SIMULASI *STATE OF CHARGE* BATERAI DARI HASIL PURWARUPA PENGEREMAN REGENERATIF MENGGUNAKAN METODE *COULOMB COUNTING*

SIMULATION STATE OF CHARGE BATTERY FROM REGENERATIVE BREAKING PROTOTYPE USING COULOMB COUNTING METHOD

Altha Muhammad Zaqi[1], Ahmad Qurthobi[2*], Kharisma Bani Adam[3*]

[1,2] Universitas Telkom, Bandung
althamz@student.telkomuniversity.ac.id[1], qurthobi@telkomuniversity.ac.id[2],
kharismaadam@telkomuniversity.ac.id[3]

Abstrak

Hasil dari pengereman regeneratif membutuhkan tempat penyimpanan berupa baterai agar dapat digunakan kembali pada waktu tertentu. Baterai merupakan salah satu media penyimpan energi listrik yang umum digunakan dan memiliki berbagai ketentuan sesuai kebutuhan. Untuk menghindari terjadinya *overcharge* dan *overdischarge* pada baterai, dibutuhkan sistem monitoring baterai agar dapat melakukan pengisian dan pengosongan dengan aman. Pada penelitian ini dirancang alat ukur monitoring baterai yang dapat mengukur nilai estimasi *State of Charge* (SOC) baterai. Pengujian ini akan menggunakan metode *Open Circuit Voltage* (OCV) untuk memperoleh estimasi SOC awal baterai, kemudian menggunakan metode *Coulomb Counting* (CC) untuk estimasi SOC pada saat pengisian baterai. Dari hasil penelitian ini, ketika nilai kecepatan mesin untuk tegangan masukan semakin besar, maka waktu pengisian, muatan yang masuk ke baterai, dan perubahan estimasi SOC(t) semakin besar. Saat nilai kecepatan mesin 382 RPM, tidak terjadi pengisian pada baterai karena tidak ada arus yang mengalir ke baterai. Sedangkan hasil terbesar diperoleh saat nilai kecepatan mesin 1538 RPM dengan waktu pengisian 0,007584611 jam atau 2,73045996 detik dengan muatan yang masuk sebesar 0,3807 Coulomb dan menghasilkan pertambahan nilai estimasi SOC(t) sebesar 0,2115% pada baterai.

Kata Kunci : Pengereman Regeneratif, Baterai Lithium Polymer, *State of Charge, Open Circuit Voltage. Coulomb Counting*

Abstract

The result of regenerative braking requires a storage area in the form of a battery so that it can be reused at a certain time. Batteries are one of the commonly used electrical energy storage media and have various provisions as needed. To avoid overcharge and overdischarge of the battery, a battery monitoring system is needed so that it can charge and discharge safely. In this study, a battery monitoring measuring instrument was designed that can measure the estimated value of the battery's State of Charge (SOC). This test will use the Open Circuit Voltage (OCV) method to obtain the initial SOC estimation of the battery, then use the Coulomb Counting (CC) method to estimate the SOC at the time of battery charging. From the results of this study, when the input voltage value is greater, the charging time, charge entering the battery, and changes in the estimated SOC(t) are greater. When the engine speed value is 382 RPM, there is no charging of the battery because there is no current flowing into the battery. While the largest results are obtained when the engine speed value was 1538 RPM with a charging time of 0.007584611 hours or 2.73045996 seconds with an incoming charge of 0.3807 Coulomb and results in an increase in the estimated value of SOC(t) of 0.2115% on the battery.

Keywords: Regenerative Breaking, Lithium Polymer Battery, State of Charge, Open Circuit Voltage. Coulomb Counting.

1. Pendahuluan

Pengereman regeneratif merupakan metode pengereman dengan memanfaatkan energi yang terbuang saat pengereman pada kendaraan untuk dapat disimpan pada baterai [1]. Baterai tersebut

nantinya dapat digunakan untuk berbagai hal, seperti menjadi sumber energi untuk akselerasi mesin, dapat mengalir langsung pada beban (lampu rem), dan penghematan bahan bakar. Dengan adanya sistem pengereman regeneratif, sistem pengereman akan menjadi efisien dan efektif karena energi yang terbuang dapat dimanfaatkan kembali. Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam proses pengereman regeneratif ini, yaitu kecepatan putar dari sumber geraknya, daya input dan output yang dihasilkan ke baterai. Hal tersebut mempengaruhi kinerja dari sistem pengereman regeneratif yang dapat mengisi baterai.

