



Pemantau Tegangan Baterai Ion Litium dalam Rangkaian Empat Seri pada Aplikasi Penyimpan Energi Berdaya Tinggi

Najmuddin Yahya* dan Apriardi Ihlis

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik Kementerian Perindustrian, Jl. Sangkuriang No. 14 Dago, Kec. Coblong, Kota Bandung 40135

*E-mail: najmuddin.yahya@gmail.com

Abstract

Lithium-ion Battery has been widely used in electronic devices as an electrical energy storage. Not only in portable electronic devices, but also in renewable energy generator such as solar cells. In high-power electronic application devices, it is necessary to have a series or parallel battery cells which connected to a battery pack. Previously, the results of the battery voltage only displayed the total voltage of the battery pack, which caused the individual voltage of each cell was unreadable, especially in a series circuit. Battery Cell voltage on it needed further observation, so we could find the performance out of the BMS in battery protecting. This research conducted in an electronic circuit to monitor the battery voltage in an arrangement of four series. Electronic circuit design was simulated using Proteus Software. The result of it used a combination of Buffer Op-Amp and Differential Op-Amp could read individual cell voltages. Then, the electronic circuit arranged on a breadboard to get the actual results. The actual assembly shows the voltage reading results do not match with the voltmeter reading. Since the prototyping circuit on the breadboard is not permanent, it affects the reading results. Further discussion is shown in this paper.

Keywords: battery, lithium, series, voltage, monitor

Pendahuluan

Baterai ion litium memainkan peran penting dalam kualitas hidup masyarakat modern. Baterai ion litium mendominasi teknologi penyimpanan energi untuk perangkat elektronik jinjing seperti *handphone*, tablet, laptop. Kedepannya, teknologi baterai ion litium juga dimanfaatkan pada pembangkit energi terbarukan sebagai penyimpan energi listrik dan juga energi penggerak pada kendaraan listrik (Zubi dkk., 2018). Dari beberapa jenis baterai yang ada seperti baterai *Lead Acid*, NiCd, NiMH dan beberapa jenis baterai lainnya, baterai ion litium yang saat ini gencar dikembangkan karena memiliki *gravimetric energy density* yang cukup baik yaitu diantara 100 Wh/kg sampai dengan 225 Wh/kg (Suryono, 2015). Dalam Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Perguruan Tinggi No. 38 tahun 2019 mengenai Prioritas Riset Nasional tahun 2020-2024, fokus riset 2.3.1 juga disebutkan bahwa baterai litium merupakan salah satu target capaian produk inovasi nasional. Hal tersebut yang melatar belakangi terus dilakukannya penelitian dan pengembangan teknologi baterai ion litium di Indonesia.

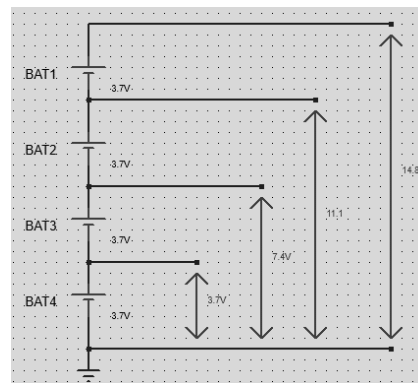
Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) Kementerian Perindustrian sebagai salah satu lembaga litbang telah melakukan penelitian mengenai baterai ion litium. Penelitian yang dilakukan terkait material penyusun baterai litium maupun penelitian produk terapan yang memanfaatkan baterai litium. Pada tahun 2016 telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh kitosan terhadap kristalinitas dan morfologi partikel litium titanat (Dewanto dkk., 2014). Berikutnya, dilakukan penelitian mengenai pengaruh pemanasan pada proses pelarutan *Binder* terhadap kinerja katoda pada sel baterai ion litium (Puspita, 2017). Kajian mengenai bahan dengan konduktivitas listrik tinggi untuk meningkatkan unjuk kerja baterai ion litium juga telah dilakukan, tujuan dilakukan kajian tersebut yaitu untuk mempelajari pengaruh bahan berkonduktivitas listrik tinggi, struktur bahan dan konstruksi komposit terhadap peningkatan unjuk kerja baterai ion litium (Rahardi, 2017). Produksi sel baterai ion litium skala laboratorium juga telah dilakukan di B4T, baterai yang diproduksi yaitu berbentuk *pouch*. Penelitian mengenai homogenitas produksi baterai ion litium telah dilakukan pada tahun 2016, dari penelitian tersebut didapatkan prosedur pembuatan baterai ion litium sehingga menghasilkan produk yang homogeny (Puspita dan Rahardi, 2016).

