

PERANCANGAN ALAT UKUR *STATE OF CHARGE*, *DEPTH OF DISCHARGE* DAN *STATE OF HEALTH* BATERAI *LITHIUM-ION* (LI-ION) DAN BATERAI *NICKEL-METAL HYDRIDE* (NI-MH) MENGGUNAKAN ARDUINO NANO

Emir Nasrullah¹, Sumadi², Syaiful Alam³, Alferidho Arif⁴

^{1, 2, 3} Fakultas Teknik, Universitas Lampung

enasrullah@gmail.com¹, sumadi.1973@eng.unila.ac.id², saifalam0@gmail.com³, alferidhoar@gmail.com⁴

Abstrak

Baterai dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang digunakan hanya sekali pakai, sedangkan baterai sekunder dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali. Bahan aktif dalam baterai sekunder dapat kembali ke kondisi semula dengan cara pengisian sel. Baterai *Lithium-Ion* (Li-Ion) dan baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH) merupakan contoh dari baterai sekunder. Penggunaan baterai sekunder secara terus menerus akan berdampak pada umur baterai. Hal ini dikarenakan umur baterai yang bergantung pada siklus pengisian dan pengosongan dari baterai itu sendiri. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan kondisi baterai seperti *state of charge* (soc) untuk mengecek kapasitas baterai, *depth of discharge* (dod) untuk menghitung kapasitas baterai yang hilang dan *state of health* (soh) untuk memperkirakan kesehatan baterai.

Penelitian ini menggunakan Arduino NANO sebagai mikrokontroler yang akan mengendalikan modul relay *2-channel* untuk pemilihan jenis baterai dan menghubungkan baterai dengan rangkaian pengosongan atau sensor tegangan, kemudian sensor arus ACS712 sebagai pembaca nilai arus pengosongan baterai dimana hasil dari pengukuran akan ditampilkan pada layar LCD I2C.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa penggunaan baterai Li-Ion lebih baik daripada baterai Ni-MH karena pada waktu yang sama jumlah kapasitas baterai Li-Ion berkurang lebih sedikit dibandingkan baterai Ni-MH, dimana dalam waktu 10 menit kapasitas baterai Li-Ion berkurang 10,39 % sedangkan kapasitas baterai Ni-MH berkurang sebesar 42,98%. Kesehatan baterai Li-Ion lebih baik pada akhir pengujian, dimana soh baterai Li-Ion berada di nilai 89,44% sedangkan Ni-MH di nilai 62,36%.

Kata kunci: Baterai Li-Ion, Baterai Ni-MH, *state of charge*, *depth of discharge*, *state of health*.

Abstract

Batteries can be divided into two types, namely: primary batteries and secondary batteries. The primary battery is a battery that is used only once, while the secondary battery can be used and recharged several times, the active ingredients in the secondary battery can be returned to its original state by charging cells. Lithium-Ion (Li-Ion) batteries and Nickel-Metal Hydride batteries are examples of secondary batteries. Continuous use of secondary batteries will certainly have an impact on battery life. This is also because battery life depends on the charge and discharge cycles of the battery itself. Therefore, it is necessary to monitor battery conditions such as *state of charge* (SOC) to check battery capacity, *depth of discharge* (DOD) to calculate lost battery capacity and *state of health* (SOH) to estimate battery health.

This study uses Arduino NANO as a microcontroller which will control a *2-channel* relay module for selecting the type of battery and connecting the battery to a discharge circuit or voltage sensor, then the ACS712 current sensor as a reader of the battery discharge current value, where the results of the measurements will be displayed on the LCD I2C screen.

The results showed that the use of Li-Ion batteries was better than Ni-MH batteries because at the same time the total capacity of Li-Ion batteries decreased less than Ni-MH batteries, where in 10 minutes the capacity of Li-Ion batteries decreased by 10.39 % while the capacity of the Ni-MH battery was reduced by 42.98%. And Li-Ion battery health is better at the end of the test, where Li-Ion battery is at 89.44% while Ni-MH is at 62.36%.

Keywords: Li-Ion battery, Ni-MH battery, *state of charge*, *depth of discharge*, *state of health*.

1. Pendahuluan

Baterai merupakan salah satu media yang digunakan untuk menyimpan energi yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan baterai pada benda-benda seperti jam, telepon seluler bahkan mobil listrik yang mulai diarahkan untuk menjadi bahan bakar yang ramah lingkungan. Pada bagian dalam baterai berlangsung proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari energi listrik menjadi energi kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel.

