebagai berikut:

- *Ballance charge* berfungsi untuk menyeimbangkan tegangan ketika pengisian atau ketika pengosongan, hal ini penting agar tidak terjadi perbedaan yang jauh antar sel baterai.
- *Overcharge protect* berfungsi saat proses pengisian baterai. Ketika tegangan total mencapai nilai batas maksimum tertentu atau tegangan sel baterai sudah mencapai nilai maksimumnya yaitu 4,2 volt maka arus pengisian akan dihentikan.
- *Overdischarge protect* berfungsi saat proses pengosongan baterai dengan beban. ketika tegangan total mencapai nilai batas minimum yang ditentukan atau tegangan sel baterai mencapai nilai minimumnya yaitu 2,7 volt maka arus yang mengalir ke beban akan dihentikan.
- *Thermal control* berfungsi ketika suhu baterai mencapai nilai batas yang ditentukan maka pendinginan menggunakan udara akan diaktifkan untuk melindungi baterai dari suhu panas berlebih.

II. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem yang dilakukan adalah *prototype* sistem manajemen baterai pada neo blits 2. Pembahasan rancangan sistem dimulai dari pembahasan diagram blok sistem, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak.

A. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem manajemen baterai 46Ah pada neo blits 2 yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 2. Diagram blok terdiri sensor tegangan, sensor arus, sensor suhu, mikrokontroler, *relay*, *charger*, baterai *Li-ion*, rangkaian *Bluetooth*, rangkaian *MicroSD*, *Handphone* Android, dan motor *DC*.

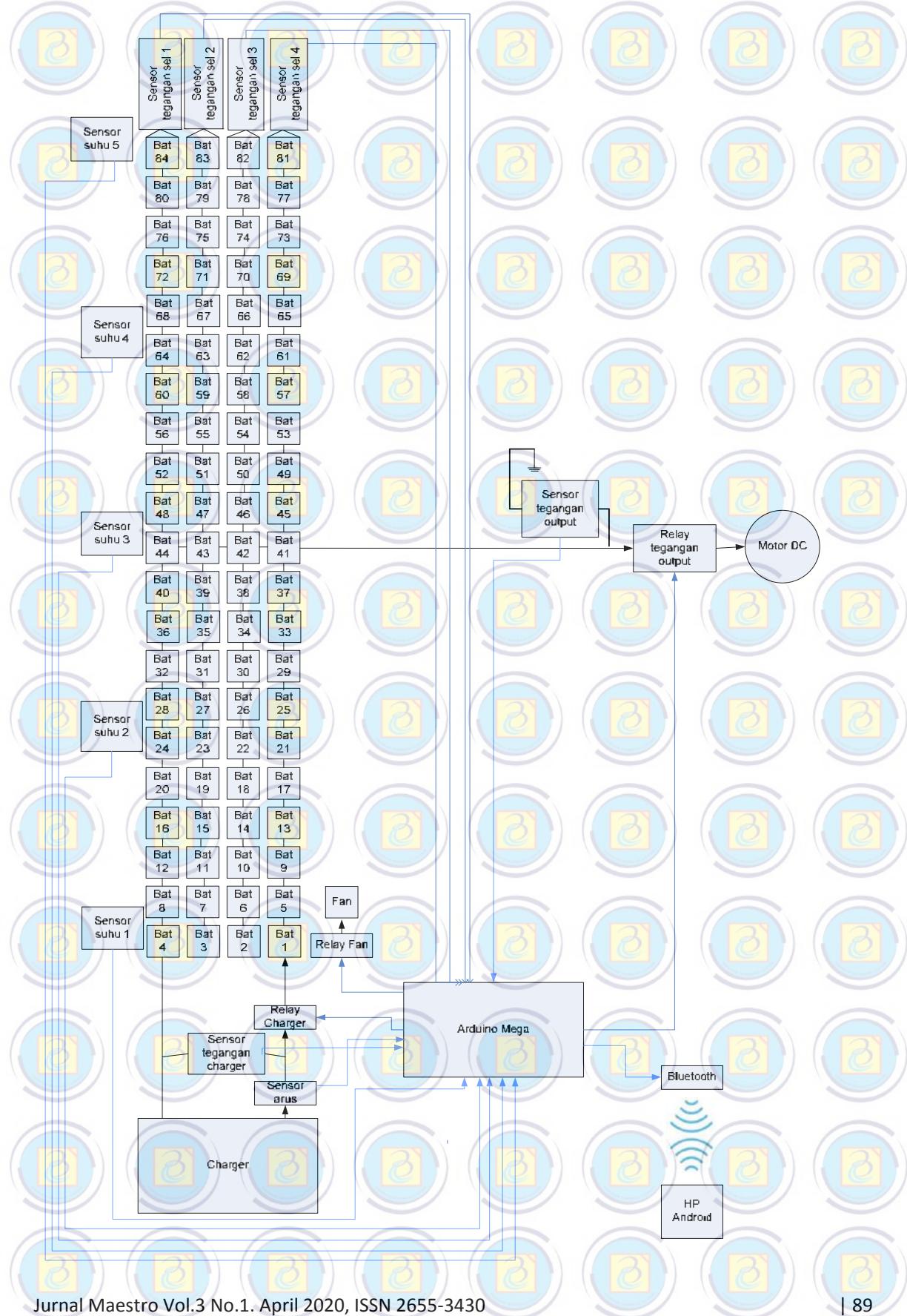
Pada Gambar 1, pada bagian input sistem terdiri dari sensor tegangan, sensor arus, dan sensor suhu. Sensor tegangan dirancang menggunakan rangkaian pembagi tegangan berfungsi untuk membaca nilai tegangan pada baterai dan charger. Sensor arus yang