Baterai merupakan suatu alat penyimpan energi yang dapat mengkonversi energi listrik dan energi kimia, seperti mengubah energi listrik menjadi energi kimia (*charge*) dan energi kimia menjadi energi listrik kembali (*discharge*). Baterai yang digunakan ini bermaksud untuk menyimpan keluaran dari hasil pengereman regeneratif tersebut. Ada beberapa indikator yang perlu diperhatikan pada baterai seperti tegangan pada tiap sel baterai, suhu baterai, serta arus masuk atau keluar baterai dengan parameter *State of Charge* (SOC) dan *State of Health* (SOH). Salah satu parameter penting yang diperlukan untuk memastikan pengisian dan pemakaian yang aman adalah SOC. SOC menyediakan status baterai saat ini dan memungkinkan baterai untuk diisi dan dikosongkan dengan aman pada tingkat yang sesuai untuk peningkatan masa pakai baterai [2]. Ada berbagai metode untuk memperkirakan SOC pada baterai dan yang umum adalah menggunakan penghitungan *Coulomb Counting* (CC) dan *Open Circuit Voltage* (OCV) [3].

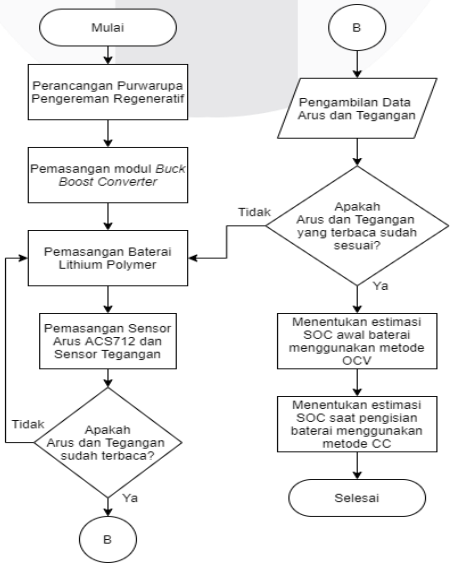
Pada penelitian sebelumnya mengenai pengereman regeneratif menggunakan motor arus searah, memperoleh tegangan yang mencapai 299 V pada saat sistem diberikan tegangan masukan ke motor 200 V, dan tegangan generator 220 V. Sistem tersebut dapat melakukan pengereman dalam waktu 15 detik [4]. Akan tetapi, belum adanya tempat penyimpanan untuk hasil pengereman tersebut, sehingga perlu penelitian mengenai tempat penyimpanan hasil pengereman regeneratif berupa beterai. Penelitian pada baterai umumnya memperoleh hasil berupa estimasi nilai SOC, nilai tersebut dapat menyatakan nilai kapasitas baterai yang digunakan.

Pada pengerjaan penelitian ini, akan dibuat rancang bangun sistem pengereman regeneratif menggunakan mesin PMDC (*Permanent Magnet* DC) yang dapat mengisi daya pada baterai jenis Lithium-Polymer. Rancang bangun tersebut akan digunakan untuk menganalisis pengisian baterai dari hasil pengereman regeneratif. Analisis pengisian baterai dapat berupa estimasi nilai SOC pada hasil dari pengereman regeneratif, untuk mengetahui seberapa besar kapasitas yang terisi dari hasil pengisian sistem tersebut. Untuk mendapatkan nilai SOC dari baterai, penulis akan menggunakan metode *Open Circuit Voltage* (OCV) dan metode *Coulomb Counting* (CC).

2. Metode Penelitian

2.1 Perancangan Sistem

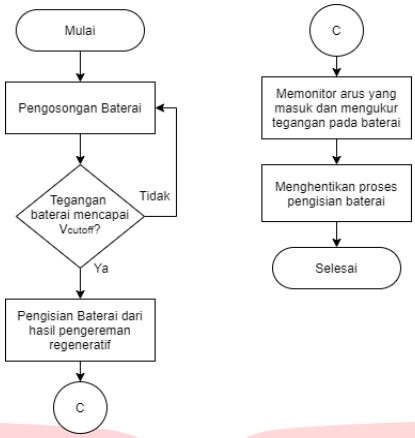
Penelitian ini dimulai dari proses pembuatan purwarupa sistem pengereman regeneratif, pemasangan modul *Buck Boost Converter*, dan pengamatan pada baterai sebagai penyimpan dari hasil pengereman regeneratif tersebut. Selanjutnya hasil penelitian akan diolah dan ditulis dalam laporan tugas akhir.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Sistem.

