

RANCANG BANGUN *BATTERY MANAGEMENT SYSTEM* UNTUK MOBIL LISTRIK

Hasyim Abdullah¹⁾, Muhammad Fanriadho²⁾,
Wahyudi Budi Pramono¹⁾, Yusuf Azis Amrullah¹⁾

¹Electrical Engineering Universitas Islam Indonesia D.I.Yogyakarta, Indonesia

²Ulil Albab Startup Center, D.I.Yogyakarta, Indonesia

Email : 14524026@students.uui.ac.id

Abstract

Battery Management System (BMS) adalah sebuah alat pemantau baterai yang terpasang pada perangkat elektrik, yang menggunakan baterai sebagai sumber dayanya. Pada mobil listrik, pemasangan BMS bertujuan untuk melindungi baterai agar umur baterai menjadi lebih awet dan tahan lama. Secara umum BMS mempunyai dua fungsi utama, yaitu controlling dan monitoring energy. Pada penelitian ini BMS difokuskan pada fungsi monitoring energy dengan menerapkan fitur monitoring tegangan dan arus, sistem pemutus rangkaian charging, serta sistem antar muka serial monitor dan LCD 16x2 yang terpasang pada bagian dasbor mobil, sehingga seorang pengendara dapat mengetahui kapasitas baterai yang tersedia pada mobil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fitur BMS dapat berfungsi secara baik dengan tingkat kepresisian mencapai 97%.

Kata kunci : mobil listrik, battery management system

Pendahuluan

Sistem transportasi pada era digital ini semakin tumbuh dengan pesat, namun emisi gas buang dari kendaraan yang berbahan bakar fosil menjadi permasalahan utama [1]. Riset dari WHO mengatakan bahwa emisi gas buang dari kendaraan berbahan bakar fosil ini bertanggung jawab atas kematian manusia yang jumlahnya mencapai tujuh juta jiwa per tahunnya [2].

Mobil listrik adalah salah satu solusi yang tepat untuk menyikapi masalah emisi karbon. Mobil listrik tidak menggunakan mesin konvensional bersilinder yang memakai bahan bakar minyak, tetapi mobil ini menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama. Selain motor listrik, mobil ini mempunyai sebuah baterai sebagai catu daya dan jenis baterai yang sering digunakan adalah jenis baterai lithium-ion [3]. Sebuah baterai jika tidak dipantau kondisi pemakaiannya akan mengakibatkan kerusakan pada baterai itu sendiri seperti baterai cepat panas, bocor, dan melembung. Terlebih sampai saat ini baterai lithium-ion harganya masih relatif mahal [4]. Dari berbagai masalah kerusakan baterai tersebut, sangat diperlukan sebuah alat untuk memantau kondisi baterai pada mobil listrik.

Battery Management System (BMS) adalah alat yang tepat terkait pemantauan kondisi baterai pada mobil listrik.. Pada tahap sebelumnya BMS sudah dibuat, namun masih terdapat beberapa kekurangan dan hanya terdapat satu fitur saja yaitu pemantauan tegangan pada baterai dan masih terdapat eror atau kurang presisi dalam pembacaan.

Pembaruan BMS merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut, BMS pada pembuatan kali ini difokuskan pada fungsi *monitoring energy* dengan menerapkan fitur *monitoring* tegangan dan arus, sistem pemutus rangkaian *charging*, serta sistem antar muka serial monitor dan LCD 16x2 yang terpasang pada bagian dasbor mobil, sehingga seorang pengendara dapat mengetahui kapasitas baterai yang tersedia pada Mobil Listrik. Kedepan BMS ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk *monitoring* semua perangkat yang berkaitan dengan baterai atau sumber energi alternatif lain seperti Sel Surya ataupun Turbin Angin. Rancang Bangun *Battery Management Sistem* untuk Mobil Listrik ini diharapkan dapat memberikan tambahan wawasan terkait pemantauan sistem kelistrikan pada baterai mobil listrik.