digunakan adalah INA219 berfungsi untuk membaca arus yang mengalir ke baterai dan beban. Sedangkan, sensor suhu DHT11 digunakan untuk membaca suhu ruang di sekitar baterai. Data hasil pembacaan sensor dikirim ke kontroler untuk diproses sehingga menghasilkan sinyal kontrol untuk pengendalian proses pengisian dan pengosongan baterai. Modul kontroler yang digunakan adalah Arduino Mega2560. Rangkaian DC-DC converter berfungsi sebagai rangkaian catu daya pada sistem. Pada bagian output system terdiri dari rangkaian relay yang berfungsi untuk memutus dan menyambung tegangan dari sumber berdasarkan sinyal kendali dari kontroler. Bagian utama pada sistem ini adalah baterai yang berfungsi untuk menyimpan daya listrik untuk mencukupi kebutuhan sistem kelistrikan pada mobil. Charger pada sistem berfungsi untuk melakukan pengisian tegangan ke baterai ketika sudah mencapai ambang batas minimal tegangan yang telah ditentukan. Kipas pada sistem berfungsi untuk mendinginkan suhu ruang di sekitar baterai saat melakukan pengisian dan pengosongan baterai.

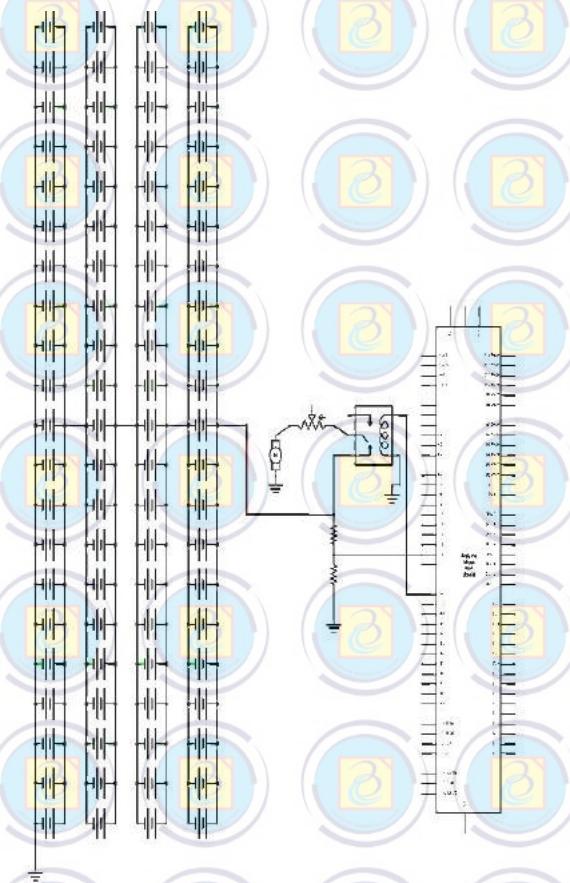
Pada sistem juga dilengkapi dengan modul bluetooth yang berfungsi untuk mengirim data parameter sistem dan hasil pembacaan sensor yang ke perangkat display yang menggunakan handphone. Pada handphone dilengkapi dengan aplikasi sistem manajemen baterai sehingga dapat dilakukan pengaturan dan monitoring sistem. Sedangkan untuk menyimpan data-data parameter sistem, ditambahkan modul MicroSD.

B. Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja sistem manajemen baterai pada alat ini ada tiga, yaitu *overcharge protect*, *overdischarge protect* dan *thermal protect*. Diawali dengan tegangan baterai secara total dan individu dibaca oleh sensor tegangan untuk acuan dan juga nilai inputan mikrokontroler dalam menjalankan program dan memberikan sinyal ke aktuator relay. Ketika mode *charging* yang sudah ditentukan nilai ambang sebesar 14,5 volt, jika tegangan tegangan *charging* mencapai nilai ambangnya maka relay *charger* akan memutus arus yang mengalir ke baterai untuk menghindari *overcharging*. Ketika mode *discharging* dengan nilai ambang sebesar 12 volt yang sudah ditentukan jika tegangan keluaran mencapai batas nilai ambang maka relay tegangan keluaran akan memutus arus yang mengalir ke beban. Untuk *thermal protect* baterai, ketika *discharging*, kipas akan mendinginkan baterai jika suhu mencapai pada suhu 35 derajat celcius.