Salah satu pengaplikasian baterai yang sedang dikembangkan adalah pada mobil listrik, kendaraan yang mulai banyak digunakan saat ini. Alasan pemilihan kendaraan listrik yang paling utama dikarenakan bahan bakar penggerak kendaraan yang tidak lagi menggunakan bahan bakar fosil melainkan baterai atau akumulator yang lebih ramah lingkungan. Sebuah motor listrik membutuhkan baterai atau aki untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia yang akan digunakan untuk mensuplai energi listrik ke sistem starter, sistem pengapian, lampu-lampu dan komponen kelistrikan lainnya. [1]

Penggunaan baterai sekunder yang dilakukan secara terus menerus tentunya akan berdampak pada umur baterai. Hal ini juga dikarenakan umur baterai yang bergantung pada siklus pengisian dan pengosongan dari baterai itu sendiri. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan kondisi baterai seperti kondisi *State Of Charge (SOC)*, *Depth Of Discharge (DOD)* dan *State Of Health (SOH)*. 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 persentase, terkadang dianggap sebagai nilai kapasitas baterai. DOD merupakan kedalaman pengosongan suatu baterai, sedangkan SOH merupakan keadaan kesehatan baterai yang dihasilkan dari perbandingan kondisi baterai pakai dan kondisi ideal. Satuan SOH adalah persentase. Biasanya, SOH baterai akan 100% pada saat pembuatan dan akan berkurang seiring waktu dan penggunaan. [2]

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penelitian Terkait

Terdapat 3 sumber acuan utama yang dijadikan referensi dalam penelitian ini. Referensi pertama berupa jurnal penelitian tentang peran penting baterai dalam perkembangan kebutuhan energi. Performa baterai yang baik akan mendukung perangkat yang

ditunjungnya. Proses *charge* dan *discharge* yang tidak tepat dapat menyebabkan performa baterai menurun. Oleh karena itu manajemen baterai diperlukan agar performa baterai dapat maksimal. Salah satu metode untuk mengestimasi *state of charge* adalah metode *fuzzy logic* yaitu dengan menilai *input* dan *output system* dari hasil pengamatan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis dan monitoring baterai terkait proses *charge-discharge* pada baterai agar diperoleh *state of charge* yang akurat sehingga membuat baterai tidak cepat rusak. [2]

Referensi kedua berupa jurnal penelitian tentang baterai sebagai bagian penting dari kendaraan listrik yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Penelitian ini menjelaskan ada dua jenis baterai berdasarkan kejadiannya yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Jenis baterai sekunder untuk digunakan pada kendaraan listrik yaitu baterai *Lithium-ion*, *Lithium Polymer*, *Lead acid*, dan *Nickel Metal Hydride*. Metode meta-analisis digunakan untuk menganalisis perbandingan antar jenis baterai sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap baterai memiliki spesifikasi, kelebihan, dan kekurangan yang berbeda. Banyak pertimbangan dalam memilih aki untuk kendaraan listrik termasuk biaya awal, masa pakai, massa, volume, sensitivitas suhu, akses perawatan dan akses produk. [3].

Referensi ketiga berupa jurnal penelitian tentang isu kelangkaan energi dalam pengembangan teknologi yang modern seperti *Wireless Sensor Network (WSN)*. Dari sejumlah implementasinya, masalah utama WSN adalah mengenai konsumsi energi. Dalam penelitian ini dilakukan implementasi modul pengukur kapasitas baterai pada perangkat *embedded*. Ketika informasi kapasitas baterai yang digunakan diketahui, maka dapat diperkirakan berapa lama perangkat *embedded* akan tetap menyala sehingga dapat mendukung pengembangan lebih lanjut mengenai penghematan energi pada perangkat *embedded*. Pemrosesan nilai dilakukan menggunakan mikrokontroler arduino nano, kemudian informasi kapasitas baterai dan arus ditampilkan pada LCD 16x2. [4]

2.2 Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino nano merupakan sebuah papan mikrokontroler berbasis ATmega328 yang memiliki 14 pin I/O digital dimana 6 pin digital tersebut dapat digunakan sebagai output *Pulse Width Modulator (PWM)* dan 8 pin *input* analog. Arduino bekerja pada tegangan 6 sampai dengan 20 volt. Namun, jika Arduino diberikan tegangan kurang dari 7 volt, maka pin 5V pada papan arduino akan menyuplai tegangan kurang dari 5 volt yang akan menyebabkan arduino nano tidak stabil dalam bekerja. Jika Arduino diberikan tegangan lebih dari 12 volt, penstabil tegangan pada Arduino akan menjadi terlalu panas dan dapat merusak Arduino.

Tegangan yang direkomendasikan dalam penggunaan Arduino adalah sebesar 7-12 volt. [7]

2.3. Baterai *Lithium-Ion* (Li-Ion)

Baterai Li-Ion merupakan baterai yang memanfaatkan senyawa lithium sebagai bahan dari elektroda positif dan negatif. Pada baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat digunakan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai li-ion umumnya ditemukan pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini memiliki banyak kelebihan seperti kepadatan energi yang baik, tak ada efek memori, dan isinya tidak cepat terkuras saat tidak digunakan.

