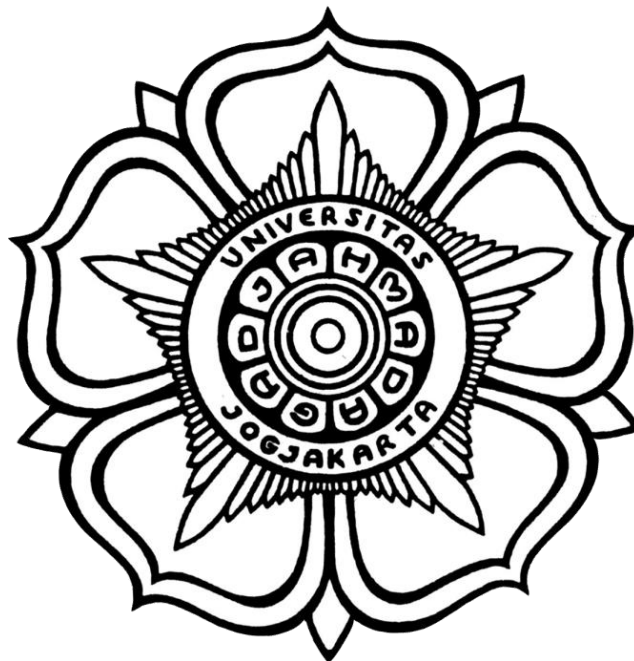


MAKALAH SKRIPSI

**ALAT ESTIMASI *STATE OF CHARGE* (SOC) DAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI *LEAD ACID* UNTUK
MOBIL GOLF**

(PEMROGRAMAN SISTEM ALAT ESTIMASI SOC DAN SOH)



Disusun oleh:

LINTANG KUSUMANDARU
15/384945/TK/43607

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

2019

HALAMAN PENGESAHAN

MAKALAH SKRIPSI

ALAT ESTIMASI *STATE OF CHARGE* (SOC) DAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI *LEAD ACID* UNTUK MOBIL GOLF

(PEMROGRAMAN SISTEM ALAT ESTIMASI SOC DAN SOH)

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Program S-1
Pada Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Disusun oleh :

LINTANG KUSUMANDARU
15/384945/TK/43607

Telah disetujui dan disahkan
pada tanggal 7 Oktober 2019

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197903032002121004

Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., Dr.Eng.
NIP. 197911022008121001

ALAT ESTIMASI STATE OF CHARGE (SOC) DAN STATE OF HEALTH (SOH) BATERAI LEAD ACID MOBIL GOLF

Lintang Kusumandaru¹, Agung Tri Jatmiko², Muhammad Gafur Sidiq, Eka Firmansyah⁴, Adha Imam Cahyadi⁵

^{1,3}Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Yogyakarta

Mobil golf adalah salah satu jenis mobil listrik yang telah banyak digunakan di Indonesia yang sering kali ditemui di bandara dan lapangan golf. Di Indonesia, dalam pengoperasiannya sebagian besar mobil golf menggunakan baterai *lead-acid* karena baterai *lead acid* relatif lebih murah dan mudah untuk diganti dibandingkan tipe baterai yang lain. Namun penggunaan baterai *lead acid* memiliki beberapa kelemahan, yaitu sulit untuk memantau kondisi SoH dan SoC baterai secara akurat dan *real time*. Oleh karena itu pada kesempatan ini akan dirancang sebuah BMS dan alat estimator monitoring SoH dan SoC dengan menggunakan IC BQ34Z100-G1 yang sudah memiliki algoritma *impedance track fuel gauging*. Pada *capstone design* ini dilakukan perancangan sebuah alat estimator yang dapat diterapkan pada baterai *lead-acid* bertegangan 48 V dengan kapasitas baterai 100 Ah yang akan digunakan untuk menyalurkan daya kepada motor DC dengan rating daya antara 5 hingga 7 kW. Dalam penerapannya, IC pengukuran tersebut akan berperan sebagai pusat pengukuran berbagai parameter dan perhitungan estimasi SoC serta SoH. Selanjutnya, dengan menggunakan komunikasi I²C penulis mengintegrasikan IC BQ34Z100-G1 dengan mikrokontroler Arduino Pro Mini untuk menampilkan data indikator baterai pada piranti antar muka. Penulis akan menggunakan layar LCD TFT keluaran Nextion sebagai penampil indikator sekaligus antar muka sistem. Kata kunci : Baterai *Lead Acid* (akumulator), SoH dan SoC, *impedance track fuel gauging*, Komunikasi I²C, IC BQ34Z100-G1, mikrokontroler Arduino Pro Mini, LCD TFT Nextion

I. PENDAHULUAN

Mobil golf adalah mobil listrik yang sudah banyak digunakan oleh masyarakat dunia bahkan sebelum era mobil listrik dimulai. Mobil golf biasa digunakan di bandara dan lapangan golf untuk mengangkut penumpang atau barang dari satu tempat ke tempat yang lain. Sebagian besar mobil golf masih menggunakan baterai *lead acid* sebagai sumber energi utama untuk menggerakkan motor listrik. Alasan dari penggunaan baterai *lead acid* adalah karena baterai *lead acid* memiliki *energy-cost ratio* yang paling rendah.