Beberapa produk penyimpanan energi telah dikembangkan sebagai implementasi sel baterai ion litium yang telah dibuat. B4T Power House sebagai salah satu produk hasil pengembangan sel baterai ion litium yang telah dibuat, merupakan perangkat penyimpanan energi listrik yang memiliki mobilitas tinggi dan dapat digunakan untuk suplai energi pada perangkat elektronik jinjing seperti laptop, *handphone*, dan lampu pijar pada area yang belum terjangkau jaringan listrik (Yahya, 2019). Empat sel baterai ion litium dalam susunan seri diaplikasikan pada B4T Power House untuk menghasilkan tegangan kerja sebesar 14,8 V dengan kapasitas 7.000 mAh.



Pada generasi pertama, B4T Power House menggunakan perangkat elektronika BMS komersial yang telah banyak dijual dipasaran. BMS memiliki fungsi utama untuk mengatur arus, tegangan, dan suhu dari baterai maupun rangkaian beberapa baterai (Warner, 2015). Tegangan dan arus keluaran BMS ditangkap sensor kemudian ditampilkan dalam monitor. Tegangan yang ditampilkan merupakan tegangan total dari rangkaian baterai empat seri, sedangkan tegangan masing-masing baterai belum dapat ditampilkan. Perlunya pemantauan tegangan masing-masing baterai yaitu untuk mengetahui kondisi baterai serta kinerja BMS Komersial dalam mengelola baterai, sehingga baterai dalam kondisi kerja yang diinginkan. Data kondisi baterai serta kinerja BMS dapat dijadikan evaluasi dan patokan kedepannya dalam pengembangan produk berbasis baterai ion litium.

Beberapa penelitian terkait pemantauan tegangan baterai telah dilakukan sebelumnya. Agustian (2013) berhasil merancang sistem monitoring kondisi baterai aki kendaraan bermotor dengan menggunakan sensor tegangan yang dirancang menggunakan rangkaian pembagi tegangan, bagian kendali menggunakan mikrokontroler AT Mega16 dan LCD 16x4 untuk menampilkan hasil pemantauan. Rancang bangun alat monitoring arus dan tegangan pada hybrid pembangkit energi alternatif dan sumber listrik PLN dilakukan oleh Fitriandi dkk (2016) menggunakan rangkaian sensor tegangan yang menurunkan tegangan 220 V ke 5 V kemudian mengubah listrik AC menjadi DC dan selanjutnya dibaca oleh mikrokontroler Arduino Uno. Pauzan (2019) memanfaatkan rangkaian *operational amplifier* (op-amp) sebagai komparator untuk mengetahui level tegangan dua baterai ion litium yang disusun seri, simulasi yang dilakukan menggunakan *software* proteus dengan menggunakan lampu LED sebagai indikator level tegangan baterai. Dari beberapa penelitian tersebut kemudian dijadikan referensi untuk membuat rangkaian pemantau tegangan baterai individu dalam rangkaian baterai seri menggunakan komponen, rangkaian, maupun mikrokontroler yang telah dilakukan sebelumnya.