2.4 Baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH)

Baterai Ni-MH merupakan salah satu jenis baterai yang dapat diisi ulang. Reaksi kimia pada elektroda positif hampir sama seperti yang terjadi pada baterai jenis nikel cadmium (Ni-Cd), dimana keduanya menggunakan senyawa nikel (Ni-dOOH). Kapasitas baterai Ni-MH bisa dua sampai tiga kali kapasitas baterai Ni-Cd dalam ukuran yang sama dan kepadatan energinya dapat mendekati baterai litium.

Baterai NiMH memiliki tegangan pengisian diantara 1,4 – 1,6 V per sel. Secara umum, metode pengisian konstan tidak dapat digunakan untuk pengisian otomatis. Saat dilakukan pengisian-cepat, disarankan untuk mengisi daya sel NiMH dengan pengisi daya baterai pintar untuk menghindari terjadinya *overcharging* yang dapat merusak baterai. Sel yang terisi penuh memasok rata-rata 1,25 V/sel selama pelepasan, menurun menjadi sekitar 1,0–1,1 V/sel (pelepasan lebih lanjut dapat menyebabkan kerusakan permanen dalam kasus paket multi-sel, karena pembalikan polaritas). Di bawah beban ringan (0,5 ampere), tegangan awal sel AA Ni-MH yang baru diisi dalam kondisi baik adalah sekitar 1,4 volt.

2.5 Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC digunakan untuk mengukur tegangan searah. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pembagi tegangan. Sensor tegangan ini menggunakan prinsip sederhana dan sangat berguna yang menggunakan pembagi potensial untuk mengurangi tegangan input dengan faktor 5. Hal ini memungkinkan kita untuk menggunakan pin input Analog dari mikrokontroler untuk memonitor tegangan yang lebih tinggi daripada kemampuan penginderaannya. Misalnya, dengan rentang input analog 0V - 5V, dapat mengukur tegangan hingga 25V.

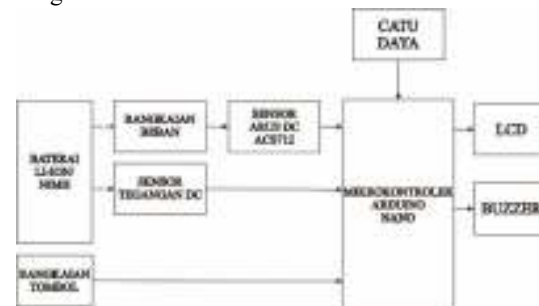
2.6 Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 merupakan sebuah modul yang digunakan untuk mengukur arus AC maupun DC yang mengalir pada sebuah rangkaian. ACS712 merupakan modul sensor untuk mengukur arus baik arus AC maupun arus DC yang menggunakan sensor *Hall Effect*. Yang dimaksud dengan *Hall Effect* yaitu mengalirkan jalur beban yang diukur melalui suatu media konduksi tembaga untuk menghasilkan medan magnet. Medan magnet yang terbentuk akan diubah menjadi tegangan yang proporsional terhadap arus yang mengalir oleh sebuah IC Hall. Modul sensor ACS712 memiliki tiga varian yaitu berdasarkan kemampuan dalam mengukur besarnya arus yaitu tipe ACS712-05B (-5A sampai 5A), ACS712-20A (-20A sampai 20A) dan ACS712-30A (-30A sampai 30A).

3. Perancangan

3.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok dari sistem yang dirancang adalah sebagai berikut :