Metodologi

Metode yang digunakan dalam kegiatan ini adalah metode desain partisipatori. Desain partisipatori adalah sebuah pendekatan untuk penilaian, desain, dan pengembangan sistem teknologi dan organisasi. Tujuan dari desain partisipatori adalah untuk mendorong keterlibatan aktif dari pengguna, inventor dan profesional dalam desain dan proses pengambilan keputusan [5]. Perancangan pelaksanaan kegiatan ini menggunakan filosofi Kaizen, yang meliputi tahap *plan-do-check-action* (perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan tindakan).

Plan (Perencanaan)

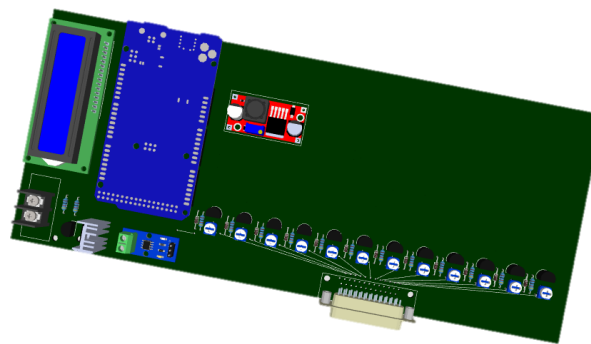
Pada tahap pertama, perencanaan adalah hal yang paling awal untuk dilakukan. Pada tahapan ini, riset dan perhitungan dilakukan untuk mendapatkan data yang tepat. Kemudian data digunakan untuk pengembangan prototipe serta fiturnya.

Desain produk dirancang dengan mempertimbangkan beberapa aspek yaitu identifikasi kebutuhan pengguna, pengembangan fungsi dan kualitas, kemudahan untuk diproduksi dari segi manufaktur, dan manajemen biaya.

Penentuan Alat dan bahan menggunakan beberapa komponen elektronika dan komponen mekanis pada umumnya. Simulasi alat pada desain yang sudah dibuat, disimulasikan melalui beberapa perangkat lunak pembantu seperti Proteus, Life Wire, dan Solid Work.

Do (Pelaksanaan)

Pada tahap pembuatan prototipe, desain yang sudah dirancang kemudian dirakit sesuai urutan dengan menggunakan alat dan bahan yang sudah tersedia. Pembuatan alat diawali dengan membuat kompartemen baterai atau tempat untuk memasang baterai, dengan menggunakan bahan akrilik. Setelah itu dilakukan pengerjaan komponen elektris berupa pemasangan mosfet, sensor arus, dan lcd 16x2 yang telah diprogram dengan mikrokontroler arduino mega. Setelah komponen mekanik dan elektrik selesai dikerjakan, tahapan selanjutnya adalah melakukan penggabungan setiap komponen baik mekanik maupun elektrik serta dilakukan tahapan *finishing* untuk mempercantik alat. Adapun untuk desain BMS diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. 3D view render BMS

Setelah pembuatan prototipe selesai, alat tersebut di ujicoba pada mobil listrik kaliurang unisi generasi 3.1. Adapun aspek yang menjadi pertimbangan saat pengujian adalah:

- Pembacaan tegangan dan arus dengan eror maksimal 5%.
- Sistem *cut-off* pada mosfet.
- Kejelasan visualisasi *interface to driver*.

