

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING DAN MANAJEMEN BATERAI PADA KENDARAAN LISTRIK

IMPLEMENTATION MONITORING AND MANAGEMENT BATTERY SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES

Rifqi Amir Hamzah¹, Angga Rusdinar², Ramdhan Nugraha³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹rifqiamir@students.telkomuniversity.ac.id, ²anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id,

³ramdhannugraha.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sumber energi merupakan komponen utama yang terpenting dan perlu diperhatikan dalam semua sistem kendaraan. Kendaraan listrik yang sumber energinya merupakan energi listrik yang berasal dari baterai. Pengetahuan tentang karakteristik baterai menjadi faktor penting dalam kinerja sistem kendaraan listrik. Perlunya pemantauan dan pengaturan yang baik agar tidak terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan.

Pada tugas akhir ini dirancang sistem pemantauan secara real-time dan manajemen pengisian baterai. Monitoring dengan metode serial menggunakan modul Bluetooth yang akan ditampilkan di Microsoft Visual Basic sebagai perangkat interfacenya. Manajemen pengisian menggunakan buck-boost converter yang menerima acuan kontrol dari komponen switching yang dikontrol oleh mikrokontroler. Buck-boost juga menerima input dari penyearah 3-Fasa untuk melakukan pengereman regeneratif. Pengereman regeneratif dilakukan dengan memanfaatkan sisa putaran motor BLDC saat pedal gas dilepas.

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah sistem mampu melakukan monitoring dan menyimpan data tersebut secara real-time dengan rentang waktu per satu detik. Buck-boost Converter mampu melakukan konversi tegangan sesuai dengan perancangan dengan arus tidak melebihi 0,2A pada buck converter dan 0,5A pada boost converter sebagai batas arus optimal. Pengereman regeneratif mampu mentransfer energi sebesar 20,30 Watt dan efisiensi tertingginya 88,51%.

Kata Kunci : Baterai, Monitoring, Manajemen, Buck, Boost, Regeneratif.

Abstracts

Energy sources are the main component of the most important and need to be considered in all vehicle systems. Electric vehicles whose energy source is electrical energy derived from batteries. Knowledge of battery characteristics becomes an important factor in the performance of electric vehicle systems. The need for good monitoring and arrangement to avoid the occurrence of things that are not desirable.

At this final task will design a real time battery monitoring and charging management system. Monitoring by serial method using Bluetooth will displayed in Microsoft Visual Basic as interfacial device. Charging management using a buck-boost converter which receives control reference from switching components controlled by microcontroller. Buck-boost also accepts input from a 3-Phase rectifier for regenerative braking. Regenerative braking by utilizing remaining rotation of the BLDC motor when the pedal is removed.

The results obtained from this research is a system capable of monitoring and storing data in real time with span of time per second. Buck - boost converter can convert voltage according to design with current not exceeding 0,2A on buck and 0,5A on boost as optimal limit. Regenerative braking capable of transfer energy of 20,30 Watt and the highest efficiency 88,51%.

Keywords : Battery, Monitor, Management, Buck, Boost, Regenerative.

1. Pendahuluan

Kendaraan listrik adalah kendaraan yang menggunakan satu atau lebih motor listrik sebagai tenaga penggeraknya dengan energi listrik sebagai energi utamanya. Isu mengenai pemanasan global akibat emisi karbon yang kian masif dan polusi udara, seakan mendukung perlunya kehadiran mobil listrik sebagai transportasi alternatif yang layak digunakan dalam kehidupan sehari-hari menggantikan posisi mobil berbahan

bakar minyak. Komponen utama yang terpenting dan perlu diperhatikan adalah sumber energi listrik. Baterai adalah salah satu sumber energi listrik-kimiawi yang menyimpan energi dan mengeluarkan tenaganya berupa energi listrik. Penggunaannya yang semakin meningkat didunia terutama dibidang otomotif yang digunakan sebagai perangkat penyimpan listrik sejalan dengan semakin meningkatnya produksi otomotif itu sendiri.