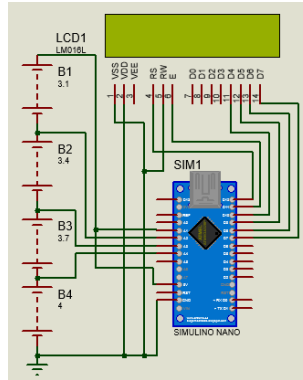
Gambar 1. Ilustrasi pengukuran tegangan pada rangkaian baterai seri

Permasalahan yang dihadapi ketika akan melakukan pengukuran tegangan individu baterai pada rangkaian baterai seri adalah titik referensi (Ground) yang sama. Gambar 1 merupakan ilustrasi pada rangkaian baterai seri. Ketika akan melakukan pemantauan tegangan menggunakan mikrokontroler, Baterai 4 akan lebih mudah terukur karena kutub negatif langsung terhubung ke ground. Akan berbeda ketika akan mengukur Baterai 1, yang akan terukur adalah jumlah dari keempat tegangan baterai, hal ini juga akan terjadi pada Baterai 2 dan 3. Sehingga perlu adanya rangkaian elektronika tambahan untuk dapat mengukur tegangan individu baterai tersebut.

Metode Penelitian

Sistem yang dibuat pada penelitian ini yaitu sistem pemantau tegangan individu baterai pada rangkaian empat seri baterai, rangkaian elektronika pemantau tegangan, mikrokontroler, serta tampilan monitor berupa LCD. Nantinya sistem ini akan digabungkan dengan sistem elektronika yang ada pada B4T Power House yang telah berhasil dibuat sebelumnya. Penelitian dimulai dengan mencari referensi terkait pembuatan rangkaian pemantau tegangan baterai, kemudian dilakukan desain rangkaian sesuai dengan data referensi yang didapatkan. Desain yang telah dibuat kemudian disimulasikan menggunakan *software* Proteus. Rangkaian akan didesain ulang apabila simulasi menunjukkan kegagalan. Apabila sudah sesuai maka rangkaian PCB dibuat sesuai dengan desain yang telah disimulasikan. Pengujian rangkaian dilakukan untuk memastikan rangkaian bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan hasil pembacaan rangkaian memiliki error yang kecil dengan perbandingan pembacaan tegangan voltmeter. Voltmeter yang digunakan merek Fluke 17B+ (Akurasi: 0,5% +3)

Pada Gambar 2 merupakan rangkaian minimum yang terdiri dari empat buah baterai yang terangkai seri, mikrokontroler dalam hal ini menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino Nano, kemudian layar LCD 16x2 untuk menampilkan hasil pembacaan nilai tegangan. Dalam penelitian ini ada beberapa rangkaian elektronika yang diterapkan sesuai dengan data referensi sebelumnya.



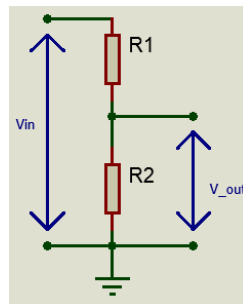
Gambar 2. Rangkaian minimum pemantau tegangan

Rangkaian pertama menggunakan rangkaian pembagi tegangan, rangkaian ini terdiri dari dua buah resistor yang berfungsi untuk membagi tegangan masukan berdasarkan rasio dari nilai resistor yang digunakan. Pada penelitian Fitriandi dkk (2016) rangkaian pembagi tegangan digunakan sebagai pembatas tegangan sekaligus pemantau tegangan yang akan menjadi masukan bagi mikrokontroler, disebutkan bahwa tegangan maksimum yang dapat masuk mikrokontroler adalah 5 V. Rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Gambar 3. Untuk menghitung tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan dapat menggunakan Persamaan 1.

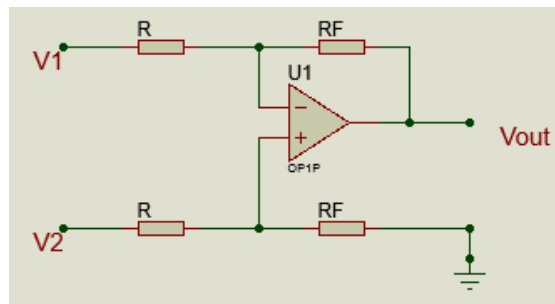
$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Tegangan yang masuk akan dibaca sebagai sinyal analog pada mikrokontroler, sehingga perlu dilakukan konversi menggunakan Persamaan 2. Persamaan 2 ini yang akan dimasukkan pada pemrograman Arduino IDE. (Putra dkk., 2019). Hasil simulasi rangkaian dapat dilihat pada hasil dan pembahasan.