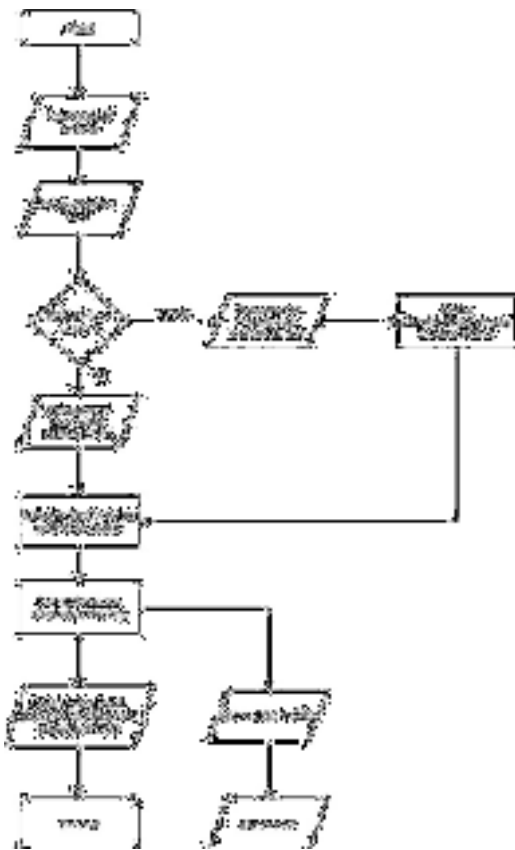


Gambar 1. Diagram blok sistem

Gambar 1 menunjukkan objek yang akan diuji berupa baterai Li-Ion atau Ni-MH. Pada diagram blok Gambar-1 terdapat sumber masukan berupa rangkaian beban yang digunakan untuk pengosongan baterai, sensor tegangan DC untuk membaca nilai tegangan, sensor arus DC untuk membaca nilai arus pengosongan baterai, rangkaian tombol sebagai antarmuka dan catu daya sebagai sumber tegangan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino nano dengan chip ATmega328p. Keluaran dari alat yang dirancang berupa bentuk visual yang akan ditampilkan di LCD I2C 16×2 dan suara *buzzer*.

3.2 Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan proses pengisian dan pengosongan baterai. Diagram alir system pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Metode Charging Baterai

Pengisian cepat yang dilakukan dengan metode *Constant Current Constant Voltage* (CC-CV) akan lebih baik jika dilakukan dengan arus pengisian $<50\%$ kapasitas baterai ($0.5C$) [5]. Dalam *prototype* ini proses pengecasan yang digunakan dibagi menjadi dua, yang pertama dengan siklus baik menggunakan modul TP4506 dan Ni-MH/Ni-Cd *charger* dengan arus pengecasan $<50\%$ kapasitas baterai, dan yang kedua dengan siklus buruk menggunakan *Constant Current Voltage* (CCV) menggunakan *power supply* 12 volt dan modul DC-DC *buck converter* DC-DC *step-down* LM2596 dengan arus pengecasan $>50\%$ kapasitas baterai. Metode pengecasan kedua, untuk melihat pengaruh dari parameter percobaan, menggunakan *power supply* 12 volt dan modul DC-DC *buck converter step-down* LM2596, dengan tegangan keluaran 5V dan keluaran arus 2A dimana seharusnya pengecasan baterai tidak melebihi setengah dari kapasitasnya agar baterai tetap terjaga keawetannya

4.2 Metode Discharging Baterai

Dalam *prototype* ini proses pengosongan baterai dibagi menjadi dua, yang pertama mengosongkan baterai hingga kapasitas baterai habis (siklus buruk) dan yang kedua membatasi pengosongan baterai diatas tegangan kerja dimana pada baterai Li-Ion 3,7 volt dan baterai Ni-MH 1,1 volt (siklus baik). Pengosongan baterai dilakukan dengan menggunakan resistor $1\Omega/20W$, $2\Omega/10W$ dan $0,5\Omega/5W$.

4.3 Metode Perhitungan SOC, DOD dan SOH

Secara umum, SOC dari sebuah baterai dapat diartikan sebagai rasio perbandingan kapasitas saat ini ($Q(t)$) dengan kapasitas nominalnya (Q_n). Kapasitas nominal merepresentasikan nilai maksimum pengisian yang dapat disimpan oleh baterai. Berdasarkan pernyataan tersebut didapatkan rumus:

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q_n} \quad (1)$$

Penelitian ini menggunakan metode *Book Keeping Estimation* dimana digunakan metode perhitungan Coulomb. Metode ini mengukur arus pengosongan baterai dan mengintegrasikan pengosongan baterai pada waktu dengan tujuan memperkirakan SOC. Metode perhitungan Coulomb mengestimasi $SOC(t)$, yang diestimasi dari arus pengosongan $I(t)$ dan nilai SOC sebelumnya $SOC(t-1)$. Dengan mengestimasi kondisi SOC pada keadaan sebelumnya penuh (*fully charged*), maka didapatkan persamaan:

$$SOC(t) = \frac{Q_n - Q_{uji}}{Q_n} \times 100\% \quad (2)$$

dimana nilai Q_{uji} merupakan nilai kapasitas baterai yang hilang selama pengujian dalam waktu 600 detik. Kapasitas yang hilang dapat dicari berdasarkan banyaknya energi yang dilepaskan baterai, yaitu :

$$E = P \times t \quad (3)$$

$$Wh = \frac{E}{3600} \quad (4)$$

$$mAh = \frac{Wh}{V} \quad (5)$$

Dimana E merupakan energi yang dikeluarkan (dalam joule) yang dihitung dari besarnya daya dikali waktu. Selanjutnya *watt-hour*(Wh) merupakan daya yang dapat diberikan dalam waktu satu jam. Terakhir *milliampere-hour* (mAh) merupakan kapasitas baterai yang terkonsumsi dalam penelitian ini berupa Q_{uji} .