2.2 Prosedur Siklus Pengisian Baterai

Prosedur pengujian pada siklus pengisian baterai dari hasil pengereman regeneratif dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Siklus Pengisian Baterai

Langkah pertama dalam siklus pengisian baterai adalah melakukan pengosongan baterai dengan cara mengalirkan arus dari baterai ke beban berupa lampu. Pengosongan dilakukan hingga baterai mencapai tegangan *cutoff* agar dapat dikatakan bahwa baterai tersebut memiliki SOC 0% [5]. Kemudian melakukan pengisian baterai dari hasil pengereman regeneratif, lalu melakukan monitoring nilai arus yang masuk dan tegangan pada baterai. Setelah siklus pengisian baterai dari hasil pengereman regeneratif selesai proses pengisian baterai akan dihentikan.

2.3 Metode *Open Circuit Voltage* (OCV)

Salah satu metode estimasi SOC yang umum diimplementasikan adalah metode Open Circuit Voltage (OCV). Metode OCV adalah metode yang mengukur tegangan saat rangkaian terbuka (*open circuit*) dan arus yang mengalir sama dengan nol. Metode ini dapat melakukan estimasi SOC berdasarkan hubungan liner antara tegangan terhadap SOC dari baterai dan mengacu pada datasheet baterai. Tegangan maksimal pada baterai menggambarkan SOC 100% dan tegangan cut-off pada baterai menggambarkan SOC 0%[5].

2.4 Metode *Coulomb Counting* (CC)

Selain metode OCV, estimasi SOC yang paling banyak digunakan adalah metode Coloumb Counting (CC). Metode CC adalah metode estimasi SOC baterai yang menghitung muatan listrik (Q) yang masuk atau keluar melalui baterai. Muatan listrik dapat dihitung dengan cara mengintegralkan arus listrik (I) yang masuk atau keluar melalui baterai terhadap waktu (t) dalam satuan detik [6]. Persamaan dari metode CC dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2) dengan η adalah efisiensi baterai dan C_n adalah kapasitas maksimum baterai.

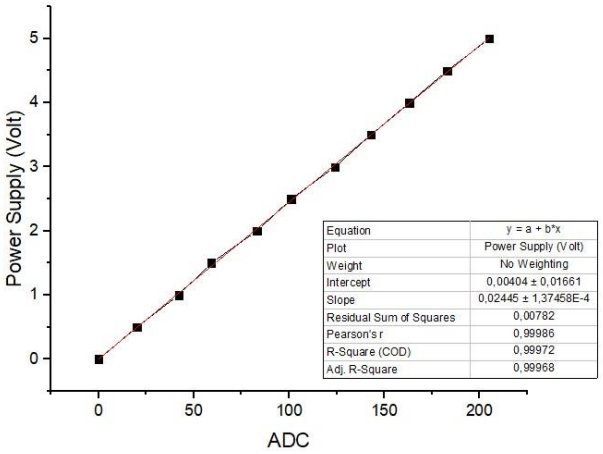
$$Q = \int_{t_0}^{t} I \, dt \tag{1}$$

$$SOC(t) = SOC(t_0) \pm \frac{\eta}{C_n} \int_{t_0}^{t} I \, dt \tag{2}$$

3. Hasil dan Analisa

3.1 Kalibrasi Modul Sensor Tegangan

Kalibrasi modul sensor tegangan dilakukan dengan cara mengambil nilai ADC (*Analog to Digital Converter*) dari sensor dan membandingkannya dengan nilai tegangan dari Catu Daya DC.