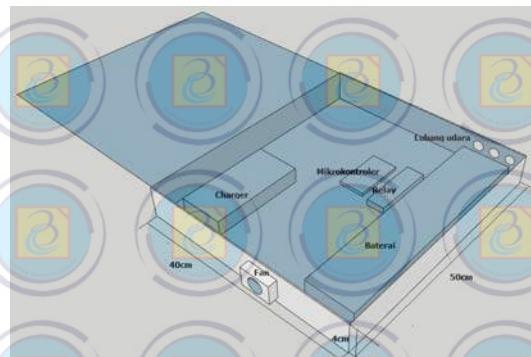


Gambar 1. Diagram Blok Sistem



C. Perancangan Mekanik

Sistem mekanik yang dirancang berupa box untuk panel sistem manajemen baterai. Mekanik dirancang menggunakan bahan akrilik dengan ketebalan bahan 4mm dan dimensi 50cm x 40cm x 4cm. Bentuk rancangan sistem mekanik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Mekanik Alat

D. Perancangan Elektronik

1. Rangkaian Baterai

Rangkaian baterai disusun secara seri dan paralel dengan 21 paralel dan 4 seri untuk menghasilkan 46Ah 12V, berikut susunan baterai pada alat ini:

Gambar 3. Rangkaian baterai 21 paralel 4 seri

Agar menghasilkan 14,8V dengan menggunakan 84 baterai, dengan penyusunan 21 paralel baterai dan 4 seri baterai. Tegangan seri baterai agar menghasilkan tegangan 14,8v sebagai berikut:

$$V_{out\ seri} = V_{sel\ 1} + V_{sel\ 2} + V_{sel\ 3} + V_{sel\ 4}$$

$$V_{out\ seri} = 3.7v + 3.7v + 3.7v + 3.7v$$

$$V_{out\ seri} = 14.8v$$

Agar menghasilkan kapasitas 46 Ah dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

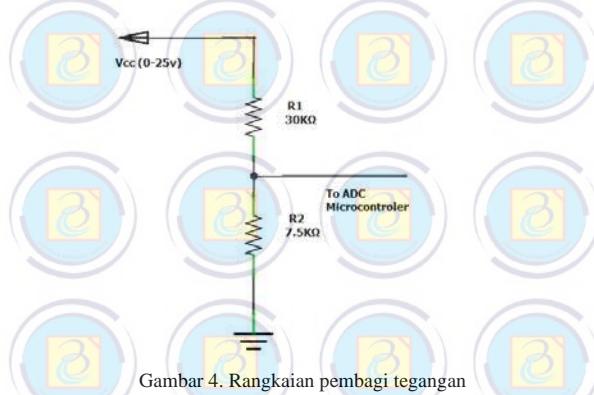
$$Ah_{out} = I_h \times 21 \text{ Baterai cell}$$

$$Ah_{out} = (2200+2200+2200+2200) \times 21 \text{ Baterai}$$

$$Ah_{out} = 46200 \text{ mAh} \approx 46 \text{ Ah}$$

2. Rangkaian Sensor Tegangan

Dalam sistem ini terdapat 6 sensor tegangan. Sensor tegangan 1 sampai 4 untuk mendeteksi tegangan tiap sel baterai, selanjutnya sensor tegangan 5 untuk tegangan pada charger, dan sensor tegangan 6 untuk mendeteksi tegangan output baterai yang akan digunakan untuk beban. Sensor tegangan menggunakan dua buah resistor yang disusun dengan menggunakan prinsip rangkaian pembagi tegangan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian pembagi tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mendeteksi tegangan antara 0 sampai 25 volt. Nilai R_1 yang terpasang pada rangkaian adalah 30K ohm dan nilai R_2 adalah 7.5K ohm. Untuk tegangan minimum 0 volt output sensor adalah 0 volt. Untuk tegangan minimum 0 volt output sensor adalah 0 volt. Sedangkan besarnya tegangan output maksimal sensor yang akan diinputkan ke ADC mikrokontroler ditunjukkan pada hitungan rumus 1.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (1)$$

$$P_{\text{out}} = \frac{P_{\text{RF}}}{P_{\text{RF}} + P_{\text{BG}}} \times 2Be = Be$$

Nilai tegangan untuk setiap 1 ADC yang dikonversikan menjadi 10 bit untuk tegangan keluaran maksimal 5 v adalah :

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R}{R+R_{load}} \quad (2)$$

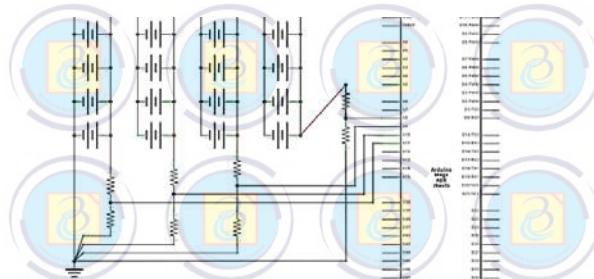
$$\text{Value} = \text{By} \times \frac{1024}{n}$$

Value = 1024 ADC

$$VADC = \frac{28V}{1024} = 0.0244 \text{ volt/ADC}$$

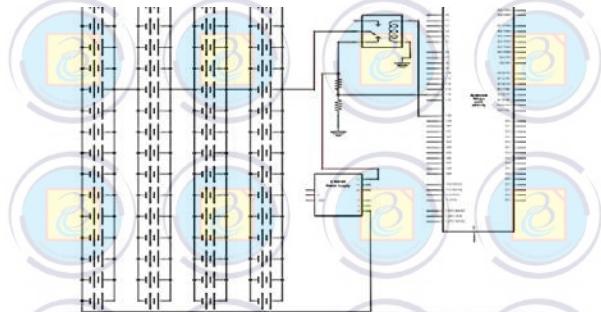
Dari hitungan rumus 2, didapat nilai 0,0244 volt untuk setiap nilai ADC mikrokontroler.