Perhitungan nilai DOD didapatkan dari pengurangan persentase kapasitas penuh baterai dengan nilai SOC.

$$DOD(t) = 100\% - SOC(t) \tag{6}$$

Perhitungan nilai SOH dilakukan dengan cara membandingkan nilai kapasitas total saat ini (mAh) dengan kapasitas awal baterai / *Beginning Of Life Capacity* (BOL Capacity).

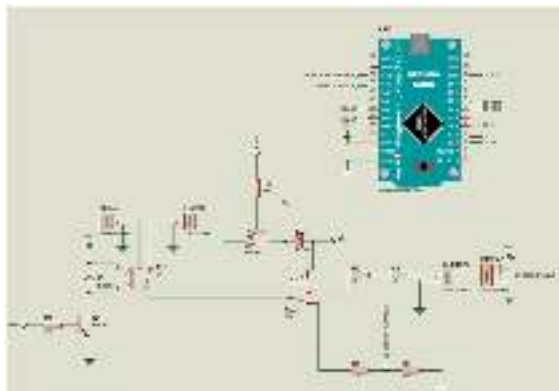
$$SOH = \frac{Kapasitas\ total}{Kapasitas\ BOL} \times 100\% \tag{7}$$

Pada penelitian ini, nilai SOH akan diestimasi berdasarkan pengurangan kapasitas secara berkala.

4.4 Rancangan Rangkaian Alat

Dalam *prototype* ini terdapat 2 bagian rancangan rangkaian yang dibuat dengan fungsi yang berbeda namun saling berkaitan yaitu rangkaian utama yang terdiri dari mikrokontroler, sensor pembacaan arus dan tegangan, relay yang mengendalikan proses *switching* serta rangkaian beban. Rancangan kedua berupa rangkaian antarmuka sistem sebagai penghubung antara sistem dengan operator yang terdiri dari LCD I2C, tombol *tactile* dan buzzer.

Rancangan utama berfungsi sebagai pusat pengendali sistem, dimana seluruh input dan output serta penyimpanan data akan dikendalikan di rangkaian ini.

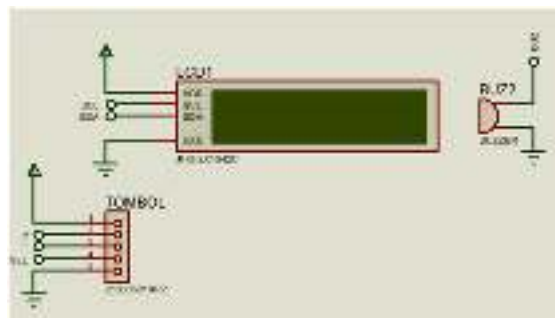


Gambar 3. Rancangan Rangkaian Utama

Rancangan rangkaian pada Gambar 3 menunjukkan penggunaan Arduino Nano sebagai pusat kendali sistem yang menerima data pembacaan sensor tegangan berupa sinyal analog melalui pin GPIO (A0). Sensor arus ACS712 berupa sinyal analog dengan nilai yang berubah sesuai besar arus yang mengalir pada sensor ACS712. Sistem ini menggunakan sebuah sensor arus yang digunakan untuk membaca nilai arus yang mengalir dari baterai ke beban, dimana sensor

ACS712 mengirim data pembacaan melalui pin GPIO (A1). Dua relay digunakan untuk *switching*, relay pertama digunakan sebagai *switch* antara baterai Li-Ion dan Ni-MH, relay kedua digunakan untuk *switching* sensor tegangan dan rangkaian pengosongan baterai.

Rancangan antarmuka sistem berfungsi sebagai penghubung antara sistem dengan operator. Gambar 4 memperlihatkan rangkaian antarmuka sistem.



Gambar 4. Rancangan Antarmuka Sistem

Pada Rangkaian Tombol terdapat lima pin, yaitu pin VCC sebagai sumber tegangan 5V, pin GND sebagai *ground*, pin 4 sebagai tombol SEL, pin 3 sebagai tombol 1 dan pin 2 sebagai tombol 2. Pada LCD I2C terdapat 4 pin I2C berupa pin VDD sebagai sumber tegangan 5V, pin GND sebagai *ground*, pin SCL sebagai jalur *serial clock* dan pin SDA sebagai jalur *serial data*. Rangkaian buzzer terdiri dari buzzer dan dua pin, dimana pin 1 dihubungkan dengan GPIO (D10) Arduino sebagai sumber tegangan 5V dan pin 2 dihubungkan ke GND sebagai *ground*.