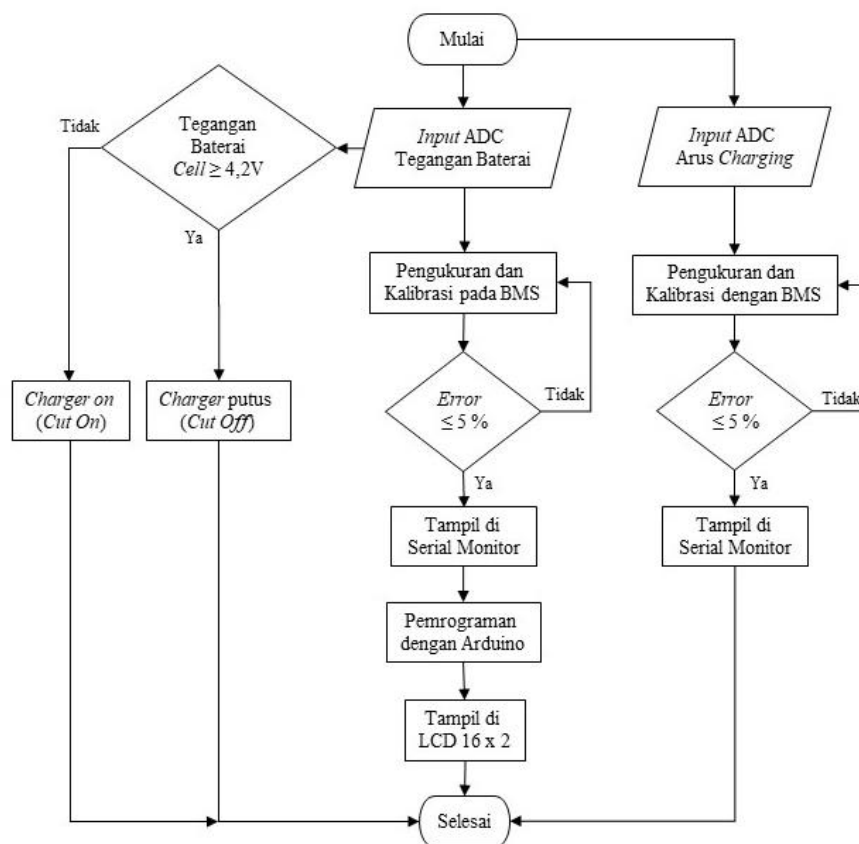
Check (Evaluasi)

Setelah tahapan *Do* selesai dilakukan, tahapan selanjutnya adalah pengecekan atau evaluasi terkait kinerja dari BMS. Adapun tahapan alur pengujian dilakukan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Action (Tindakan ke depan)

Adanya evaluasi dari respon pengguna dan hasil uji coba, menjadikan tahapan penyempurnaan produk BMS dapat dilakukan dengan baik sebelum masuk ke tahapan pendaftaran hak cipta & paten serta proses pra produksi.

Jika sudah diberlakukannya tindakan pada *error and failure* yang ditemukan di tahap evaluasi dan sudah dilakukan proses pengujian ulang, kemudian dilakukan pendaftaran hak paten atas produk BMS tersebut.

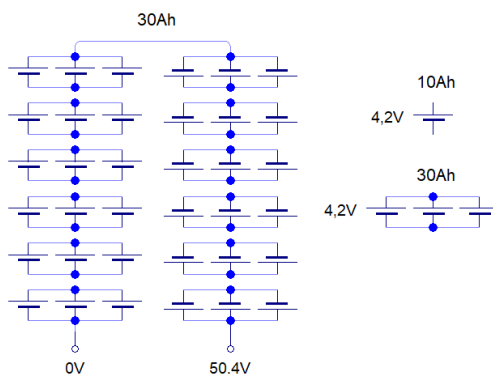


Gambar 2. Diagram Alur Pengujian BMS

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Pembacaan Tegangan

Pada pengujian pembacaan nilai tegangan pada kompartemen baterai, nilai tegangan yang diukur adalah nilai tegangan per *cell*. Satu kompartemen terdiri dari 36 buah baterai yang dipasang seri-paralel sehingga terbentuk menjadi 12 *cell* baterai. Satu buah baterai lithium mempunyai spesifikasi kapasitas tegangan pakai sebesar 3,7V sampai 4,2V dengan nilai hantar arus adalah 10Ah. Sehingga nilai tegangan pakai untuk satu kompartemen baterai adalah 44,4V sampai 50,4V (*full charge*) dengan nilai hantar arus adalah 30 Ah. Skema penyusunan kompartemen baterai tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema penyusunan kompartemen baterai