Pada Gambar 5, sensor tegangan dihubungkan pada sel baterai untuk memantau tegangan pada setiap sel baterai.



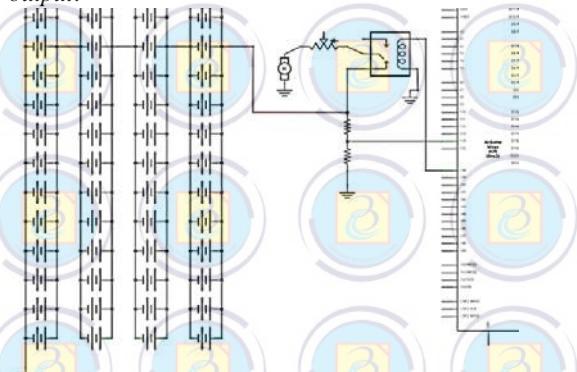
Gambar 5. Rangkaian Sensor Tegangan Per Sel Baterai

Pada Gambar 6, sensor tegangan dihubungkan pada *charger* untuk memantau tegangan *charger*.



Gambar 6. Rangkaian sensor tegangan pada charger

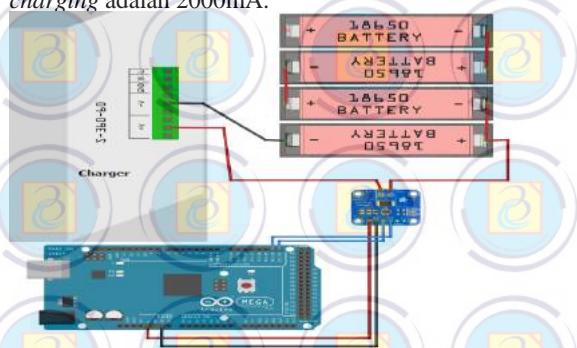
Pada Gambar 7, sensor tegangan dihubungkan pada *output* baterai untuk memantau tegangan *output*.



Gambar 7. Rangkaian sensor tegangan pada output baterai

3. Rangkajian Sensor Arus INA219

Sensor arus **digital** digunakan untuk mengukur besaran arus *output charger* pada rangkaian. Dalam tugas akhir ini menggunakan 1 unit sensor arus. Sensor arus yang digunakan pada alat ini adalah INA219 dimana menggunakan komunikasi I2C untuk pengiriman data hasil pembacaan arus ke mikrokontroler. Sensor arus **digital** dalam tugas akhir ini digunakan untuk mendeteksi arus antara 0 sampai 3,2 A dengan spesifikasi komunikasi sinyal 7 bit. Nilai arus maksimal pada alat ini saat *charging* adalah 2000mA.



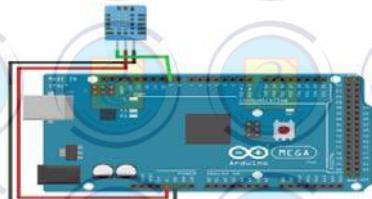
Gambar 8. Rangkaian sensor arus INA219

4. Rangkian Sensor Suhu DHT11

4. Kegunaan Sensor Suhu DHT11

Sensor suhu digital ini digunakan untuk mendapat nilai suhu sekitar area baterai pada alat. Dalam tugas akhir ini digunakan 5 sensor suhu.

Sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu digital DHT11 yang menggunakan sinyal keluaran digital untuk komunikasi pengiriman data hasil pembacaan suhu ke mikrokontroler. Sensor suhu digital dalam tugas akhir ini digunakan untuk mendeteksi suhu antara 0 sampai 50 derajat celcius dengan spesifikasi komunikasi sinyal 8 bit. Nilai suhu pada alat ini rata rata 30 derajat celcius. Rangkaian sensor suhu ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 9. Rangkaian sensor suhu DHT11

5. Rangkaian Bluetooth HC-05

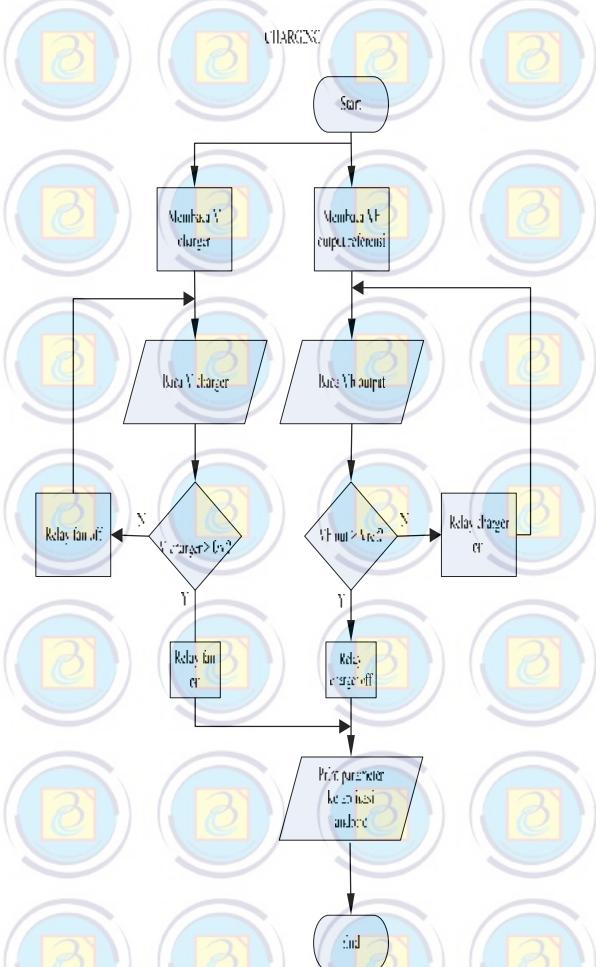
Pada rangkaian ini digunakan bluetooth tipe HC-05, bluetooth berfungsi sebagai media komunikasi antara alat dengan aplikasi android menggunakan komunikasi serial. Melalui aplikasi android ini dapat dipantau nilai dari sensor yang terpasang dan memberikan *threshold* pada alat. Rangkaian bluetooth ditunjukkan pada Gambar 11.