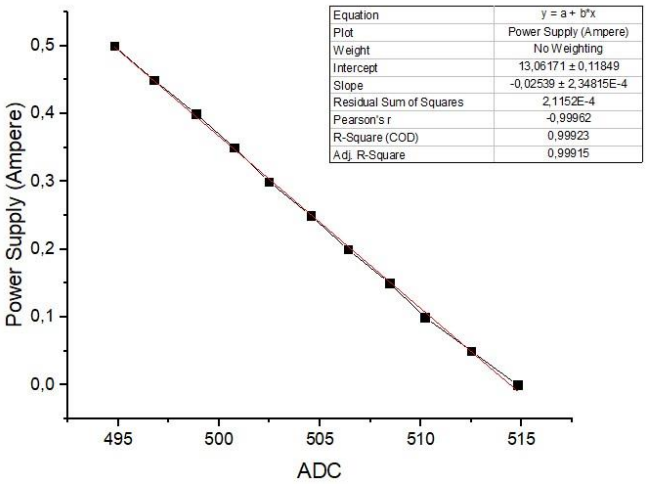


Gambar 3. Kalibrasi Modul Sensor Tegangan

Berdasarkan grafik tersebut, tegangan dari Catu Daya DC diatur dari 0 Volt hingga 5 Volt dengan perubahan sebesar 0,5 Volt, nilai dari tegangan tersebut akan di baca oleh modul sensor tegangan yang berupa nilai ADC (*Analog to Digital Converter*). Pada grafik diperoleh nilai *intercept* 0,00404 dan *slope* 0,02445 dari persamaan regresi liniernya. Kemudian persamaan tersebut dimasukan kedalam *source code* mikrokontroler untuk mengkonversikan nilai ADC sensor menjadi nilai tegangan. Setalah dikalibrasi, sensor memperoleh error rata-rata sebesar 0,02 Volt, nilai error tersebut sudah cukup baik karena tidak memiliki nilai error yang besar, sehingga Modul Sensor Tegangan tersebut dapat digunakan dengan toleransi nilai error ±0,02 Volt.

3.2 Kalibrasi Sensor Arus ACS712

Kalibrasi sensor arus ACS712 dilakukan dengan cara mengambil nilai ADC (*Analog to Digital Conerter*) dari sensor dan membandingkannya dengan nilai arus yang ada pada Catu Daya DC dengan beban berupa Motor DC.