Pembacaan *Analog to Digital* dan Pembagi Tegangan

Keluaran tegangan per *cell* yang mempunyai sifat *analog* menjadi masukan pada *Analog to Digital* (ADC) pada Arduino dan diolah agar menjadi nilai keluaran yang mempunyai sifat digital pada serial monitor dan juga antar muka pengendara melalui penampil LCD 16x2. Adanya perbedaan nilai tegangan per *cell* pada baterai, mengharuskan adanya rangkaian pembagi tegangan pada BMS, hal ini bertujuan untuk menyamakan nilai tegangan masukan pada Arduino yang hanya sebesar 5V. Pada konsep pembagi tegangan ini, BMS menggunakan 12 *variable resistor* yang mempunyai nilai hambatan maksimal 10.000 ohm. Untuk nilai ADC terukur dan nilai hambatan *variable resistor* yang sudah diatur tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar nilai tegangan, hambatan, dan ADC

Nomor Cell	Nilai Tegangan (Volt)	Nilai Tegangan per Cell (Volt) (cell atas - cell bawah)	Nilai Hambatan (Ohm)	Nilai ADC
0	47,36	3,96	9,46 K	783
1	43,4	3,96	8,57 K	825
2	39,44	3,96	8,55 K	816
3	35,48	3,86	9,18 K	842
4	31,62	3,96	8,35 K	850
5	27,66	3,96	7,88 K	830
6	23,7	3,95	8,15 K	855
7	19,75	3,96	8,19 K	837
8	15,79	3,95	6,57 K	866
9	11,84	3,96	5,98 K	604
10	7,88	3,93	3,71 K	786
11	3,95	3,95	11,7	683

Kalibrasi dan Perhitungan ADC

Setelah nilai ADC diketahui, nilai tersebut menjadi data masukan pada Arduino yang nantinya dimasukan sebuah program perhitungan dengan memakai bilangan hasil persamaan *regresi linear*. Adapun untuk mencari bilangan tersebut didapat melalui persamaan (1). Untuk perhitungan mencari nilai *Y* disajikan pada Tabel 2.

$$Y = Z/X \dots \dots \dots (1)$$

Y = nilai yang dimasukan pada pemrograman arduino

X = nilai ADC

Z = nilai *Vlinier*

Tabel 2. Perhitungan mencari nilai Y

Nomor Cell	Z <i>Vliniear</i>	X Nilai ADC	$Y = Z/X$
0	47,36	783	0,060485313
1	43,4	825	0,052606061
2	39,44	816	0,048333333
3	35,48	842	0,042137767
4	31,62	850	0,0372
5	27,66	830	0,033325301
6	23,7	855	0,027719298
7	19,75	837	0,023596177
8	15,79	866	0,018233256
9	11,84	604	0,019602649
10	7,88	786	0,010025445
11	3,95	683	0,005783309

Penampilan *Outoput* Nilai Tegangan pada Serial Monitor

Setelah melakukan pengukuran, perhitungan, dan pemrograman maka bisa didapat hasil pada serial monitor seperti pada Gambar 4.

COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

Arus	pin11	pin10	pin9	pin8	pin7	pin6	pin5	pin4	pin3	pin2	pin1	pin0
0.00	4.12	4.12	4.14	4.08	4.16	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.11	4.14	4.06	4.18	4.19	4.09	4.26	3.95	3.99	4.53	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.09	4.26	3.95	4.04	4.48	3.81
0.00	4.13	4.11	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.19	3.99	4.23	4.03	4.07
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.08	4.02
0.00	4.13	4.11	4.14	4.08	4.16	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.75
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.08	4.16	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.75
0.00	4.12	4.11	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	4.00	4.19	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	4.00	4.19	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.08	4.12	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.07	4.18	4.06	4.13	4.23	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.13	4.11	4.09	4.11	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.47
0.00	4.12	4.12	4.14	4.06	4.18	4.19	4.12	4.23	3.95	4.23	4.29	3.81