6. Rangkaian Relay

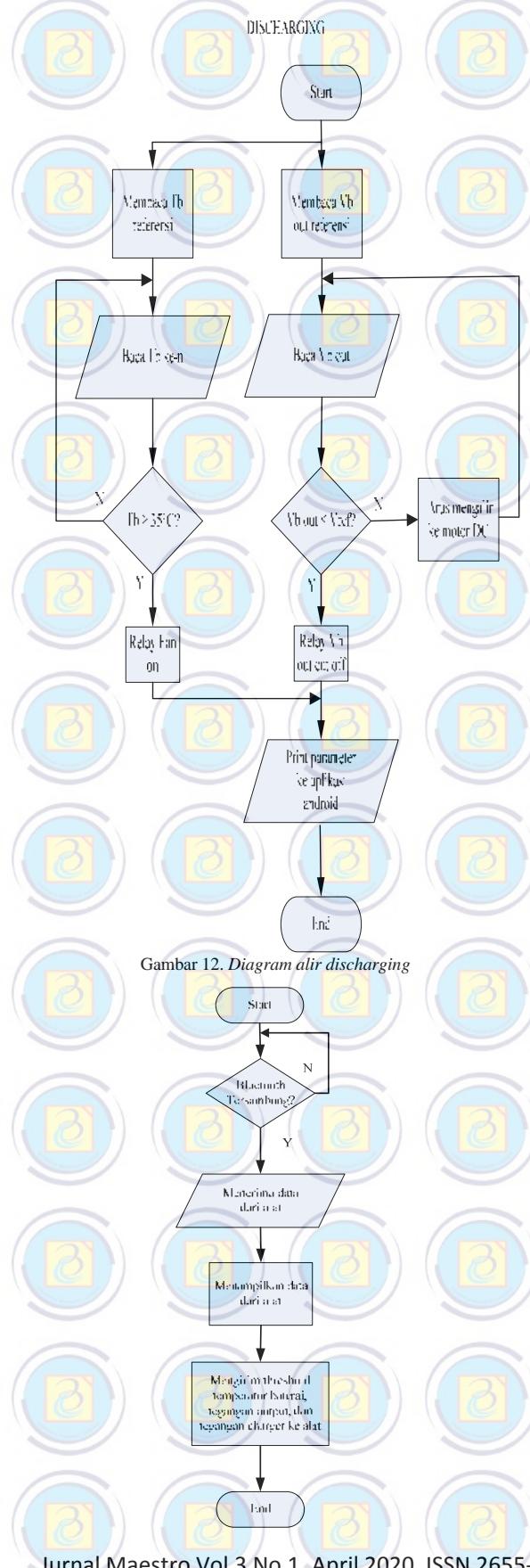
Relay yang digunakan pada alat ini menggunakan tipe single pole double throw (SPDT). Relay 1 digunakan untuk proteksi tegangan charger, relay 2 digunakan sebagai proteksi suhu alat dan relay 3 digunakan sebagai proteksi tegangan output.

7. Perancangan algoritma program

Untuk mempermudah pembuatan program, penulis terlebih dahulu membuat diagram alur atau bisa juga disebut dengan *flowchart*. *Flowchart* ini dimaksudkan sebagai pemandu penulis dalam membuat program agar kesalahan dapat diminimalisir, juga bertujuan agar program yang dibuat merupakan suatu algoritma yang tepat, *flowchart* alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.18, Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 11. Diagram alir charging