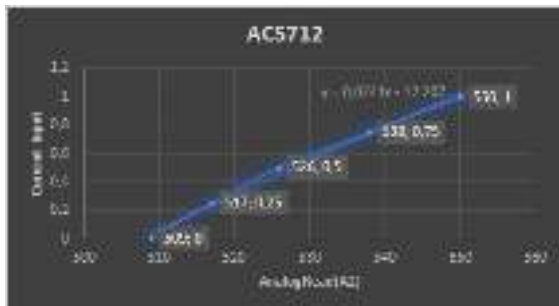
Gambar 5. Full System Prototype

4.5 Kalibrasi Pengukuran Sistem

Kalibrasi sensor arus ACS712 dilakukan agar hasil pengukuran sesuai dengan nilai yang sebenarnya. Terdapat dua proses kalibrasi pada sistem prototype yaitu kalibrasi pembacaan sensor dan kalibrasi nilai arus pengisian baterai saat kondisi kapasitas baterai

penuh saat terhubung seri atau juga pada saat terhubung paralel.

Proses kalibrasi dilakukan dengan menghubungkan output sensor ACS712 dengan pin analog Arduino Nano (A2), kemudian dengan menampilkan pembacaan *AnalogRead* (A2) didapatkan data hasil pembacaan berupa data biner dengan resolusi 10 bit seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Arus Input Dengan AnalogRead(A2)

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan antara arus input dengan pembacaan nilai analog, dimana terbentuk sebuah trend line dari beberapa titik pengambilan data sehingga didapat persamaan matematis seperti berikut:

$$y = 0.0241x - 12.207 \quad (8)$$

Persamaan (8) digunakan untuk proses kalibrasi sensor arus satu, dimana proses kalibrasi dilakukan dengan memasukkan persamaan tersebut kedalam program pembacaan arus pada Arduino NANO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.

```

int a = 0;
float output = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int analogRead = analogRead(A2);
  float output = (0.0241 * analogRead) - 12.207;
  Serial.println(output);
}
    
```

Gambar 7. Potongan Program Pembacaan Arus Pengosongan ACS712 (A2).

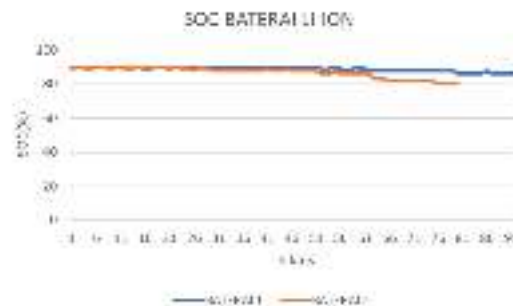
Proses kalibrasi sensor tegangan DC dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran tegangan baterai menggunakan multimeter dan menggunakan purwarupa alat. Sensor tegangan DC memanfaatkan pin analog pada Arduino untuk membaca nilai 10bit. Pada alat ini sensor dipasang pada pin A1. Tingkat akurasi yang dihasilkan oleh sensor sebesar 99,97%. Hasil kalibrasi sensor tegangan DC dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kalibrasi sensor tegangan DC

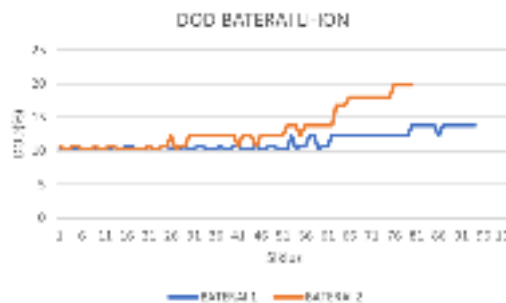
4.6 Data Hasil Penelitian

1. Data Baterai Li-Ion



Gambar 9. Grafik SOC Baterai Li-Ion.

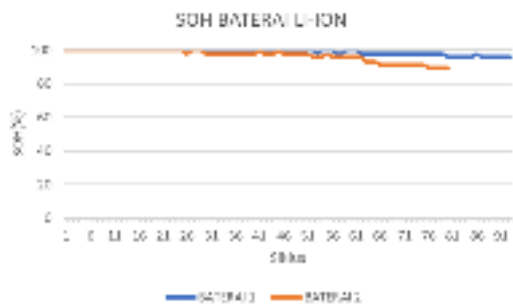
Gambar 9 menunjukkan perbandingan SOC baterai 1 yang diuji dengan kondisi baik (arus pengisian 1A dan pengosongan baterai di atas tegangan kerja) dan baterai 2 yang diuji dengan kondisi buruk (arus pengisian 2A dan pengosongan baterai maksimum). Pada pengujian baterai 1 dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 94 kali, dimana nilai SOC dimulai dari 89,61% dan berakhir di nilai 86,12%. Sedangkan baterai kedua pengujian dilakukan sebanyak 83 kali, dengan nilai SOC dimulai dari 89,61% dan berakhir di nilai 80,15%.