☐ Autoscroll
 ☐ Show timestamp
 Newline

Gambar 4. Tampilan Serial Monitor Tegangan

Perbandingan Nilai Kesalahan (% Error)

Pada pengujian kali ini, nilai kesalahan yang diijinkan adalah maksimal 5%. Pada percobaan awal, mengalami beberapa kali kesalahan yang melebihi nilai 5%, salah satunya adalah yang tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Error Awal

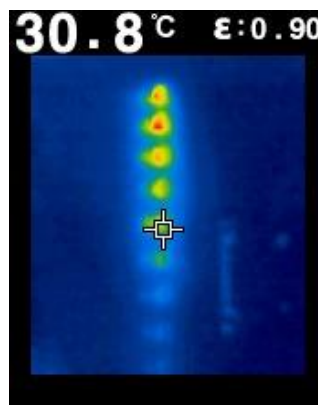
Nama Cell	Cell 11	Cell 10	Cell 9	Cell 8	Cell 7	Cell 6	Cell 5	Cell 4	Cell 3	Cell 2	Cell 1	Cell 0
Pembacaan antar Cell BMS SAKTI+ (V)	3,88	4	3,86	3,63	4,23	4,12	3,96	3,96	3,82	3,95	3,96	3,95
Pengukuran Tegangan antar cell (V)	3,94	3,92	3,96	3,96	3,96	3,95	3,96	3,96	3,86	3,96	3,96	3,96
error (V)	0,06	0,08	0,1	0,33	0,27	0,17	0	0	0,04	0,01	0	0,01
%error	2%	2%	3%	8%	7%	4%	0%	0%	1%	0%	0%	0%

Adanya tingkat error yang melebihi nilai 5% pada tampilan serial monitor BMS, mengharuskan BMS untuk dikalibrasi serta dilakukan perhitungan dari awal hingga menemukan persen error dibawah 5%.

Tabel 4. Perbandingan Error Akhir

Nama Cell	Cell 11	Cell 10	Cell 9	Cell 8	Cell 7	Cell 6	Cell 5	Cell 4	Cell 3	Cell 2	Cell 1	Cell 0
Pembacaan antar Cell BMS SAKTI+ (V)	4,14	4,13	4,15	4,07	4,19	4,16	4,12	4,23	4,08	4,15	4,29	4,1
Pengukuran Tegangan antar cell (V)	4,15	4,11	4,17	4,17	4,16	4,16	4,17	4,16	4,08	4,18	4,18	4,19
error (V)	0,01	0,02	0,02	0,1	0,03	0	0,05	0,07	0	0,03	0,11	0,09
%error	0%	0%	0%	2%	1%	0%	1%	2%	0%	1%	3%	2%

Pada proses pencarian hasil nilai terbaik pada Tabel 4. Tersebut, ditemukan adanya panas berlebih pada *variable resistor* pada Cell 0, Cell 1, dan Cell 2 yang tertera pada Gambar 5. Hal ini dikarenakan nilai tegangan terhadap *ground* yang paling tinggi berada pada Cell 0. Dengan nilai resistansi yang sama, namun nilai tegangan yang lebih besar, hal ini membuat nilai arus meningkat dan menyebabkan panas pada *variable resistor*. Adanya panas pada *variable resistor* membuat nilai toleransi berubah-ubah sehingga nilai persen error bisa menjadi tinggi.

Gambar 5. Tampilan sensor *thermal imaging*

Pengujian Pembacaan Arus.