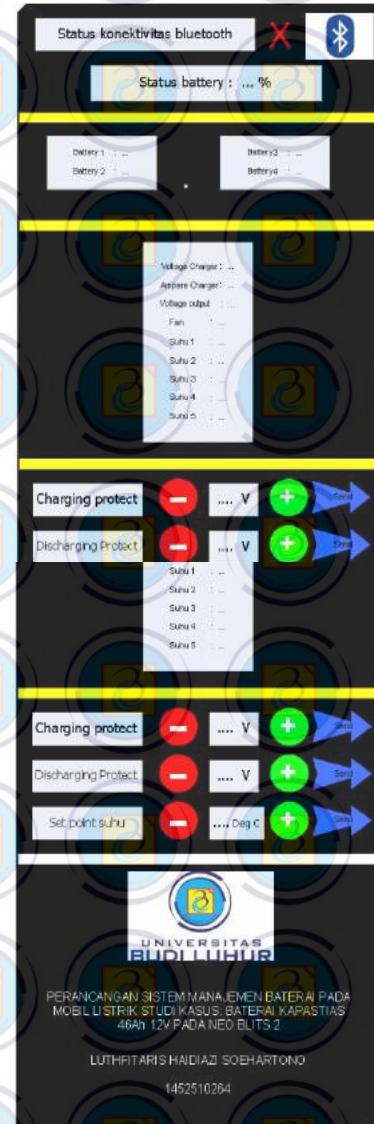


Gambar 12. Diagram alir discharging



8. Perancangan Aplikasi MIT Inverntor

Tujuan pembuatan aplikasi ini untuk monitoring data input dari alat serta mengirim *threshold charging*, set point baterai dan *threshold discharging* ke alat melalui bluetooth. Program yang digunakan untuk perancangan android adalah google app Inventor.



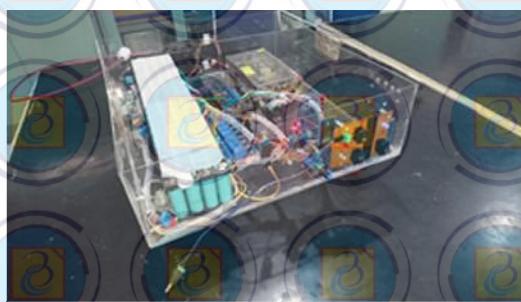
Gambar 14. Perancangan tampilan aplikasi monitoring android

Pada gambar 3.22, design tampilan aplikasi android menampilkan tegangan baterai 1 sampai 4, tegangan charger, arus charger, fan, dan suhu baterai dan tegangan output total dari baterai. Logo bluetooth pada bagian atas kanan tampilan berfungsi untuk menghubungkan aplikasi android dengan alat, pada “status koneksi bluetooth” apabila aplikasi sudah terhubung dengan alat maka informasi “Bluetooth not connected” akan berubah menjadi

“Bluetooth connected” dan sebaliknya. Tombol “X” pada tampilan aplikasi android dibagian atas berfungsi untuk memutuskan koneksi bluetooth dari alat ke aplikasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe panel sistem manajemen baterai hasil rancangan ditunjukkan pada Gambar 15.

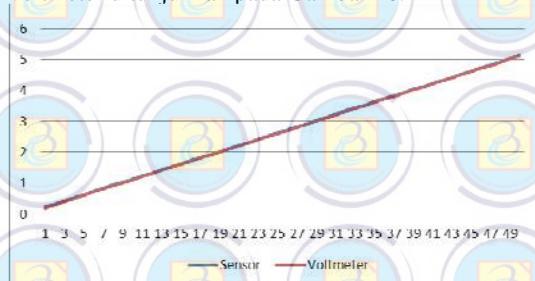


Gambar 15. Prototipe sistem manajemen baterai

Pengujian sistem dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu pengujian sistem tiap bagian dan pengujian sistem keseluruhan. Pengujian tiap bagian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari bagian – bagian sistem hasil rancangan, terdiri dari pengujian rangkaian sensor tegangan, pengujian rangkaian sensor arus, pengujian rangkaian sensor suhu.

A. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan bertujuan untuk mengetahui akurasi pembacaan sensor tegangan. Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah, rangkaian sensor tegangan, sumber catu daya variabel, voltmeter, rangkaian kontroler arduino, dan komputer. Pengujian dilakukan dengan menggunakan rangkaian catu daya variable, yang tegangan keluarannya diatur mulai dari nilai minimal (0,2 volt) kemudian dinaikkan setiap 0,1 volt sampai nilai 5,1 volt. Untuk setiap nilai tegangan keluaran yang diberikan, dilakukan pengukuran dengan sensor tegangan. Tegangan input dari catu daya ini dibaca sensor dikirim mikrokontroler dan diolah untuk selanjutnya ditampilkan pada serial monitor komputer. Nilai tegangan hasil pengukuran sensor tegangan yang ditampilkan pada serial monitor dibandingkan dengan hasil pengukuran voltmeter. Hasil perbandingan pembacaan sensor tegangan dengan voltmeter ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik perbandingan nilai tegangan pembacaan sensor dengan voltmeter

Dari Gambar 16 diperoleh data bahwa rata-rata selisih hasil pembacaan sensor tegangan dengan voltmeter adalah 2,08%. Rangkaian sensor tegangan memiliki keakuratan dalam pengukuran tegangan listrik sebesar 97,92%.

B. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus INA219 bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian sensor arus yang telah dirancang. Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah, rangkaian sensor arus, sumber catu daya variabel, amperemeter, rangkaian kontroler arduino dan komputer. Pengujian dilakukan dengan mengukur arus pada beban yang diberikan potensiometer dengan nilai arus yang bervariasi. Hasil pembacaan sensor arus dibandingkan dengan amperemeter digital. Pengujian dilakukan sebanyak 40 kali. Perbandingan hasil sensor arus dan ampermeter digital ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Perbandingan pengukuran sensor arus dan ampermeter

Pada Gambar 17. Berdasarkan pengujian sensor suhu dibandingkan dengan pengujian dengan termometer dilakukan sebanyak 40 kali percobaan didapatkan nilai rata rata *error* sebesar 1,44%. Dengan nilai *error* sebesar 1,44%, sensor suhu DHT11 memiliki keakuratan 98,56% dalam mendekripsi suhu.