Dalam mengoperasikan mobil golf, informasi yang sangat dibutuhkan oleh pengguna adalah indikator kapasitas dan kesehatan baterai, atau yang biasa disebut dengan *state of charge* (SoC) dan *state of health* (SoH). Kedua indikator tersebut dibutuhkan oleh pengguna agar baterai dapat dioperasikan pada *safe operating area*, yang salah satunya agar baterai tidak mengalami *overdischarged*. SoH diperlukan oleh pengguna sehingga pengguna dapat mengetahui secara pasti bahwa baterai yang digunakan telah mengalami penurunan kapasitas sehingga pengguna tahu secara pasti kapan harus melakukan penggantian baterai.

Saat ini, metode pengukuran kapasitas baterai pada mobil golf sebagian besar masih menggunakan metode berbasis tegangan, padahal berdasarkan artikel [1] metode pengukuran SoC berbasis tegangan memiliki galat yang paling besar, terutama ketika baterai sedang dalam kondisi berbeban.

Dalam mengoperasikan mobil golf, informasi yang sangat dibutuhkan oleh pengguna adalah indikator kapasitas dan kesehatan baterai, atau yang biasa disebut dengan *state of charge* (SoC) dan *state of health* (SoH). Kedua indikator tersebut dibutuhkan oleh pengguna agar baterai dapat dioperasikan pada *safe operating area*, yang salah satunya agar baterai tidak mengalami *overdischarged*. SoH diperlukan oleh pengguna sehingga pengguna dapat mengetahui secara pasti bahwa baterai yang digunakan telah mengalami penurunan kapasitas sehingga pengguna tahu secara pasti kapan harus melakukan penggantian baterai. Saat ini, metode pengukuran kapasitas baterai pada mobil golf sebagian besar masih menggunakan metode berbasis tegangan, padahal berdasarkan artikel [1] metode pengukuran SoC berbasis tegangan memiliki galat yang paling besar, terutama ketika baterai sedang dalam kondisi berbeban. Hal ini juga dikonfirmasi pada penelitian [2] yang menyimpulkan bahwa galat maksimal metode pengukuran SoC berbasis tegangan mencapai 5%. Artinya, misalkan saja ketika sistem mendeteksi kapasitas baterai 20%, pada kenyataannya bisa saja 15% atau 25%. Terlebih lagi, pengukuran SoC berbasis tegangan hanya valid ketika baterai telah rehat beberapa saat dan tidak sedang dalam pengoperasian. Padahal pengguna mobil golf sangat membutuhkan indikator SoC yang akurat walaupun baterai sedang dalam keadaan berbeban.

Oleh karena itu diperlukan sebuah perangkat yang dapat melakukan perhitungan estimasi SoC dan SoH untuk baterai *lead acid* dengan akurasi yang baik, sehingga penggunaan metode berbasis tegangan harus dihindari. Salah satu metode pengukuran SoC yang dapat menjadi alternatif adalah berbasis *coloumb counting* atau yang merupakan versi modifikasi dari metode tersebut.

II. METODE PENGUKURAN ESTIMASI SOC DAN SOH

Impedance tracking yang dipatenkan oleh Texas Instruments memberikan alternatif solusi yang dirasa penulis lebih baik. Dengan menggunakan metode *coloumb counting* yang dipadukan dengan perhitungan resistansi internal baterai selama baterai berada dalam operasi pengosongan, pengukuran estimasi nilai SoC dapat dilakukan dengan akurasi yang jauh lebih baik dibandingkan metode estimasi berbasis tegangan.

Prinsip kerja perhitungan SoC pada algoritme *impedance tracking* adalah sistem akan mengintegrasikan besarnya muatan yang melalui baterai terhadap waktu dengan menggunakan *coloumb counter*.

Hasil integral tersebut disimpan di dalam sebuah register bernama Q_{max} , yang selanjutnya sistem juga akan menghitung *depth of discharge* (DoD) yang terjadi pada baterai. Berdasarkan *application report*[3], yang membedakan metode *coloumb counting* versi *impedance tracking* dengan versi yang sudah umum adalah nilai DoD dan OCV yang terbaca oleh sistem akan dikorelasikan dengan tabel fungsi $DoD=f(OCV,t)$ yang telah direkam oleh Texas Instruments dan disimpan dalam berkas *chemical id*, sehingga akurasi pembacaan nilai DoD akan lebih tinggi.