Baterai lead-acid atau baterai timbal merupakan salah satu yang banyak digunakan sebagai perangkat kimia untuk penyimpan energi listrik. Pemantauan atau monitor yang tepat dan real-time juga merupakan hal yang penting agar optimalisasi berkendara tercapai serta penggunaan energi dapat dikonsumsi secara efektif dan efisien. Monitor yang perlu diperhatikan adalah ketika pengisian dan pengosongan baterai serta estimasi sisa energinya sebagai acuan konsumsi energi baterai tersebut. Pengetahuan tentang karakteristik baterai menjadi faktor penting dalam kinerja sistem kendaraan listrik. Banyak parameter yang perlu diperhatikan dalam pengisian baterai seperti tegangan dan arus. Pengaturan atau manajemen juga diperlukan untuk pengisian baterai yang optimal dan baterai terawat, awet serta optimal dalam penggunaannya. Manajemen baterai berfungsi sebagai pengatur rangkaian agar baterai dapat dicharger dengan optimal.

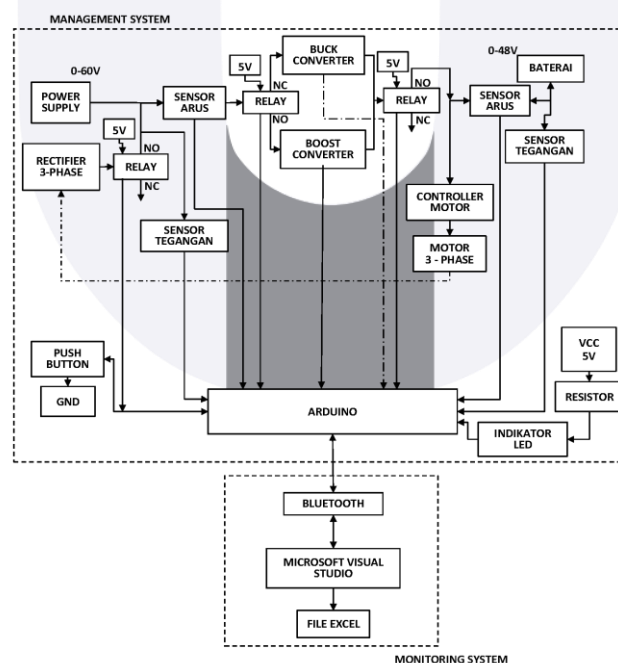
Pada Tugas Akhir ini akan dirancang sistem monitoring dan manajemen baterai untuk kendaraan listrik. Tiap-tiap baterai pada kendaraan listrik akan diambil beberapa data berupa arus dan tegangan. Data dari sensor akan diproses dan dibandingkan oleh mikrokontroler berupa Arduino. Dengan begitu, metode charger dapat mudah digunakan tanpa perlu melepas baterai dari kendaraannya. Hanya plug in charger pada alat ini, maka mikrokontroler akan otomatis akan memberikan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) kepada buck-boost converter, agar output tegangan sesuai dengan jumlah tegangan baterai yang disambungkan. Manajemen charger baterai ini juga juga menerima input tegangan dari penyearah 3-fasa sebagai pengereman regeneratif.

2. Dasar Teori

2.1. Perancangan Sistem

Desain sistem atau perancangan sistem adalah merancang atau mendesain suatu sistem yang baik, yang terdiri dari langkah-langkah operasi dalam proses pengolahan data dan prosedur untuk mendukung operasi sistem. Desain ini digunakan sebagai acuan gambaran umum sistem atau mendefinisikan cara kerja sistem secara singkat dan umum. Perancangan ini terdiri dari diagram blok serta fungsi dan fitur.