Gambar 10. Grafik DOD baterai Li-Ion

Gambar 10 memperlihatkan perbandingan DOD baterai 1 yang diuji dengan kondisi baik dan baterai 2

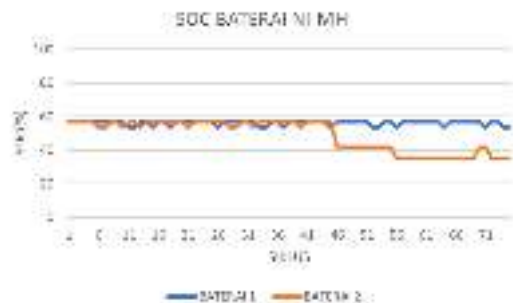
yang diuji dengan kondisi buruk. Pada pengujian baterai 1 dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 94 kali, dimana nilai DOD dimulai dari 10,39% dan berakhir di nilai 13,83%. Sedangkan pengujian baterai kedua dilakukan sebanyak 83 kali, dengan nilai DOD dimulai dari 10,39% dan berakhir di nilai 19,85%.



Gambar 11. Grafik SOH baterai Li-Ion

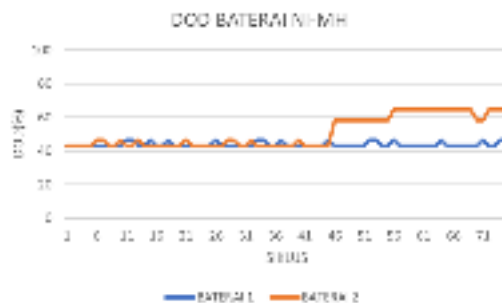
Gambar 11 menunjukkan perbandingan SOH baterai 1 yang diuji dengan kondisi baik dan baterai 2 yang diuji dengan kondisi buruk. Pada pengujian baterai 1 dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 94 kali dimana nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 96,16%, sedangkan terhadap baterai kedua pengujian dilakukan sebanyak 83 kali dengan nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 89,44%.

2. Data Baterai Ni-MH



Gambar 12. Grafik SOC Baterai Ni-MH

Gambar 12. menunjukkan perbandingan SOC baterai 1 yang diuji dengan kondisi baik dan baterai 2 yang diuji dengan kondisi buruk. Pada pengujian baterai 1 dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dimana nilai SOC dimulai dari 57,02% dan berakhir di nilai 53,32%. Sedangkan baterai kedua pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dengan nilai SOC dimulai dari 57,32% dan berakhir di nilai 35,56%.



Gambar 13. Grafik DOD Baterai Ni-MH

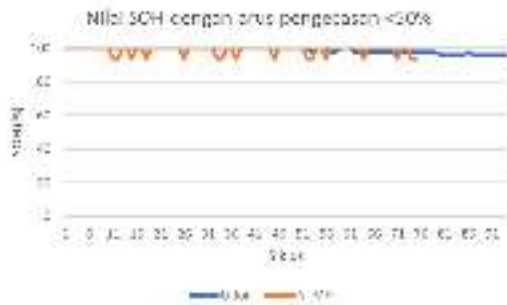
Gambar 13. menunjukkan perbandingan DOD baterai 1 yang diuji dengan kondisi baik dan baterai 2 yang diuji dengan kondisi buruk. Pada pengujian baterai 1 dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dimana nilai DOD dimulai dari 42,98% dan berakhir di nilai 46,68%. Sedangkan baterai kedua pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dengan nilai DOD dimulai dari 42,98% dan berakhir di nilai 64,44%.



Gambar 14. Grafik SOH Baterai Ni-MH

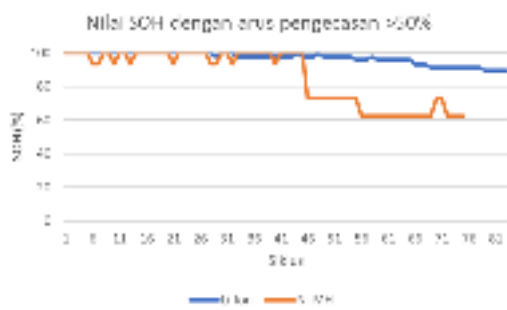
Gambar 14 menunjukkan perbandingan SOH baterai 1 yang diuji dengan kondisi baik dan baterai 2 yang diuji dengan kondisi buruk. Pada pengujian baterai 1 dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dimana nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 93,50%. Sedangkan baterai kedua pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dengan nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 62,36%.