Pembacaan arus pada BMS menggunakan sensor ACS 712. Arus yang dibaca adalah arus pada saat proses pengisian daya. Hal ini bertujuan untuk menghindari arus lebih pada saat pengisian. Arus pada saat *discharging* atau pada saat baterai menyuplai daya ke motor, nilai tidak dapat diukur

karena nilai arus terlalu besar untuk skala ukur sensor ACS 712. Adapun pengujian pembacaan arus terbagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama menggunakan *charging* baterai mobil listrik dan yang kedua menggunakan *power supply*. Adapun hasil pembacaan tersaji pada Tabel 5. dan Tabel 6.

Tabel 5. Data Perbandingan Nilai Arus *Charging* Mobil Listrik

No	BMS (A)	MULTI (A)	Error (A)	Error (%)
1	7,08	7,02	0,06	1%
2	7,01	6,91	0,1	1%
3	7,01	6,97	0,04	1%
4	7,02	6,94	0,08	1%
5	6,99	6,85	0,14	2%
6	6,88	6,82	0,06	1%
7	6,82	6,79	0,03	0%
8	6,83	6,77	0,06	1%
9	6,77	6,63	0,14	2%
10	6,86	6,81	0,05	1%
11	6,77	6,73	0,04	1%

Pada proses pengambilan data arus kali ini menggunakan *charger* mobil listrik. *Charger* yang mempunyai nilai hantar arus sampai 15A, sehingga pada saat pengisian nilai arus mulai menurun yang berarti baterai sudah terisi. Pada pengujian kali ini nilai eror tidak melebihi batas 5%, sehingga dapat dikatakan berhasil.

Tabel 6. Data Perbandingan Nilai Arus *Charging Power Supply*

No	BMS (A)	POWER SUPPLY (A)	Error (A)	Error (%)
1	0,97	1	0,03	3%
2	0,97	1	0,03	3%
3	0,97	1	0,03	3%
4	0,97	1	0,03	3%
5	0,97	1	0,03	3%

Pada proses pengambilan data arus kedua menggunakan *power supply*. Arus dikondisikan pada nilai 1 A karena kondisi baterai yang masih mempunyai kapasitas penuh, sehingga ketika nilai arus diatas 1 A, maka baterai akan cepat penuh dan pengambilan data akan terhambat. Karena *power supply* mempunyai nilai arus yang stabil, maka dalam pengambilan data nilai arus bersifat konstan. Pada pengujian kali ini nilai eror tidak melebihi batas 5%, sehingga dapat dikatakan berhasil.

Pembacaan, Kalibrasi, dan Perhitungan ADC

Nilai arus yang sudah terbaca lalu kalibrasi dengan menggunakan metode regresi linier agar nilai tersebut sesuai dengan nilai yang ada pada alat ukur. Tampilan serial monitor nilai arus tersaji pada Gambar 6.

COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

Arus	pin11	pin10	pin9	pin8	pin7	pin6	pin5	pin4	pin3	pin2	pin1	pin0	
99	0.09	4.14	4.12	4.15	4.05	4.19	4.22	4.10	4.20	4.00	4.19	4.34	3.98
98	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.05	4.11	4.24	4.35	3.93
97	-0.01	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.35	3.93
97	-0.01	4.15	4.11	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.35	3.93
98	-0.06	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.19	4.40	3.93
97	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.30	3.93
97	0.04	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.30	3.98
97	-0.01	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.10	4.20	4.00	4.24	4.35	3.87
97	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.35	3.93
98	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.19	4.40	3.93
98	0.04	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.10	4.20	4.00	4.24	4.35	3.93
98	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.20	3.96	4.24	4.35	3.93
97	0.04	4.15	4.11	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.35	3.93
97	0.04	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.35	3.87
97	-0.01	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.24	4.04
98	0.04	4.15	4.12	4.15	4.07	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.35	3.93
97	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.10	4.16	4.04	4.24	4.35	3.93
97	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.10	4.20	4.00	4.24	4.30	3.98
97	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.20	3.96	4.24	4.35	3.93
98	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.30	3.93
98	-0.06	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.13	4.16	4.00	4.24	4.35	3.93
97	0.04	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.10	4.20	4.00	4.24	4.35	3.93
97	-0.01	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.10	4.20	4.00	4.24	4.30	3.98
98	-0.06	4.15	4.12	4.16	4.06	4.17	4.22	4.10	4.20	4.00	4.24	4.35	3.93