III. DESAIN DAN IMPLEMENTASI

Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sebuah perangkat yang dapat melakukan perhitungan estimasi SoC dan SoH baterai *lead acid* dengan akurat. Perangkat tersebut akan memiliki spesifikasi teknik tegangan *pack* baterai maksimal 60V, arus kontinyu maksimal 200A, kapasitas baterai maksimal 100 Ah dan jenis baterai yang kompatibel adalah *lead acid*, Li-Ion dan LiPO. Selain itu, karena perangkat akan diimplementasikan pada mobil golf maka sebuah sistem antar muka harus disediakan.

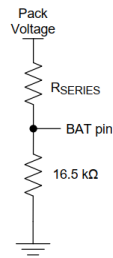
Perangkat elektronis sistem meliputi IC BQ34Z100-G1 sebagai pusat perekaman data dan perhitungan estimasi SoC dan SoH. Selain itu juga terdapat *R sense* untuk melakukan pembacaan arus, mikrokontroler Arduino Pro Mini sebagai pusat pengolahan data komunikasi dan LCD TFT NEXTION sebagai perangkat antar muka.

A. Perancangan Sistem Elektronis

Perancangan sistem elektronis BMS baterai *lead acid* dimulai dengan pembuatan PCB dengan menggunakan perangkat lunak KiCAD 5.0.2. Sistem elektronis ini dibuat dalam bentuk shield untuk pencatu daya mikrokontroler (modul DC-DC LM2596HV), *level converter* dan mikrokontroler arduino pro mini. Shield merupakan sistem yang bersifat modular sehingga dapat dipasang maupun dilepas dengan mudah. Kelebihan bentuk shield adalah kemudahan dalam melakukan penggantian modul apabila terjadi kerusakan karena tidak perlu mengganti seluruh sistem. Namun, dimensi yang menjadi besar dan tidak *compact* adalah kekurangan utama dari sistem shield. Hal tersebut merupakan alasan utama mengapa penulis masih memberlakukan sistem shield pada ketiga modul di atas.

1. Rangkaian Pembagi Tegangan

IC bq34z100-G1 membutuhkan suplai tegangan secara langsung dari baterai. Selain sebagai suplai, tegangan *pack* diperlukan oleh bq34z100-G1 untuk melakukan pembacaan tegangan dan melakukan pengukuran estimasi SoC atau *gas gauging*. Suplai tegangan yang digunakan untuk menghidupkan IC akan dihubungkan pada pin REGIN, sedangkan untuk fungsi interpretasi kapasitas akan dihubungkan dengan pin BAT. Untuk fungsi interpretasi dibutuhkan sebuah rangkaian pembagi tegangan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 : Rangkaian Pembagi Tegangan untuk Pin BAT

Besarnya resistor pembagi tegangan harus disesuaikan dengan tegangan maksimal *pack* baterai yang digunakan. Sesuai dengan spesifikasi teknis yang dirancang, BMS baterai *lead acid* harus dapat digunakan untuk baterai *lead acid* dengan tegangan *pack* maksimal 60V. Dengan demikian, besarnya resistor pembagi tegangan (R_{series}) adalah sebagai berikut.

$$R_{series} = 16500\Omega \cdot \frac{(60000mV - 900mV)}{900mV} \approx 1M\Omega$$

Besarnya tegangan maksimal yang diterima oleh pin BAT adalah sebagai berikut.

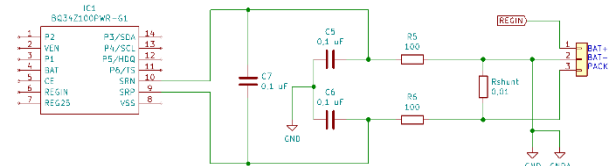
$$V_{BAT} = 60000mV \cdot \frac{16500\Omega}{16500\Omega + 1000000\Omega} \approx 973,93mV$$

Dengan mengikuti panduan rating tegangan yang disarankan untuk setiap pin sebagaimana tertulis pada Tabel 2.4 dalam *application report* [4], nilai tegangan tersebut masih berada pada batas aman.

Nilai tegangan *pack* baterai akan diinterpretasikan melalui besarnya tegangan yang terbaca oleh pin BAT. Untuk tegangan *pack* baterai yang bervariasi karena perbedaan susunan seri yang digunakan dapat digunakan beberapa nilai R_{series} yang dibagi dengan menggunakan *jumper*.

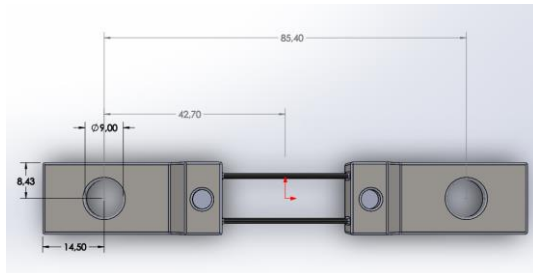
2. Rangkaian Sensor Arus

BQ34Z100-G1 telah dibekali dengan pin sensor arus, yaitu SRN dan SRP. Antara kedua pin tersebut harus dihubungkan dengan sebuah R_{sense} atau R_{shunt} , dan sebuah rangkaian *low pass filter*. Gambar 2 berikut menunjukkan skematik rangkaian sensor arus.