Gambar 4. Kalibrasi Sensor Arus ACS712

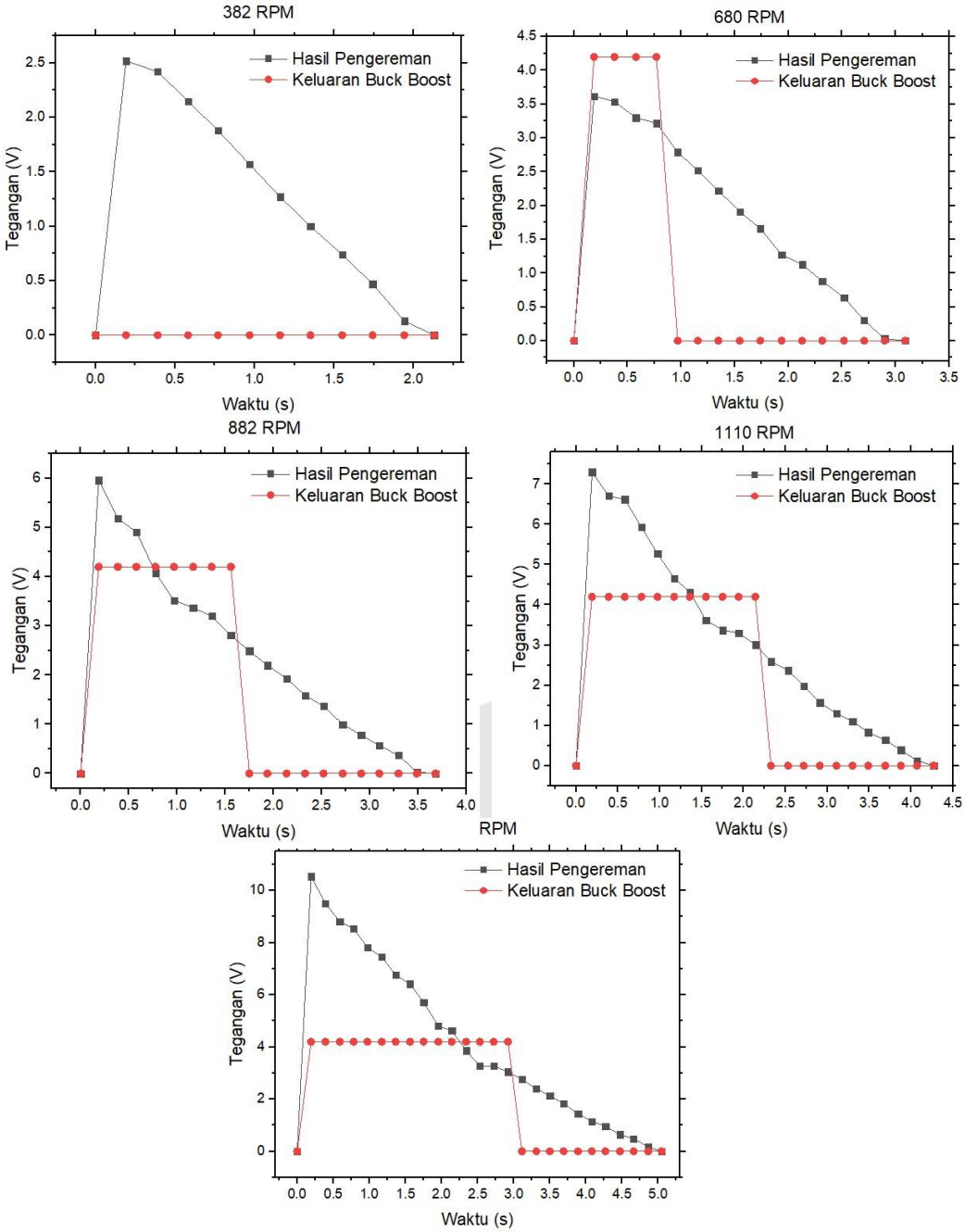
Berdasarkan grafik tersebut, arus dengan beban Motor DC diatur oleh Catu Daya DC seperti pada tabel diatas, nilai dari arus tersebut akan di baca oleh sensor arus ACS712 yang berupa nilai ADC (*Analog to Digital Converter*). Pada grafik diperoleh nilai *intercept* 13,06171 dan *slope* -0,02539 dari persamaan regresi liniernya. Kemudian persamaan tersebut dimasukan kedalam *source code* mikrokontroler untuk mengkonversikan nilai ADC sensor menjadi nilai arus. Setelah dikalibrasi, sensor memperoleh error rata-rata sebesar 0,006 Ampere, nilai error tersebut sudah baik karena memiliki nilai error yang kecil, sehingga Sensor Arus ACS712 tersebut dapat digunakan dengan toleransi nilai error ±0,005 Ampere .

3.3 Estimasi *State Of Charge* (SOC) Awal Baterai

Estimasi State Of Charge (SOC) untuk kondisi awal baterai penulis menggunakan metode Open Circuit Voltage (OCV). Mula-mula baterai Lipo 1s 3,7 Volt dikosongkan dengan beban resistor 100 ohm dan lampu LED hijau sebanyak 6 buah yang dirangkai secara parallel. Pengosongan dilakukan hingga tegangan baterai mencapai tegangan cut-off yaitu sebesar 3 Volt berdasarkan datasheet baterai. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa SOC awal baterai sebesar 0%.

3.4 Data Tegangan

Data tegangan dibagi menjadi 4 data dengan nilai kecepatan mesin pada hasil pengereman regeneratif yang berbeda-beda, nilai kecepatan yang digunakan ialah 382 RPM, 680 RPM, 882 RPM, 1110 RPM, dan 1538 RPM. Nilai tersebut ialah nilai kecepatan stabil mesin sebelum dilakukannya pengereman.