$$V_{out_arduino} = \text{Nilai Pembacaan Analog} \times \frac{5}{1023} \quad (2)$$



Gambar 3. Rangkaian pembagi tegangan



Gambar 4. Rangkaian op-amp pengurang (Travis 1985)

Rangkaian kedua yang diuji coba yaitu menggunakan komponen op-amp, Pauzan (2019) menggunakan rangkaian op-amp sebagai komparator untuk indikator level tegangan. Dalam penelitian tersebut, op-amp digunakan untuk membandingkan nilai tegangan baterai dengan nilai tegangan referensi yang telah ditentukan untuk mengaktifkan sinyal HIGH untuk menhidupkan LED sebagai indikator tegangan baterai berada pada level 25%, 50%, 75%, atau

100%. Selain berfungsi sebagai komparator tegangan, op-amp juga dapat berfungsi sebagai pengurang tegangan (Franco, 2002). Rangkaian op-amp pengurang (*differential op-amp*) ditunjukkan pada Gambar 4.

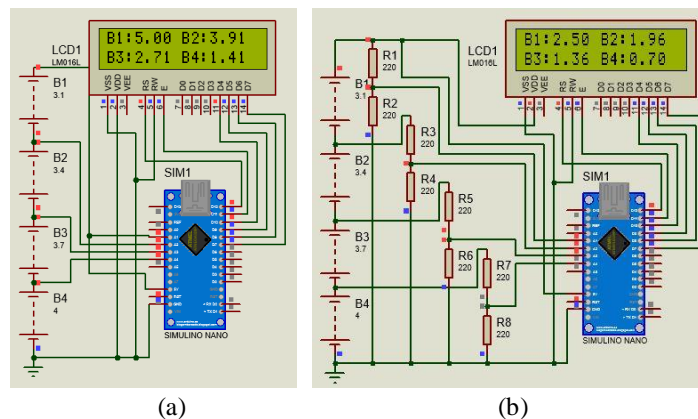
Secara matematis, perhitungan tegangan baterai individu yaitu dengan mengurangkan tegangan baterai. Seperti pada Gambar 1, nilai Baterai 3 didapatkan dengan mengurangkan nilai pembacaan Baterai 3 dengan Baterai 4, begitu juga dengan nilai Baterai 2 dan Baterai 1. Oleh karena itu, pada rangkaian kedua digunakan rangkaian op-amp pengurang tegangan. Persamaan 3 digunakan untuk menentukan nilai V_{out} rangkaian pengurang tegangan. Dengan menentukan nilai $R_F=R$ atau penguat bernilai 1, maka nilai V_{out} adalah hasil pengurangan V_2 dari V_1 . Sebelumnya dipasang juga rangkaian op-amp *voltage follower* atau rangkaian *buffer*. Rangkaian *buffer* memiliki impedansi input yang sangat tinggi sedangkan hambatan yang keluaran sangat rendah yaitu mendekati kondisi ideal (Fiore, 2020), sehingga dapat digunakan untuk membaca tegangan dari sel tanpa harus menarik daya dari sel tersebut. Nilai penguatan yang dihasilkan pada rangkaian *buffer* ini adalah 1.

$$V_{out} = \frac{R_F}{R} (V_2 - V_1) \quad (3)$$

Dari hasil simulasi kedua rangkaian tersebut, dipilih rangkaian yang sesuai dengan tujuan penelitian yaitu dapat menampilkan hasil pembacaan tegangan individu baterai untuk kemudian dirangkai pada papan PCB. Hasil pembacaan akan dibandingkan dengan nilai tegangan baterai menggunakan voltmeter. Nilai pembacaan tegangan akan dibahas pada Hasil dan Pembahasan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi rangkaian minimum dan menggunakan rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai pembacaan tegangan baterai pada layar LCD, baik pada rangkaian minimum maupun dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan, tidak sama dengan nilai tegangan baterai yang telah ditentukan sebelumnya.