Gambar 2 : Skematik Rangkaian Sensor Arus

Besarnya R_{sense} yang digunakan harus disesuaikan dengan Kuat Hantar Arus resistor tersebut. Besarnya rating daya yang ditetapkan oleh penulis (60V 200A) menjadi acuan dalam pemilihan resistor R_{sense} , sehingga dipilih sebuah R_{sense} dengan KHA sebesar 200A. Gambar 3 menunjukkan bentuk fisik serta dimensi R_{sense} yang digunakan oleh penulis.

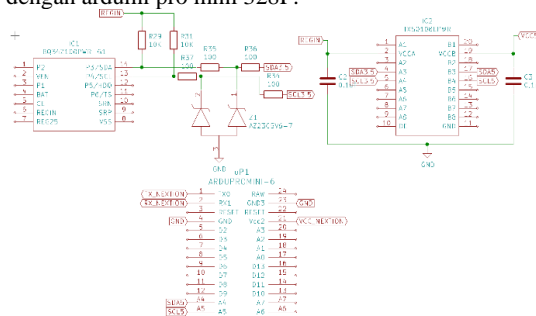


Gambar 3 : Resistor Sensor Arus yang Digunakan pada BMS Baterai Lead Acid dengan Rating Arus 200A.

Kekurangan dari penggunaan R_{SENSE} , khususnya pada operasi arus tinggi, adalah dimensi R_{SENSE} yang jauh lebih besar dibandingkan dengan sensor arus yang lain semisal ACS. Namun kelebihan dari R shunt adalah metode ini memiliki akurasi yang paling tinggi dibandingkan metode pengukuran arus lainnya. Karena dimensi BMS baterai *lead acid* bukanlah menjadi prioritas, maka penulis memutuskan untuk menggunakan metode pengukuran berbasis R shunt.

3. Sistem Komunikasi BQ34Z100-G1, Mikrokontroler Arduino Pro Mini 328P dan LCD TFT NEXTION

Protokol komunikasi yang digunakan oleh BQ34Z100-G1 adalah I2C, karena itu IC ini dilengkapi dengan pin SDA dan SCL untuk dapat berkomunikasi dengan perangkat atau sistem lain. Tegangan nominal dari sinyal SDA dan SCL yang digunakan oleh BQ34Z100-G1 adalah 3,3V. Sistem antar muka yang digunakan oleh penulis menggunakan Arduino Pro Mini 328P yang mendukung protokol I2C, namun dengan level yang lebih tinggi yaitu 5V sehingga untuk menghubungkan antara bq34z100-G1 dengan arduino pro mini 328P dibutuhkan sebuah *level converter*. Gambar 4 berikut merupakan skematik rangkaian komunikasi antara bq34z100-G1 dengan arduino pro mini 328P.



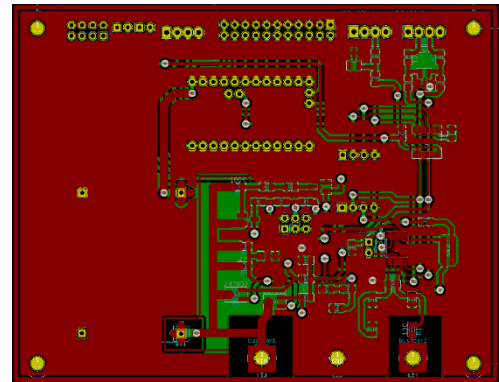
Gambar 4 : Skematik Rangkaian Komunikasi BQ34Z100-G1 dengan Arduini Pro Mini 328P

Rangkaian jalur komunikasi antara bq34Z100-G1 dengan arduino pro mini 328P hanya meliputi resistor *pull-up*, dioda zener 3,5V, dan sebuah *level shifter* 3,3 to 5.

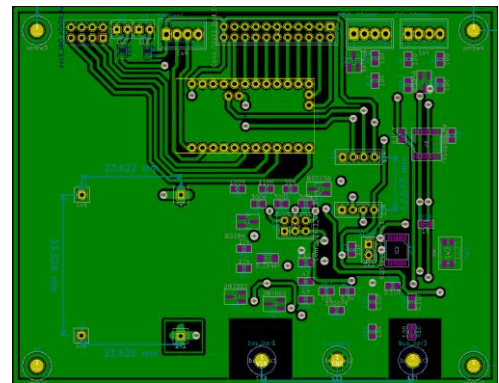
Untuk menampilkan informasi indikator baterai, arduino pro mini 328P berkomunikasi dengan LCD TFT NEXTION dengan menggunakan protokol *Universal Asynchronous Transmitter-Receiver* (UART).