3. Data Perbandingan Nilai SOH baterai Li-Ion dan Ni-MH



Gambar 15. Nilai SOH dengan arus pengisian <50%

Gambar 15. menunjukkan perbandingan SOH baterai Li-Ion dan Ni-MH yang diuji dengan kondisi baik. Pada pengujian baterai Li-Ion dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 94 kali, dimana nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 96,16%. Sedangkan baterai Ni-MH pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dengan nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 93,50%. Berdasarkan grafik pengujian tersebut, disimpulkan nilai SOH dari baterai Li-Ion dapat bertahan sedikit lebih baik dibandingkan dengan baterai Ni-MH jika penggunaan baterai dilakukan dengan siklus yang baik.



Gambar 16. Nilai SOH dengan arus pengisian >50%

Gambar 16. menunjukkan perbandingan SOH baterai Li-Ion dan Ni-MH yang diuji dengan kondisi buruk. Pada pengujian baterai Li-Ion dapat dilihat pengujian dilakukan sebanyak 94 kali, dimana nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 89,44%. Sedangkan baterai Ni-MH pengujian dilakukan sebanyak 75 kali, dengan nilai SOH dimulai dari 100% dan berakhir di nilai 62,36%. Berdasarkan grafik pengujian tersebut, disimpulkan nilai SOH dari baterai Li-Ion dapat bertahan jauh lebih baik dibandingkan dengan baterai Ni-MH jika penggunaan baterai dilakukan dengan siklus yang buruk.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Telah terealisasi sebuah alat pengukuran *State Of Charge*, *Depth Of Discharge* Dan *State Of Health* pada baterai *Lithium-Ion* (li-ion) dan baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH) menggunakan mikrokontroler Arduino Nano.
2. Berdasarkan data hasil penelitian diperoleh bahwa:
 - a. Pada baterai li-ion nilai SOC dan DOD pada baterai 1 yang diuji dengan siklus pengisian dan pengosongan baik (tidak melebihi batas 50%) sebanyak 94 kali lebih baik daripada baterai 2 yang diuji dengan siklus pengisian dan pengosongan yang buruk (melebihi batas 50%), dimana nilai akhir SOC dari baterai 1 berada di nilai 86,12% sedangkan baterai 2 di nilai 80,15%.
 - b. Pada data hasil penelitian baterai Ni-MH diperoleh bahwa nilai SOC dan DOD pada baterai 1 yang diuji dengan siklus pengisian dan pengosongan baik (tidak melebihi batas 50%) sebanyak 75 kali lebih baik daripada baterai 2 yang diuji dengan siklus pengisian dan pengosongan yang buruk (melebihi batas 50%), dimana nilai akhir SOC dari baterai 1 berada pada nilai 53,32% sedangkan baterai 2 di nilai 35,56%.
3. Berdasarkan data hasil penelitian, penggunaan baterai Li-Ion lebih baik daripada baterai Ni-MH karena pada waktu yang sama jumlah kapasitas baterai Li-Ion berkurang lebih sedikit dibandingkan baterai Ni-MH, dimana dalam 10 menit kapasitas baterai Li-Ion berkurang 10,39% dan baterai Ni-MH berkurang sebesar 42,98%. Serta kesehatan baterai Li-Ion lebih baik pada akhir pengujian, dimana baterai Li-Ion berada di nilai 89,44% sedangkan baterai Ni-MH di nilai 62,36%.

Daftar Pustaka:

- [1] Agustian, L. "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kondisi Aki Pada Kendaraan Bermotor". Jurnal Universitas Tanjungpura. 2013
- [2] Farizy, A. F., Asfani, D. A., & Soedibjo. "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature," JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2, 2016.
- [3] Thowil Afif, M., & Ayu Putri Pratiwi, I. "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada

Penggunaan Mobil Listrik - Review," Jurnal Rekayasa Mesin, Vol.6, No. 2, Hal. 95-99, 2015.

[4] Kristinawati, Y., Rizqika, S., Akbar, R.M. "Implementasi Modul Monitoring Kapasitas Baterai Pada Perangkat Embedded". Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. Vol. 2 No. 10 Hal. 3210-3219, 2018.

[5] Zhang SS. "The effect of the charging protocol on the cycle life of a Li-ion battery". J Power Sources Vol. 161 No. 2 Hal. 1385-91. 2006.

[6] M. H. Olsen and Ø. Dtu, "PCB design tutorial with Eagle," Control, pp. 1– 15, 2004.

[7] K. S. Kaswan, S. P. Singh, and S. Sagar, "Role of Arduino in real world applications," Int. J. Sci. Technol. Res., vol. 9, no. 1, pp. 1113–1116, 2020

[8] NanJing Top Power ASIC Corp Datasheet. "TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8."