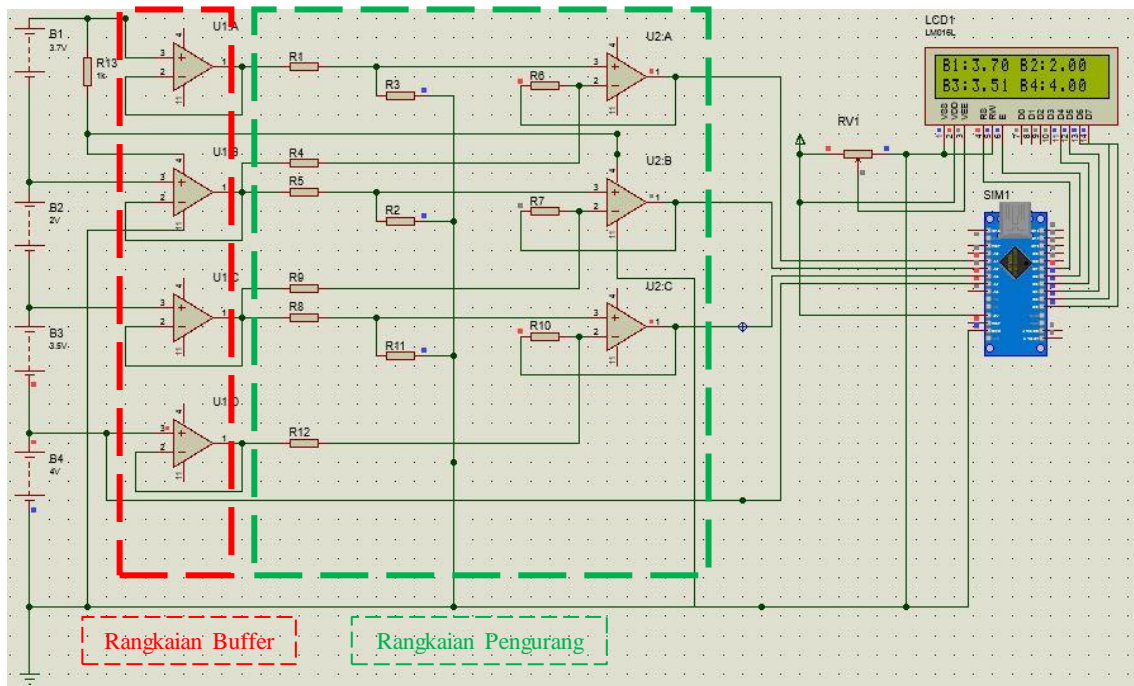
Gambar 5. Hasil simulasi (a) Rangkaian minimum tanpa tambahan komponen (b) Rangkaian dengan tambahan pembagi tegangan

Pada rangkaian minimum letak titik referensi baterai yang berhimpit dengan kutub positif baterai yang lain mengakibatkan *error* pada pembacaan mikrokontroler. Sedangkan pada rangkaian berikutnya yang telah ditambahkan rangkaian pembagi tegangan masih didapatkan hasil yang sama. Rangkaian pembagi tegangan dapat digunakan untuk mengukur nilai tegangan dan sekaligus membatasi tegangan yang masuk pada mikrokontroler agar bernilai di bawah 5 V seperti pada penelitian Fitriandi dkk (2016). Yang membedakan dengan penelitian sebelumnya yaitu sumber tegangan dalam hal ini baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian baterai susunan empat seri, sedangkan pada penelitian sebelumnya oleh Fitriandi dkk (2016) menggunakan satu sumber tegangan.