2.1.1. Perancangan Sistem Perangkat Keras

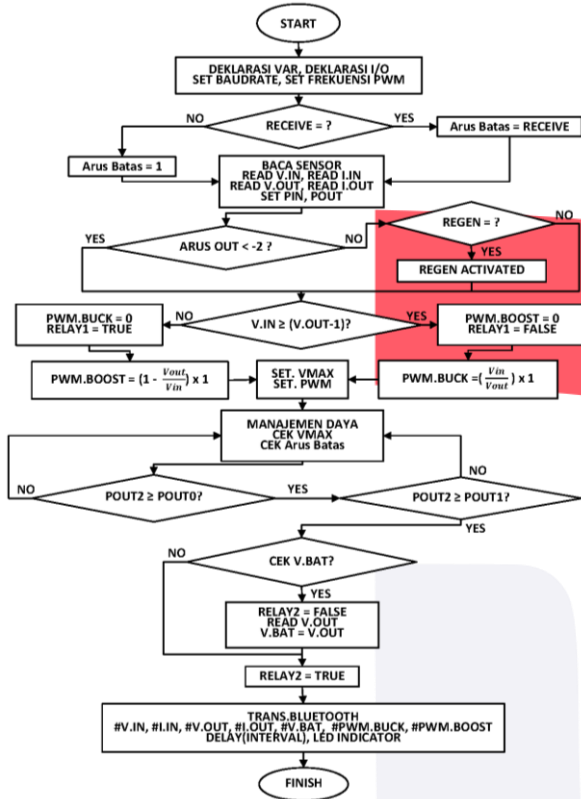


Gambar 1. Diagram Alir Sistem

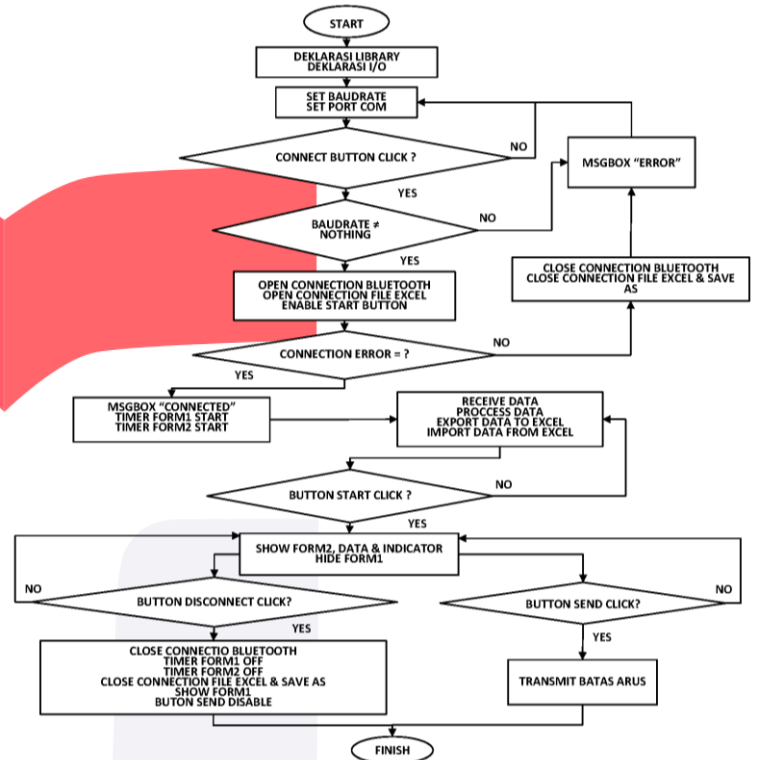
Sistem ini merupakan sistem kontrol tegangan output sesuai duty-cycle pada komponen switchingnya, input yang diberikan yaitu berasal dari power supply atau Motor BLDC yang di konversi sesuai dengan tegangan beban atau baterai. Buck-boost converter berperan sebagai konverter atau pengatur tegangan masukan dari power supply. Pada buck-boost converter kita memerlukan masukan PWM (Pulse Width Modulation) dari mikrokontroler agar dapat mengaktifkan MOSFET atau Transistor sebagai saklar on/off pada buck-boost converter.

2.1.2. Perancangan Sistem Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak sistem manajemen baterai ditulis menggunakan bahasa pemrograman Arduino, yaitu bahasa C yang meliputi pembuatan PWM, sensor arus, sensor tegangan dan pemrograman algoritma manajemen charging baterai. Dalam pemrograman manajemen baterai menggunakan sistem manajemen daya sebagai tracking arus optimal yang tidak melebihi arus batas. Duty-cycle juga bervariasi tergantung manajemen daya melakukan trackingnya.