Gambar 6. Tampilan pembacaan nilai Arus pada Serial Monitor

Pengujian Sistem *Cut-Off*

Sistem *Cut-Off* atau pemutus rangkaian saat *charging* bertujuan untuk melindungi baterai dari tegangan lebih. Permasalahan yang sering ditemui adalah banyaknya baterai yang melembung karena terlalu lama saat mengisi (*over charge*). Sistem ini awalnya menggunakan *relay* sebagai saklar pemutus, namun pada akhirnya pada BMS ini menggunakan Mosfet sebagai saklar pemutus karena sistem kerjanya yang lebih baik dari pada *relay*. Sistem pemutus rangkain ini diprogram pada nilai *cutoff* 4.2 Volt. Ketika kondisi salah satu baterai menunjukkan nilai 4.2 Volt, mosfet sesuai sistem langsung *mcut-off* rangkaian. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Kondisi Baterai Penuh

COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

98	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.09	4.20	4.04	4.23	4.43	3.85
98	-0.00	4.33	4.04	4.16	4.11	4.23	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.38	3.91
115	0.92	4.22	4.09	4.16	4.07	4.18	4.23	4.15	4.17	3.97	4.25	4.41	3.77
98	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.29	4.15	4.16	4.04	4.23	4.38	3.91
115	0.92	4.22	4.09	4.16	4.07	4.18	4.23	4.15	4.17	3.97	4.25	4.41	3.77
98	0.05	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.38	3.91
115	0.86	4.19	4.12	4.16	4.07	4.18	4.26	4.12	4.17	3.97	4.25	4.41	3.77
98	0.05	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.22	4.06
115	0.92	4.22	4.09	4.16	4.03	4.22	4.23	4.15	4.17	3.97	4.10	4.55	3.77
99	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.10	4.21	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.38	3.91
115	0.92	4.22	4.09	4.16	4.07	4.18	4.26	4.09	4.21	3.97	4.20	4.46	3.77
98	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.10	4.21	4.32	4.12	4.16	3.91	4.36	4.38	3.91
115	0.92	4.22	4.09	4.16	4.07	4.18	4.26	4.12	4.17	3.97	4.10	4.55	3.77
98	0.05	4.33	4.04	4.18	4.10	4.21	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.43	3.85
98	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.10	4.21	4.32	4.09	4.20	4.04	4.23	4.38	3.91
114	0.92	4.20	4.10	4.16	4.07	4.18	4.26	4.12	4.17	4.01	4.20	4.41	3.83
99	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.10	4.21	4.29	4.15	4.16	4.04	4.23	4.43	3.85
98	0.05	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.20	4.00	4.23	4.43	3.85
99	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.10	4.21	4.32	4.12	4.12	4.08	4.23	4.43	3.85
99	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.38	3.91
115	0.92	4.22	4.09	4.16	4.07	4.18	4.26	4.12	4.17	4.01	4.20	4.41	3.83
98	0.05	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.38	3.91
116	0.86	4.22	4.09	4.16	4.07	4.18	4.26	4.12	4.17	3.84	4.38	4.41	3.43
99	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.43	3.85
99	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.29	4.15	4.20	4.00	4.23	4.43	3.80
98	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.02	4.29	4.32	3.99	4.34	4.00	4.23	4.43	3.85
99	-0.00	4.32	4.05	4.18	4.08	4.23	4.32	4.09	4.23	4.00	4.23	4.43	3.85
98	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.16	4.08	4.18	4.43	3.85
97	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.10	4.21	4.32	4.12	4.16	4.04	4.08	4.58	3.85
99	-0.00	4.33	4.04	4.18	4.08	4.23	4.32	4.12	4.16	4.04	4.23	4.43	3.85