Hasil simulasi rangkaian kedua menggunakan rangkaian op-amp *buffer* dan rangkaian pengurang dapat dilihat pada Gambar 6. Dapat dilihat hasil pembacaan pada LCD dengan nilai tegangan baterai yang sudah ditentukan sebelumnya adalah sama. Hal ini dapat diartikan bahwa rangkaian yang disimulasikan mampu untuk membaca nilai tegangan masing-masing individu. Pada rangkaian *buffer* menggunakan empat buah op-amp yang berfungsi untuk membaca tegangan dari masing-masing sel, kemudian hasil keluaran op-amp *buffer* diteruskan pada rangkaian op-amp pengurang. Rangkaian op-amp pengurang hanya menggunakan 3 op-amp yaitu untuk menghitung selisih antara keluaran op-amp U1.C dengan U1.D, U1.B dengan U1.C, dan U1.A dengan U1.B pada Gambar 6.

Rangkaian kedua dipilih untuk diteruskan menjadi rangkaian pada PCB, karena nilai pembacaan individu baterai yang sesuai dengan nilai baterai semestinya. Dalam proses perakitan rangkaian, terlebih dahulu dilakukan perakitan rangkaian pada *Breadboard*, yaitu papan yang digunakan untuk membuat rangkaian elektronik sementara. Hal ini dilakukan untuk mengecek hasil keluaran pembacaan secara aktual, sebelum nantinya dijadikan permanen pada Papan PCB. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Mega 2560. Hasil pembacaan menggunakan *breadboard* masih

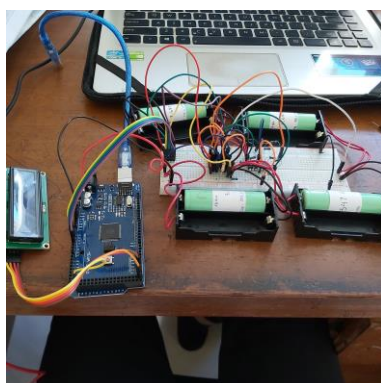
belum sesuai, walaupun rangkaian yang digunakan adalah sama persis dengan rangkaian pada tahap simulasi, rangkaian pada breadboard dan hasil pembacaan dapat dilihat pada Gambar 7(b). Tabel 1 menunjukkan perbandingan hasil pembacaan rangkaian menggunakan breadboard dan pembacaan aktual menggunakan voltmeter. Penggunaan papan *breadboard* untuk prototyping memiliki beberapa kekurangan, diantaranya sifat rangkaian tidak permanen, sehingga memungkinkan adanya rangkaian yang tidak tersambung dengan benar. Penggunaan kabel *jumper* yang terlalu banyak juga dapat mempengaruhi nilai pembacaan, karena kabel *jumper* sendiri memiliki tahanan dalam bahan. Rangkaian dirangkai langsung dalam papan PCB dapat dilakukan untuk mengurangi *error* yang dihasilkan ketika menggunakan *Breadboard*. Sampai tulisan ini dibuat, rangkaian pada papan PCB belum dibuat, maka belum didapatkan hasil dari rangkaian secara aktual.



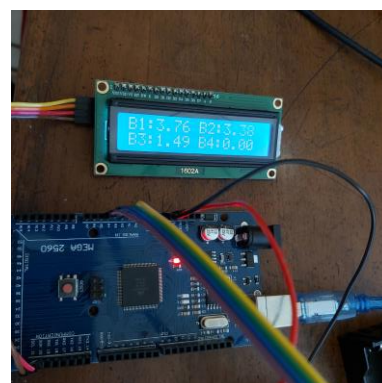
Gambar 6. Hasil simulasi rangkaian op-amp *buffer* dan op-amp pengurang

Tabel 1. Hasil Pembacaan Rangkaian dengan Pembacaan Voltmeter

Baterai	Pembacaan Rangkaian (V)	Pembacaan Voltmeter (V)
1	3,76	3,537
2	3,38	3,563
3	1,49	3,525
4	0,00	3,330



(a)



(b)

Gambar 7. Rangkaian pada *breadboard* (a) Tampilan rangkaian (b) Hasil tampilan pembacaan

Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian mengenai rangkaian pemantau tegangan baterai individu yang terseusun empat seri. Dari beberapa rangkaian yang telah disimulasikan, penggunaan rangkaian op-amp *buffer* dan rangkaian op-amp pengurang dapat digunakan untuk membaca nilai tegangan baterai individu. Simulasi rangkaian yang telah berhasil membaca nilai tegangan individu baterai kemudian dirangkai pada papan *breadboard*. Hasil pembacaan pada rangkaian *breadboard* belum sesuai dengan hasil pembacaan pada simulasi. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh penggunaan papan *breadboard* yang bersifat sementara dan penggunaan kabel *jumper* yang terlalu banyak dapat mempengaruhi pembacaan tegangan. Disarankan untuk langsung merangkai rangkaian pada papan PCB, sehingga dapat mengurangi error yang ditimbulkan pada penggunaan *breadboard*.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada staf Laboratorium Riset Baterai B4T dan pihak lain yang terlibat dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan tulisan.

Daftar Notasi

V = Tegangan [V]

R = Hambatan [Ω]

Daftar Pustaka

- Agustian L. Rancang bangun sistem monitoring kondisi aki pada kendaraan bermotor. Jurnal Universitas Tanjungpura 2013. Available at: <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/10457/10104>.
- Dewanto B, Purwasmita BS, Nuruddin A, Daulay AH, Rahardi SS. Pengaruh kitosan terhadap kristalinitas dan morfologi partikel lithium titanat the effect of chitosan on crystallinity and morfology of lithium titanate particle. Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik 2014; 4 (2): 43–46.
- Fiore JM. Operational amplifiers & linear integrated circuits: theory and application / 3E. 2020
- Fitriandi A, Komalasari E, Gusmedi H. Rancang bangun alat monitoring arus dan tegangan berbasis mikrokontroler dengan SMS gateway. Rekayasa dan Teknologi Elektro 2016; 10 (2): 87–98.
Available at: <http://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/download/215/pdf>.
- Franco S. Design with operational amplifiers and analog. The McGraw-Hill Companies. 2016
- Pauzan M. Rancangan alat indikator level tegangan baterai berbasis operational amplifier (Op Amp). Teknokom 2019; 2 (1): 11–16.
- Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia No. 38 tahun 2019 Prioritas Riset Nasional Tahun 2020-2024, 18 Oktober 2019, Jakarta
- Puspita DF. Pengaruh pemanasan pada proses pelarutan binder terhadap kinerja katoda pada sel baterai ion-litium. Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik 2017; 7 (1): 23 - 30.
- Puspita DF, Rahardi SS. Homogenitas produksi baterai ion litium berdasarkan varians kapasitas pengisian, kapasitas pelepasan dan efisiensi pengisian-pelepasan. Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik 2016; 6 (1): 35.
- Putra RI, Sunardi S, Puriyanto RD. Monitoring tegangan baterai lithium polymer pada robot line follower secara nirkabel. Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro 2019; 1 (2): 73 - 81.
- Rahardi SS. Kajian aplikasi bahan dengan konduktivitas listrik tinggi untuk meningkatkan unjuk kerja baterai ion litium. Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik 2017; 7 (1): 31 - 42.
- Suryono E. Fabrikasi lithium iron phosphate carbon sebagai material katoda baterai lithium ion. Universitas Sebelas Maret. Thesis, 2015
- Travis B. Operational amplifiers. 1985
- Warner J. Battery management system controls. The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design 2015; 91–101.
Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128014561000087>.
- Yahya N. B4T power house sebagai implementasi teknologi sistem baterai ion litium. In A. I. Sultoni et al., eds. Prosiding Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi Industri 2018. Surabaya, Indonesia: Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya. 2019: 126–130.
- Zubi G, Dufo-Lopez R, Carvalho M, Pasaoglu G. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018; 89(April 2017): 292–308.



Lembar Tanya Jawab

Moderator : M. Maulana Azimatun Nur (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah perangkat yang dibuat pada penelitian ini pernah diuji coba pada kondisi saat baterai digunakan?
Jawaban : Peralatan yang dikembangkan di sini masih berupa *prototype*, sehingga saat ini belum dilakukan pengujian yang dimaksud. Namun, berdasarkan hipotesis, peralatan ini akan tetap valid pada saat kondisi baterai digunakan.