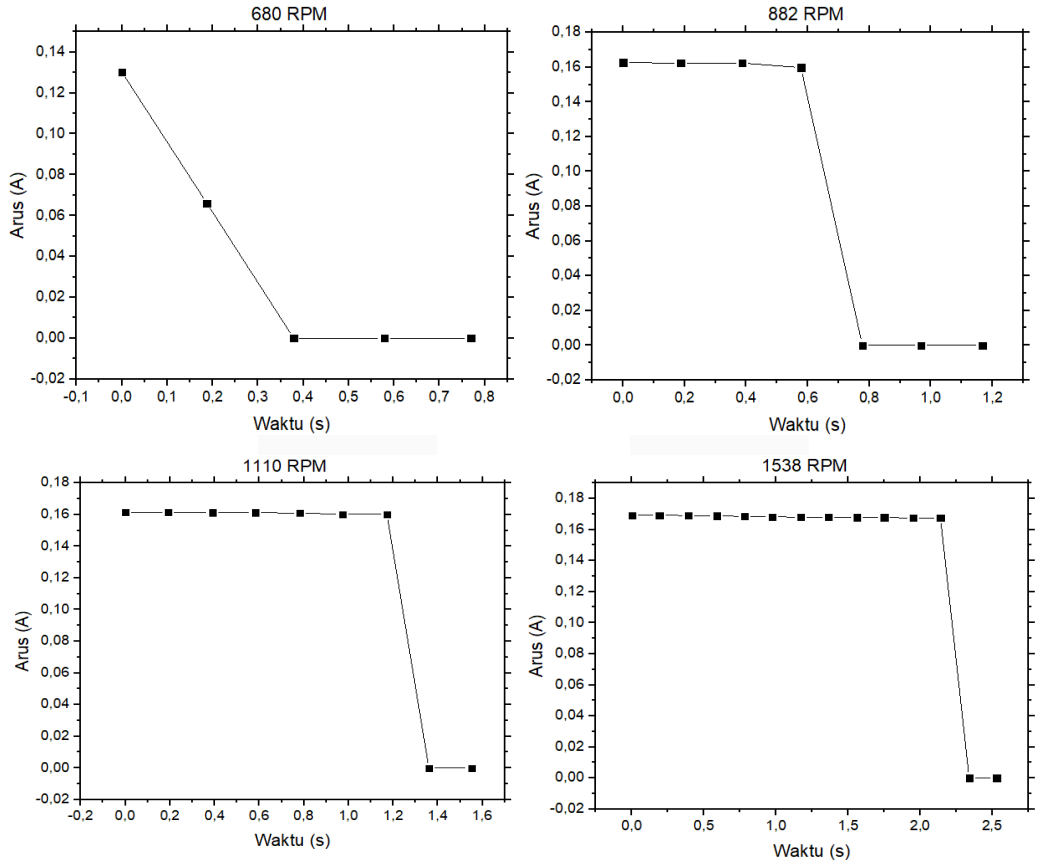


Gambar 5. Data Tegangan

Berdasarkan grafik diatas, semakin lama hasil pengereman regeneratif akan semakin turun dikarenakan adanya proses pengereman. Saat nilai kecepatan mesin 382 RPM tidak ada nilai tegangan keluaran dari modul *Buck Boost Converter*, karna nilai tegangan yang dihasilkan purwarupa masih dibawah tegangan minimal untuk tegangan masukan modul *Buck Boost Converter* yaitu 2,8 Volt, maka hasil tersebut tidak dapat melakukan pengisian kepada baterai. Untuk nilai kecepatan mesin 680 RPM, 882 RPM, 1110 RPM, dan 1538 RPM dapat melakukan pengisian baterai karna tegangan keluaran modul *Buck Boost Converter* diatas 2,8 Volt. Saat nilai tegangan keluaran purwarupa diatas 4,2 Volt (tegangan *charging* baterai) maka modul *Buck Boost Converter* akan melakukan mode *buck*, sedangkan ketika nilai tegangan keluaran dibawah 4,2 Volt maka modul akan melakukan mode *boost*. Sehingga tegangan ke baterai akan selalu stabil pada nilai 4,2 Volt.

3.5 Data Arus

Data Arus diperoleh dari arus yang mengalir dari keluaran modul Buck Boost Converter yang nantinya akan masuk ke baterai.



Gambar 6. Data Arus

Saat kecepatan mesin 382 RPM, tidak ada arus yang mengalir ke baterai, karena dapat dilihat pada gambar 5 tidak ada nilai tegangan keluaran dari modul *Buck Boost Converter*. Sedangkan berdasarkan gambar 6, untuk nilai kecepatan mesin 680 RPM, 882 RPM, 1110 RPM, dan 1538 RPM terdapat arus yang mengalir ke baterai. Dari grafik tersebut dapat dihitung muatan yang masuk ke baterai dengan menghitung luas grafik sesuai dengan persamaan (1). Saat kecepatan mesin 680 RPM memperoleh arus maksimal 130,2 mA atau 0,1302 A lalu arusnya turun hingga 0 A, hal tersebut karena waktu pengereman yang sangat singkat sehingga arus yang mengalir sangat singkat, kemudian memperoleh muatan yang masuk ke baterai sebesari 0,1953 Coulomb. Saat kecepatan mesin 882 RPM, 1110 RPM arus yang mengalir ke baterai cenderung sama disekitar 161,4 mA atau 0,1614 A hingga 162,6 mA atau 0,1626 A, yang membedakan ialah waktu arus tersebut mengalir, sehingga memperoleh muatan yang masuk kebaterai sebesar 0,12195 Coulomb dan 0,21789