4. Desain Printed Circuit Board (PCB)

Gambar 5 dan 6 berikut merupakan desain PCB BMS baterai *lead acid* prototipe ke 2 setelah menyesuaikan dengan rating daya 60V 100A.



Gambar 5 : Desain Bagian Depan PCB BMS Baterai Lead Acid



Gambar 6 : Desain Bagian Belakang PCB BMS Baterai Lead Acid

B. Antar Muka Berbasis LCD TFT NEXTION

Dalam merancang sistem antar muka penulis memilih untuk menggunakan layar LCD sebagai antar muka dengan alasan agar pengguna lebih mudah dalam memahami informasi yang diberikan oleh BMS baterai *lead acid*. Informasi indikator baterai yang ditampilkan oleh LCD meliputi SoC, SoH, suhu baterai, arus, tegangan, estimasi waktu kosong (jarak tempuh) dan estimasi waktu pengisian. Selain itu, karena BMS baterai *lead acid* ini diperuntukkan bagi mobil golf maka penulis menyediakan port digital I/O yang dapat dihubungkan dengan sensor kecepatan, baik berupa encoder, hall effect sensor, maupun akselerator. Selain itu BMS baterai *lead acid* juga dapat dihubungkan dengan indikator lampu sein dan indikator maju atau mundur. Gambar 7 berikut adalah desain *dashboard* antar muka yang dirancang oleh penulis.



Gambar 7 : Tampilan Home Dashboard Antar Muka BMS Baterai Lead Acid

Beberapa informasi lain yang ditampilkan adalah SoH, SoC, *cycle count* atau siklus penggunaan, kapasitas tersisa dan kapasitas penuh, sebagai mana yang ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 : Informasi Lanjutan Mengenai Indikator Baterai

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

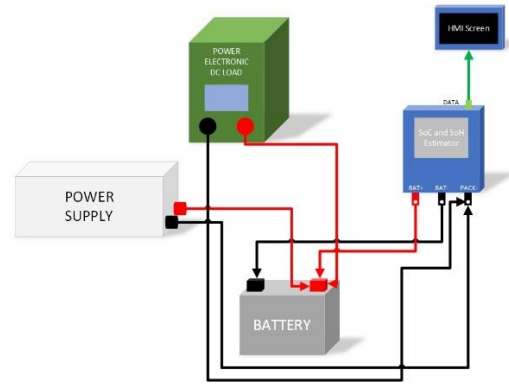
- A. *Learning Cycle* pada Baterai Panasonic LC-V127R2NA1
Learning cycle dilakukan dengan mengikuti langkah – langkah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9: Langkah - Langkah Pengujian *Learning Cycle*.

Learning cycle sebaiknya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak bqStudio. Mula – mula, proses kalibrasi tegangan dan arus harus dilakukan. Register Data Flash Memory *Voltage Divider* harus diisi sesuai dengan besarnya tegangan pack baterai. Pada register ini, setiap 5000 mV tegangan baterai akan dibaca 1000 mV oleh ADC. Untuk penggunaan baterai bertegangan 12-14 V, penulis menggunakan nilai *voltage divider* sebesar 19218 mV. Selanjutnya, register VOLSEL pada *Data Flash Data Memory – Pack Configuration* harus dihidupkan untuk mengubah mode operasi dari single cell ke multi cell. Selain menghidupkan register command VOLSEL, register *Number of Series Cell* juga harus diisi. Untuk baterai *lead acid* jumlah sel seri di dalam setiap pack adalah 6.

Setelah semua parameter di atas diisi, proses kalibrasi dapat dilakukan. Dalam melakukan kalibrasi penulis berpegangan pada hasil pembacaan tegangan dan arus oleh *Power Electronic Load* dan *Power Supply Unit*. Setelah melakukan proses kalibrasi langkah selanjutnya adalah mengisi parameter – parameter *Data Flash Data Memory* yang disesuaikan dengan spesifikasi teknis baterai yang digunakan. Setelah pengisian parameter – parameter tersebut, sebuah *chemical id* harus dipilih. Dalam hal ini penulis memilih Panasonic R121R3P sebagai *chemical id* acuan untuk melakukan korelasi OCV dengan Panasonic LC-V127R2NA1 yang digunakan oleh penulis. Selanjutnya, *learning cycle* dapat dilakukan. Selama pengujian, rangkaian yang digunakan adalah sebagaimana tertampil pada Gambar 10 berikut.