4. Pengujian Sensor DHT11

Pengujian sensor arus DHT11 bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian sensor tegangan yang telah dirancang. Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah, rangkaian sensor suhu, sumber pemanas, termometer, sensor suhu DHT11, rangkaian kontroler arduino dan komputer. Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu pada sekitar baterai yang diberikan panas dengan nilai bervariasi. Hasil pembacaan sensor suhu dibandingkan dengan termometer digital. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali. Perbandingan hasil sensor suhu dan termometer digital ditunjukkan pada Gambar 18.



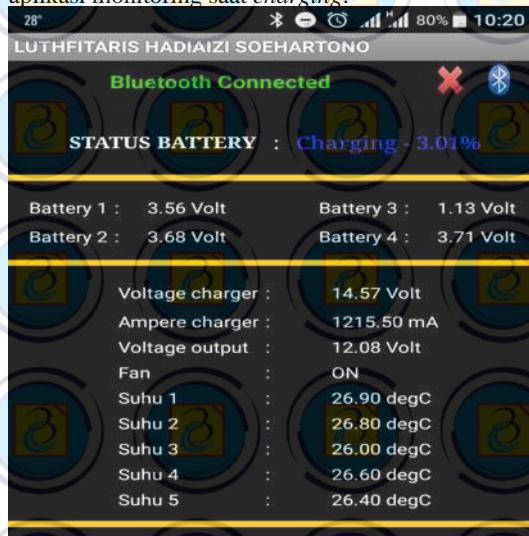
Gambar 18. Perbandingan pengukuran sensor suhu dan termometer

Berdasarkan Gambar 18. Pengujian sensor suhu pada alat dibandingkan dengan pengujian dengan termometer dilakukan sebanyak 20 kali percobaan didapat kan nilai rata - rata *error* sebesar 0,12%. Dengan nilai *error* sebesar 0,12%, sensor suhu DHT11 memiliki keakuratan 99,88% dalam mendeteksi suhu.

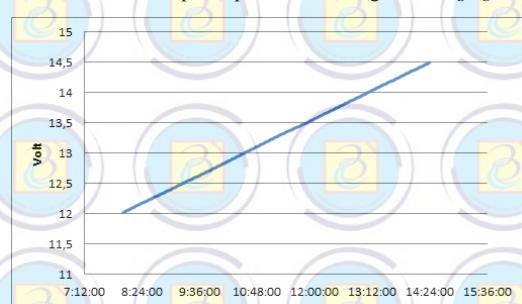
B. Pengujian Alat Keseluruhan

1. Pengujian Alat saat Pengisian

Pengujian alat keseluruhan dengan baterai manajemen sistem yang sudah pada kondisi *charging* bertujuan untuk mengetahui apakah proteksi *overcharging* bekerja dengan baik dan berapa lama waktu yang dibutuhkan sampai baterai penuh. Kondisi awal baterai sebelumnya adalah sekitar 12v. Pada Gambar 19. Menunjukan tampilan aplikasi monitoring saat *charging*.



Gambar 19. Tampilan aplikasi monitoring saat charging

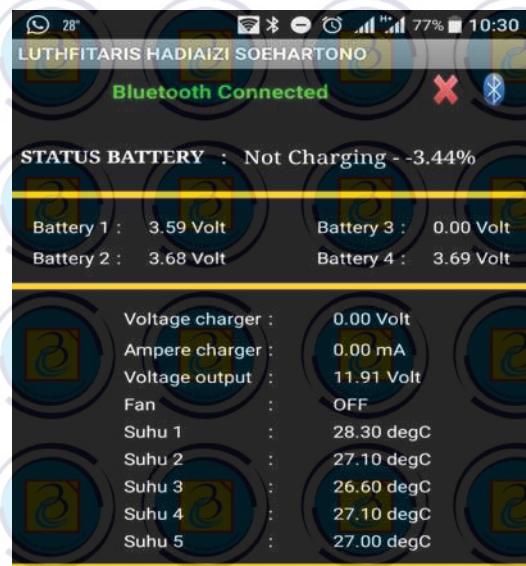


Gambar 20. Grafik Charging Baterai

Pada Gambar 20. Didapat setiap 2 menit sampling yang diambil rata rata pengisian tegangan pada baterai adalah 0,0132v.

2. Pengujian Alat saat Pengosongan

Pengujian alat keseluruhan dengan sistem manajemen baterai (*Battery Management System*) yang sudah terpasang dengan beban yang diberikan potensiometer bertujuan untuk mengetahui berapa lama baterai akan bertahan yang dikondisikan dengan mobil listrik dimana DC modul pengatur kecepatan sebagai simulasi pedal akcelerator pada mobil listrik dengan putaran maksimal 270° dan apakah proteksi *overdischarge* dapat bekerja dengan baik. Kondisi baterai saat akan dilakukan pengujian dikondisikan penuh sekitar 14,5v. Pengujian dimulai dengan memberikan minimum putaran DC modul pengatur kecepatan yaitu pada 135°, pada 180°, pada 225° dan pada 270°. Nilai ambang yang diberikan untuk pengujian *discharging* adalah 12v. Parameter yang diukur adalah tegangan keluaran baterai dan waktu yang dibutuhkan hingga baterai mencapai nilai ambang tegangan. Tampilan aplikasi monitoring baterai ditampilkan pada Gambar 21. Dan hasil pengujian *discharging* dengan 135 derajat putaran modul dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 21. Tampilan aplikasi monitoring saat discharging



Gambar 22. Grafik discharging 135 derajat putaran modul

Pada Gambar 22. Didapat 615 sampling yang diambil rata - rata pengurangan tegangan pada baterai adalah 0,0041 volt setiap 2 menit.