Gambar 2. Flowchar Sistem Manajemen Baterai

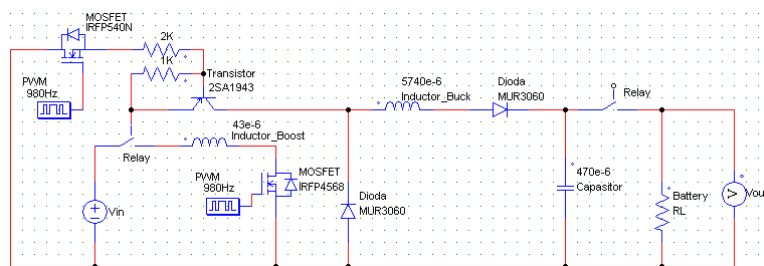


Gambar 3. Flowchart Sistem Monitoring Baterai

Perancangan perangkat lunak sistem monitoring baterai menggunakan program Microsoft Visual Studio dengan bahasa Visual Basic NET. Visual Studio menerima data dari arduino melalui komunikasi serial dengan menggunakan modul Bluetooth. Data yang dikirim berupa tegangan, arus dan PWM diinisialisasi besarnya melalui grafik interface. Monitoring ini akan mempermudah dalam mengetahui proses yang berjalan dan hasil proses tersebut. Target arus yang diinginkan juga dapat diatur dengan interface ini agar proses charging berjalan dengan optimal.

2.2. Buck-Boost Converter

Nilai pada buck converter dan boost converter telah ditentukan maka rangkaian perlu diintegrasikan agar penggunaan komponen yang efisien dan efektif. Timbul beberapa perubahan pada pin output di rangkaian buck converter setelah diintegrasikan., yaitu penambahan dioda MUR3060 yang sebelumnya tidak ada pada rangkaian buck converter. Peletakan dioda pada kaki output sebenarnya terdapat pada rangkaian boost converter, tapi ditambahkan agar tidak ada arus balik pada kaki collector di transistor pada rangkaian buck converter.



Gambar 3. Rangkaian Buck-Boost Converter

2.2.1 Buck Converter

Data parameter untuk mendesain boost converter diantaranya sebagai berikut :

$$V_o \text{ max} = 5 \text{ V} \quad V_{in} \text{ min} = 55 \text{ V} \quad F = 980 \text{ Hz} \quad R = 10 \Omega$$

V_{in} adalah tegangan masukan buck converter yang didapat dari power supply/rectifier 3 fasa. Menentukan duty cycle:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5}{55} = 0,091 \quad (1)$$

Menentukan nilai inductor continous current.

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0,091)10}{2 \times 980} = 4,63 \text{ mH} \quad (2)$$

$$I_L = \frac{V_{out}}{R} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ A} \quad (3)$$

Menentukan nilai kapasitor dengan Ripple = 0,005.

$$C = \frac{(1-D)}{8L (\Delta V_o / V_o) f^2} = \frac{(1-0,091)}{8 \times 0,00463 (0,005) 980^2} = 0,00408 \text{ F} \quad (4)$$

Induktansi minimal dicari agar kita dapat menentukan besar inductor minimal yang dapat dipakai dalam membuat boost converter ini agar arus yang melewati ini agar arus yang melewati inductor tidak melebihi kapasitas inductor. Penggunaan komponen kapasitor pengaruhnya tidak terlalu signifikan karena buck converter digunakan untuk mensuplai tegangan ke baterai yang merupakan penyimpan muatan listrik juga. Driver tambahan diperlukan pada rangkaian buck converter untuk mengontrol arus switching pada transistor di kaki basis berupa MOSFET.^[24]

Nilai dari hasil perhitungan diatas akan digunakan untuk merancang buck converter. Sehingga komponen yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Transistor PNP 2SA1943.
- MOSFET IRFP540N.
- Induktor 5,74 mH.
- Dioda MUR3060.
- Kapasitor 470 μF

2.2.2. Boost Converter

Data parameter untuk mendesain boost converter diantaranya sebagai berikut :

$$V_o \text{ max} = 55 \text{ V} \quad V_{in} \text{ min} = 5 \text{ V} \quad F = 980 \text{ Hz} \quad R = 10 \Omega$$

V_{in} adalah tegangan masukan boost converter yang didapat dari power supply/rectifier 3 fasa. Menentukan duty cycle :

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{5}{55} = 0,909 \quad (5)$$

Menentukan nilai inductor continous current.