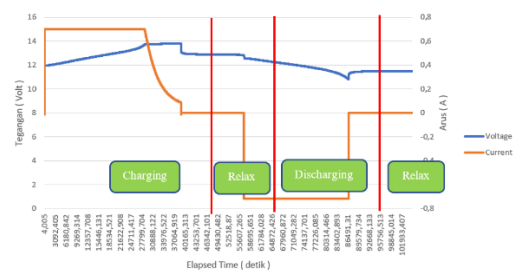


Gambar 10: Rangkaian Pengujian *Learning Cycle*.

Sebelum memulai *learning cycle*, baterai harus dikosongkan terlebih dahulu hingga menyentuh tegangan minimal yang diijinkan dengan arus laju pengisian sebesar C/20. Setelah itu rehatkan baterai selama 5 jam hingga $\Delta OCV < 4 \mu V/s$. Apabila telah mencapai 5 jam, proses *learning cycle* dapat segera dimulai.

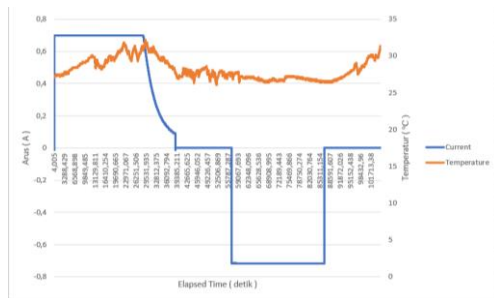
Mula – mula, pengisian dilakukan dengan menggunakan tegangan pengisian sebesar 13,8V dan arus laju pengisian sebesar 720 mA (C/10). Pengisian akan berlangsung kurang lebih selama 10 jam hingga baterai menyentuh tegangan maksimal.

Setelah baterai mencapai tegangan maksimal dan SoC dinyatakan telah 100%, hentikan proses pengisian dan rehatkan baterai selama 2 jam. Pada tahapan ini tegangan baterai akan turun secara bertahap mendekati titik kesetimbangan (12,5-12,8V). Ketika tegangan baterai telah mencapai titik setimbang, lakukan proses pengosongan dengan menggunakan arus laju pengosongan sebesar 720 mA (C/10) hingga baterai menyentuh tegangan batas bawah, yaitu 10,8V. Setelah tegangan minimal tercapai, rehatkan baterai. Gambar 11 berikut menunjukkan hasil *learning cycle* pada baterai Panasonic LC-V127R2NA1.



Gambar 11: Grafik Proses *Learning Cycle* Baterai Panasonic LC-V127R2NA1

Pada akhir siklus, register *learned status* akan berubah menjadi bernilai 6 yang mengindikasikan *gauge* telah merekam nilai Q_{max} dan resistansi internal baterai, sehingga proses *learning cycle* dapat dinyatakan telah berhasil. Besarnya *Max. Error* diklaim oleh Texas Instruments hanya sebesar 1% saja. Padahal apabila melihat grafik pembacaan temperatur yang tidak proporsional terhadap besarnya arus ketika baterai beroperasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12 berikut, hal tersebut patut dipertanyakan.



Gambar 12: Temperatur (Oranye) Fluktuatif dan Mengalami Anomali pada Rehat Pasca Pengosongan

Anomali terjadi ketika baterai sedang dalam keadaan rehat, dimana temperatur baterai justru naik menjadi lebih tinggi daripada ketika proses pengosongan. Ketika baterai beroperasi, suhu baterai akan cenderung naik dikarenakan adanya tahanan internal pada baterai yang apabila dilalui oleh arus listrik akan terjadi disipasi panas yang mengikuti persamaan $P=I^2R$. Ketika baterai rehat seharusnya tidak terjadi disipasi panas. Anomali ini kemungkinan besar terjadi dikarenakan kondisi lingkungan pengujian yang tidak terisolasi oleh temperatur lingkungan seperti panas dari cahaya matahari dan udara dingin dari *air conditioner* sehingga pembacaan suhu menjadi tidak akurat. Anomali ini sangat berpotensi mempengaruhi akurasi estimasi SoC dan SoH yang dilakukan oleh *gauge*.

Setelah *learning cycle* berhasil, proses selanjutnya adalah pencetakan berkas *golden image* yang digunakan untuk memprogram alat estimator SoC dan SoH lain untuk baterai yang sama. *Golden image* dapat digunakan dalam produksi massal sehingga produsen tidak perlu melakukan *learning cycle* pada tiap alat estimator SoC dan SoH yang sedang diproduksi. *Golden Image* meliputi 3 berkas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13 berikut.

0100_0_16-bq34z100G1.bq.fs	✓
0100_0_16-bq34z100G1.df.fs	✓
0100_0_16-bq34z100G1.srec	✓

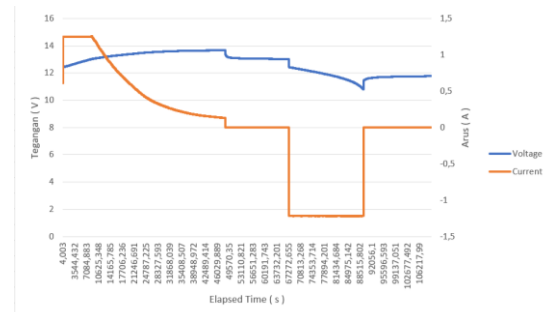
Gambar 13: Tigas Berkas Golden Image.