Gambar 8. Serial Monitor Sistem *Cut-Off***Pengujian Sistem *Interface to Driver*.**

Sistem *Interface to Driver* bertujuan untuk mengkomunikasikan nilai tegangan yang tersedia kepada pengendara, agar pengendara mengetahui nilai kapasitas tegangan yang tersisa. Sistem antarmuka menggunakan LCD 16x2 yang dipasang pada dasbor mobil.

Antar Muka LCD 16x2

Pada pengujian pembacaan tegangan 3.1 nilai tegangan per *cell* yang terukur dijumlahkan melalui program agar mendapat nilai tegangan total. Nilai tegangan total ini yang akan ditampilkan pada LCD 16x2 beserta nilai persen tegangan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan nilai tegangan terukur dan tegangan penampil LCD 16x2

Perbandingan Nilai Kesalahan (% Error)

Pada pengujian kali ini, nilai kesalahan yang diijinkan adalah maksimal 5%. Dilihat dari data yang tertera, nilai kesalahan pada sistem antar muka LCD 16x2 dapat dikategorikan aman, karena tingkat eror tidak lebih dari 5%. Adapun data perbandingan nilai kesalahan (% Error) pada LCD 16x2 tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Nilai Kesalahan Antar Muka LCD 16x2

Data	BMS (V)	Multi (V)	Selisih nilai Tegangan (V)	Error (%)	Baterai dalam (%)	Perhitungan dalam (%)	Error Baterai dalam (%)
1	49,6	49,82	0,22	0%	90	90	0
2	49,6	49,82	0,22	0%	90	90	0
3	49,6	49,81	0,21	0%	90	90	0
4	49,5	49,8	0,3	1%	88	88	0
5	49,5	49,79	0,29	1%	88	88	0
6	49,4	49,78	0,38	1%	86	86	0
7	49,4	49,77	0,37	1%	86	86	0
8	49,4	49,77	0,37	1%	86	86	0
9	49,4	49,75	0,35	1%	86	86	0

Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. *Battery Management System* yang dibuat mempunyai kelebihan jika dibanding dengan *Battery Management System* sebelumnya.
2. Error maksimal pada pembacaan nilai ukur tegangan adalah 3%.
3. Error maksimal pada pembacaan nilai ukur arus adalah 3%.
4. Sistem pemutus rangkaian berhasil bekerja pada nilai yang telah dikondisikan dengan nilai 4.2 V.
5. Sistem antar muka pada pengendara berhasil ditampilkan melalui LCD 16x2 dengan nilai error maksimal 1%.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Universitas Islam Indonesia yang telah membiayai pelaksanaan kegiatan ini.

Daftar Pustaka

- [1] B. Wahono, A. Nur, A. Praptijanto, W. B. Santoso, S. Suherman, and Z. Lu, "Fuel consumption and CO2 emission investigation of range extender with diesel and gasoline engine," *J. Mechatronics, Electr. Power, Veh. Technol.*, vol. 7, no. 2, p. 87, 2016.
- [2] WHO. (2014, May 13, 2015). Global Health Observatory Data Reporting 2014. Available: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>
- [3] N. Natkunarajah, M. Scharf, and P. Scharf, "Scenarios for the return of lithium-ion batteries out of electric cars for recycling," *Procedia CIRP*, vol. 29, pp. 740–745, 2015.
- [4] T. P. Narins, "The Extractive Industries and Society The battery business : Lithium availability and the growth of the global electric car industry," *Extr. Ind. Soc.*, vol. 4, no. 2, pp. 321–328, 2017.
- [5] F. Kensing and J. Blomberg, "Participatory Design: Issues and Concerns," *Comput. Support. Coop. Work*, vol. 7, no. 3–4, pp. 167–185, 1998.