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (6)$$

$$L_{min} = \frac{0,909(1-0,909)^2 10}{2 \times 980} = 38,33 \mu\text{H} \quad (7)$$

$$I_L = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 R} = \frac{5}{(1-0,909)^2 10} = 60,5 \text{ A} \quad (8)$$

Menentukan nilai kapasitor dengan Ripple = 0,005.

$$C = \frac{D}{R (\Delta V_o / V_o) f^2} = \frac{(1-0,091)}{10(0,005) 980} = 0,0185 \text{ F} \quad (9)$$

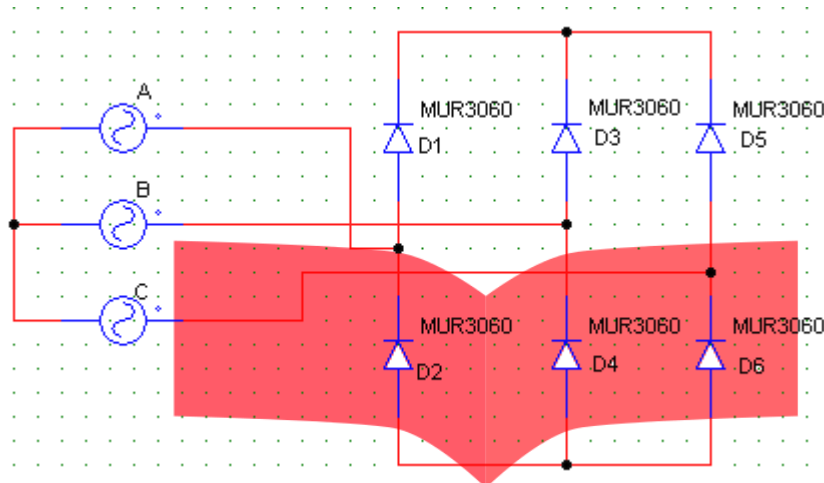
Induktansi minimal dicari agar kita dapat menentukan besar inductor minimal yang dapat dipakai dalam membuat boost converter ini agar arus yang melewati ini agar arus yang melewati inductor tidak melebihi kapasitas inductor. Penggunaan komponen kapasitor pengaruhnya tidak terlalu signifikan karena boost converter digunakan untuk mensuplai tegangan ke baterai yang merupakan penyimpan muatan listrik juga.^[24]

Nilai dari hasil perhitungan diatas akan digunakan untuk merancang boost converter. Sehingga komponen yang digunakan adalah sebagai berikut.

- MOSFET IRFP4568.
- Induktor 43 μ H.
- Dioda MUR3060.
- Kapasitor 470 μ F

2.3. Rectifier 3 Fasa

Penyearah tiga fasa berfungsi untuk mengubah tegangan bolak balik (AC) ke tegangan searah (DC) dengan sumber 3 fasa. Pada tugas akhir ini dirancang penyearah 3 fasa gelombang penuh tak terkendali dengan motor BLDC sebagai sumber 3 fasa agar tegangan DC yang dihasilkan tetap dan halus. Rangkaian penyearah 3 fasa pada Gambar 3.3 ini menggunakan enam buah dioda D1, D3, dan D5 katodanya disatukan sebagai terminal positif. Dioda D2, D4, dan D6 anodanya disatukan sebagai terminal negatif.



Gambar 4. Rangkaian Rectifier 3-Phase

Dalam satu siklus setiap pasangan dioda akan konduksi selama 60° dengan urutan konduksi D1+D6, D1+D4, D3+D2, D3+D6, D5+D2, D5+D4 dan setiap dioda akan konduksi selama 120° dalam satu siklus periode tegangan 3 fasa masukan. Dalam satu siklus gelombang tiga fasa terjadi 6 kali komutasi dari ke enam pasang dioda secara bergantian dan bersamaan.^[24]

2.4. Pengujian dan Analisis

2.4.1 Pengujian Sistem Manajemen Baterai

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem manajemen baterai ini berjalan baik atau sebaliknya. Pengujian ditujukan pada rangkaian *buck-boost converter* yang merupakan penggabungan antara rangkaian *buck converter* dan *boost converter*. Beban yang digunakan pada pengujian kinerja konverter ini adalah Baterai Lead Acid *Rechargeable* 12V 17AH.