Berkas yang dapat digunakan untuk memprogram *gauge* dalam jumlah masal adalah berkas dengan ekstensi .srec.

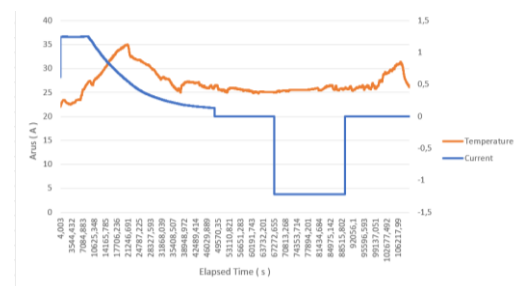
B. Learning Cycle pada Baterai INCOE SA100-12

Pengujian serupa dilakukan pada baterai INCOE SA100-12. Namun, karena baterai INCOE SA100-12 memiliki kapasitas sebesar 100Ah parameter *design energy scale* harus diisi agar *gauge* dapat melakukan perhitungan secara akurat. Untuk baterai INCOE SA100-12 ini penulis menggunakan *design energy scale* sebesar 8. Dengan digunakannya parameter *design energy scale*, segala parameter yang berkaitan dengan arus dan kapasitas harus dibagi dengan 8, termasuk arus yang digunakan ketika proses kalibrasi. Misalkan saja pada proses kalibrasi arus digunakan arus pengosongan sebesar -2000 mA, maka besarnya arus yang harus dimasukkan adalah -250 mA (2000/8 mA).

Chemical ID yang dipilih oleh penulis adalah baterai USBattery Xtreme Capacity (155Ah). Pada proses *learning cycle*, tegangan pengisian yang digunakan adalah 13,8V, sedangkan arus laju pengisian dan pengosongan adalah 10A (C/10). Gambar 14 dan 15 berikut menunjukkan hasil *learning cycle* baterai INCOE SA100-12.



Gambar 14: Profil Tegangan (Biru) dan Arus (Oranye) Baterai INCOE SA100-12



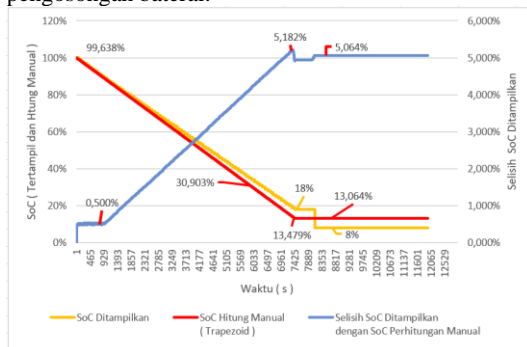
Gambar 15: Profil Temperatur (Oranye) Baterai INCOE SA100-12

Pada Gambar 14 di atas dapat dilihat bahwa durasi pengisian dan pengosongan tidak proporsional, padahal *current rate* yang digunakan sama. Hal ini menyebabkan besarnya energi yang tersimpan selama proses pengisian tidak sama dengan besarnya energi yang dilepas. Hal ini bisa terjadi karena *gauge* mendeteksi kapasitas maksimal baterai adalah 155Ah sesuai dengan *chemical id*, sedangkan kenyataannya kapasitas baterai hanya 100 Ah. Hal ini juga menyebabkan proses perekaman nilai resistansi internal baterai menjadi tidak berjalan dengan baik sehingga *learned status* tertahan di 5 saja, yang artinya *gauge* hanya merekam nilai Qmax, belum merekam nilai resistansi internal baterai. Untuk mengatasi hal ini penulis dapat mengganti *chemical id* dengan milik Acebel ECFV1260 (60Ah), atau membuat *chemical id* sendiri. Namun saat ini hal tersebut belum dapat dilakukan dikarenakan belum adanya peralatan yang mendukung.

C. Pengujian Akurasi Alat Estimasi SoC dan SoH

1. Baterai Panasonic LC-V127R2NA1

Untuk membuktikan bahwa $\max \text{ error} = 1\%$ sebagaimana tertulis pada register status bqStudio sebuah pengujian sederhana dilakukan. Penulis melakukan perhitungan SoC secara manual dengan cara mengintegrasikan besarnya arus pengosongan terhadap waktu, kemudian mempresentasikan nilai muatan yang telah keluar dari baterai tersebut terhadap besarnya *full cahrge capacity* baterai yang terukur yaitu 6821 mAh. Metode integrasi yang digunakan adalah metode integrasi numeris dengan aturan trapezoid. Gambar 16 berikut menunjukkan selisih yang terjadi antara SoC tertampil dengan SoC hasil perhitungan manual selama proses pengosongan baterai.