Hasil pengujian *discharging* dengan 180 derajat putaran modul dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Grafik discharging 180 derajat putaran modul

Pada Gambar 23. Didapat 423 sampling yang diambil rata - rata pengurangan tegangan pada baterai adalah 0,006 volt setiap 2 menit.

Hasil pengujian *discharging* dengan 225 derajat putaran modul dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Grafik discharging 225 derajat putaran modul

Pada Gambar 24. Didapat 259 sampling yang diambil rata - rata pengurangan tegangan pada baterai adalah 0,0096 volt setiap 2 menit.

Hasil pengujian *discharging* dengan 270 derajat putaran modul dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik discharging 270 derajat putaran modul

Pada Gambar 25. Didapat 205 sampling yang diambil rata - rata pengurangan tegangan pada baterai adalah 0,0122 volt setiap 2 menit.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan percobaan yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Hasil pengujian sensor tegangan menunjukkan nilai tegangan yang diukur memiliki nilai rata - rata *error* sebesar 2,08 % jika dibandingkan dengan hasil nilai tegangan yang diukur dari multimeter digital. Hasil pengujian sensor arus menunjukkan nilai arus yang diukur dengan rata-rata *error* sebesar 1,44 % jika dibandingkan dengan hasil nilai tegangan yang diukur dari multimeter digital. Hasil pengujian sensor suhu menunjukkan nilai tegangan yang diukur memiliki nilai rata - rata *error* sebesar 0,12 % jika dibandingkan dengan hasil nilai tegangan yang diukur dari multimeter digital. Hasil pengujian keseluruhan, pada pengujian overcharging menunjukkan relay charger jika bernilai 1 maka arus charger akan diputus. Pada pengujian *overdischarging* jika relay tegangan output diberikan beban maka arus nya akan diputus. Hasil pengujian aplikasi android memudahkan untuk memberikan *threshold* dengan mudah saat alat diaktifkan. Dari hasil pengujian keseluruhan didapatkan efisiensi tertinggi saat alat diberikan beban, pada putaran 135 derajat modul pengatur kecepatan motor, baterai pada alat ini dapat bertahan hingga 19 jam 28 menit sampai pada tegangan terendah nya 12 volt.

REFERENSI

- [1] Ali, M.U., Zafar, A., Nengroo, S.H., Hussain, S., Alvi, M.J., Kim, H.-J., 2019. Towards a Smarter Battery Management System for Electric Vehicle Applications: A Critical Review of Lithium-Ion Battery State of Charge Estimation. Energies 12, 446.
- [2] Brandl, M., Gall, H., Wenger, M., Lorentz, V., Giegerich, M., Baronti, F., Fantechi, G., Fanucci, L., Roncella, R., Saletti, R., Saponara, S., Thaler, A., Cifrain, M., Prochazka, W., 2012. Batteries and battery management systems for electric vehicles, in: 2012 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). Presented at the 2012 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE 2012), IEEE, Dresden, pp. 971–976.
- [3] Fathima A. H., Palanisamy, K., Padmanaban, S., Subramaniam, U., 2018. Intelligence-Based Battery Management and Economic Analysis of an Optimized Dual-Vanadium Redox Battery (VRB) for a Wind-PV Hybrid System. Energies 11, 2785.
- [4] Fong, Y., Cheng, K., Raman, S., Wang, X., 2018. Multi-Port Zero-Current Switching Switched-Capacitor Converters for Battery Management Applications. Energies 11, 1934.
- [5] Lelie, M., Braun, T., Knips, M., Nordmann, H., Ringbeck, F., Zappen, H., Sauer, D., 2018. Battery

- Management System Hardware Concepts: An Overview. *Appl. Sci.* 8, 534.
- [6] Turgut, M., Bayir, R., Duran, F., 2018. CAN Communication Based Modular Type Battery Management System for Electric Vehicles. *Elektron. Ir Elektrotechnika* 24, 53–60.
- [7] Xue, F., Ling, Z., Yang, Y., Miao, X., 2017. Design and Implementation of Novel Smart Battery Management System for FPGA Based Portable Electronic Devices. *Energies* 10, 264.
- [8] *Estudogeral.sib.uc.pt*, Battery Management System (BMS) for Lithium-Ion Batteries, *Diakses 17 Agustus 2019, dari https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/3903/8/1/Battery%20Management%20System%20BMS%20for%20Lithium%20Ion%20Batterie.pdf*
- [9] Miguel, J. 2017. Battery Management System (BMS) for Lithium-Ion Batteries. Coimbra University.
- [10] Azizah, N. 2017. *State of Charge untuk Battery Management System (BMS) melalui Kalman Filter*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.