Coulomb. Hasil terbesar terdapat pada data saat kecepatan mesin 1538 RPM, memperoleh arus sebesar 169,2 mA atau 0,1692 A, sehingga muatan yang masuk ke baterai sebesar 0,3807 Coulomb.

3.6 Estimasi Perubahan *State Of Charge* (SOC) Baterai

Hasil Estimasi State Of Charge (SOC) setelah baterai terisi oleh pengereman regeneratif penulis menggunakan metode Coulomb Counting (CC) dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Estimasi Perubahan SOC(t) Baterai

Masukan (RPM)	Waktu Pengisian (s)	Muatan Masuk (Coulomb)	SOC(t) (%)
382	0	0	0
680	0.78125	0,01953	0,01085
882	1.37109	0,12195	0,06775
1110	1.94922	0,21789	0,12105
1538	2.73046	0,3807	0,2115

Dari hasil akuisisi data waktu pengisian dan arus yang masuk ke baterai dapat diperoleh nilai estimasi SOC(t) baterai menggunakan metode CC. SOC(t) pada tabel 4.3 merupakan estimasi perubahan SOC dari hasil purwarupa. Dapat diketahui berdasarkan tabel tersebut, waktu pengisian akan semakin lama saat nilai tegangan masukannya semakin besar, oleh karena itu terjadi perbedaan jumlah muatan yang masuk ke baterai berdasarkan nilai tegangan masukannya. Berdasarkan persamaan (2) diperoleh hasil estimasi SOC(t) seperti tabel 4.3, pertambahan SOC(t) baterai berbeda-beda berdasarkan nilai tegangan masukannya. Pada penelitian ini, dengan nilai tegangan masukan maksimal 12 Volt terjadi pertambahan jumlah muatan sebesar 0,3807 Coulomb yang menghasilkan pertambahan nilai estimasi SOC(t) sebesar 0,2115% pada baterai.

4. Kesimpulan

Penyimpan daya dari hasil purwarupa pengereman regeneratif berupa baterai LiPo 1s 3,7 Volt 500mAh. Untuk dapat melakukan pengisian baterai, tegangan sumber pengisian harus 4,2 Volt sesuai dengan *datasheet* baterai. Dari hasil penelitian, purwarupa dapat melakukan pengisian pada baterai. Ketika nilai kecepatan mesin pada purwarupa semakin besar, maka berbanding lurus dengan waktu pengisian baterai, muatan yang masuk ke baterai, dan perubahan estimasi SOC(t) baterai.

Referensi

[1] U. W. A. E. M. S. T. U. Soeprapto, "Pengereman Regeneratif Motor DC Tanpa Sikat (BLDC) Untuk Pengisian Baterai Pada Sepeda Elektrik," Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana, p. 1, 2018.

[2] S. M. I. B. P. D. H. W. K. D. a. H. F. H. K. W. E. Cheng, "Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles," IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, p. 76, 2011.

[3] S. M. Qaisar, "Event-Driven Approach for an Efficient Coulomb Counting Based Li-Ion Battery State of Charge Estimation," Procedia Computer Science, vol. 168, no. 2019, p. 203, 2020.

[4] I. P. H. A. Q. Indra Maulana, "RANCANG BANGUN MINI PLANT REGENERATIVE BRAKING SEBAGAI SUMBER DAYA LISTRIK".

[5] J. Chiasson and B. Vairamohan, "Estimating the State of Charge of a Battery," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 13, no. 3, pp. 465-470, 2005.

[6] E. R. Asep Nugroho, "SIMULASI OPTIMASI PENGUKURAN STATE OF CHARGE BATERAI DENGAN INTEGRAL OBSERVER," Widyariset, vol. 17, no. 3, pp. 323-332, 2014.