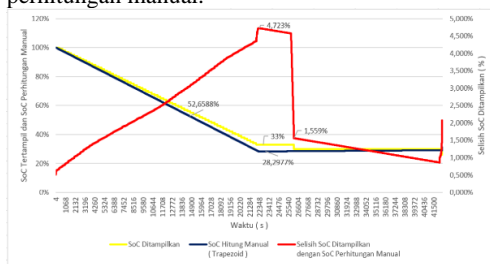
Gambar 16: Selisih maksimal antara SoC ditampilkan dengan SoC hasil perhitungan manual pada baterai Panasonic LC-V127R2NA1 adalah sebesar 5,18%.

Kurva selisih tampak mencapai nilai tertinggi ketika SoC tertampil bernilai 8%, sedangkan saat itu SoC hasil perhitungan adalah sebesar 13,064% sehingga selisih yang muncul adalah sebesar 5,18%. Hal ini terjadi dikarenakan antara profil tegangan arus dan temperatur baterai Panasonic LC-V127R2NA1 memiliki deviasi sebesar 42,20% terhadap profil tegangan arus dan temperatur baterai Panasonic R121R3P yang berperan sebagai acuan dalam tabel *chemistry ID*.

Untuk mengatasi hal ini harus dibuat sebuah *chemistry id* yang sesuai dengan baterai Panasonic LC-V127R2NA1, namun hal tersebut belum dapat dilakukan pada saat ini.

2. Baterai INCOE SA100-12

Pengujian serupa dilakukan dengan baterai INCOE SA100-12. Karena *learning cycle* pada baterai INCOE SA100-12 belum berhasil secara sempurna, selisih yang dihasilkan menjadi lebih besar dan cenderung tidak menentu. Gambar 17 berikut menunjukkan selisih yang terjadi antara SoC ditampilkan dengan SoC hasil perhitungan manual.



Gambar 17 : Selisih maksimal antara SoC ditampilkan dengan SoC hasil perhitungan manual pada baterai INCOE SA100-12 adalah sebesar 4,72%.

Sebagaimana terlihat pada gambar di atas, selisih yang terjadi cenderung fluktuatif, namun memiliki *trend* yang cenderung naik secara eksponensial terhadap penurunan nilai SoC. Selisih tertinggi yang terjadi adalah sebesar 4,72%, yang terjadi ketika SoC ditampilkan adalah sebesar 33%. Penyebab utama dari terjadinya galat ini adalah dikarenakan *chemistry id* yang belum sesuai dengan karakteristik baterai yang digunakan. Walaupun selisih yang dihasilkan lebih dari 3% SoC yang ditampilkan tetap dapat digunakan sebagai indikasi nilai SoC absolut baterai.

V. KESIMPULAN

1. Pada tugas akhir ini telah berhasil dirancang sebuah alat estimasi SoC dan SoH berbasis *impedance track gas gauging* lengkap dengan piranti antar muka yang diperlukan.
2. Alat estimasi SoC dan SoH dapat digunakan pada semua jenis baterai *lead acid*, namun harus dengan melalui mekanisme *learning cycle* terlebih dahulu.
3. Alat Estimator SoC dan SoH yang telah dikembangkan untuk saat ini memiliki potensi selisih maksimal sebesar 5,2% untuk baterai Panasonic LC-V127R2NA1 dan 4,8% untuk baterai INCOE SA100-12. Dengan demikian, hasil estimasi SoC alat ini sudah cukup baik untuk digunakan sebagai indikasi kapasitas baterai.
4. Total biaya yang dibutuhkan untuk membuat alat estimasi SoC dan SoH pada tugas akhir ini adalah Rp 1.247,102,-.

REFERENSI

- [1] I. Bunchman, "Measuring State-of -Charge," 2016. [Online]. Available: <http://batteryuniversity.com/learn/article/>. [Accessed : 13-Aug-2019]
- [2] K. S. Ng, C. S. Moo, Y. P. Chen, and Y. C. Hsieh, "State-of-charge estimation for lead-acid batteries based on dynamic open-circuit voltage," *PECon 2008 - 2008 IEEE 2nd Int. Power Energy Conf.*, no. PECon 08, pp. 972–976, 2008.
- [3] T. Instruments, "Theory and Implementation of Impedance Track™ Battery Fuel-Gauging Algorithm in bq2750x Family," Texas, 2008.
- [4] Texas Instruments, "bq34z100EVM Wide Range Impedance Track™ Enabled Battery Fuel Gauge Solution," 2012. [Online]. Available: www.ti.com/lit/ug/sl00904a/sl00904a.pdf. [Accessed: 13-Aug-2019]