Tabel 1. Perolehan Data Pengujian Sistem Manajemen Baterai

Power Supply								
No	Baterai (V)	Vin (V)	I In (A)	Daya in (W)	Vout (V)	I out (A)	Daya out (W)	Eff (%)
1	38,80	8,00	2,20	17,60	38,90	0,42	16,34	92,83
2	39,00	23,10	0,87	20,10	29,70	0,57	16,93	84,24
3	39,00	6,90	1,20	8,28	39,10	0,19	7,43	89,72
4	39,40	45,30	0,21	9,51	39,50	0,21	8,30	87,20
5	39,50	50,50	0,25	12,63	40,60	0,30	12,18	96,48
6	39,60	55,00	0,21	11,55	40,10	0,25	10,03	86,80
7	39,70	65,10	0,23	14,97	41,60	0,29	12,06	80,57
8	39,60	39,20	0,42	16,46	41,80	0,35	14,63	88,86
9	39,30	42,80	0,08	3,42	39,30	0,07	2,75	80,34
10	39,30	59,00	0,18	10,62	41,90	0,20	8,38	78,91

Pada Tabel diatas, dapat diamati perubahan hasil keluaran yang diperoleh ketika input tegangan power supply diubah-ubah. Pengujian dilakukan dengan beban berupa baterai Lead Acid *Rechargeable* 12V 17AH. Sistem telah berhasil melakukan convert tegangan dan beradaptasi dengan input dan beban yang berbeda. Pengujian selanjutnya menggunakan input dari rectifier 3-fasa sebagai pengereman regeneratif untuk disuplai kembali ke baterai.

Tabel 2. Rectifier 3-Fasa pada Sistem Manajemen Baterai

Rectifier 3-Fasa									
No	Baterai (V)	Vin (V)	Iin (A)	Daya in (W)	Vout (V)	I out (A)	Daya out (W)	Eff (%)	Waktu Pengereman (Detik)
1	38,60	10,20	0,89	9,08	38,50	0,21	8,09	89,06	0,30
2	38,60	5,30	1,21	6,41	38,40	0,15	5,76	89,82	0,30
3	38,50	32,30	0,71	22,93	38,30	0,53	20,30	88,51	0,40
4	38,50	11,80	1,26	14,87	38,30	0,37	14,17	95,31	0,30
5	38,40	10,30	1,12	11,54	38,20	0,28	10,70	92,72	0,20
6	38,40	16,10	1,23	19,80	38,20	0,41	15,66	79,09	0,50
7	38,30	7,80	2,83	22,07	38,30	0,42	16,09	72,87	0,60
8	38,30	10,70	0,79	8,45	38,20	0,20	7,64	90,38	0,20
9	38,20	8,70	0,80	6,96	38,20	0,17	6,49	93,30	0,20
10	38,20	12,70	0,35	4,45	38,10	0,11	4,19	94,29	0,20

Dari data diatas dapat kita ketahui bahwa keluaran rectifier 3-fasa berhasil dinaikan tegangannya sesuai dengan beban. Waktu nya pun bervariasi tergantung input tegangan yang masuk. Tanpa rectifier 3-fasa atau tanpa pengereman regeneratif, motor memerlukan waktu 3 detik dari kecepatan penuh ke kondisi diam. Penyearah sudah berhasil diintegrasikan sistem manajemen baterai.

2.4.2. Pengujian Sistem Monitoring Baterai

Pengujian dilakukan agar sistem monitoring baterai mampu diintegrasikan dengan sistem manajemen baterai dan berjalan dengan baik, maka perlu dilakukan pengujian kinerja sistem. Software yang digunakan adalah Microsoft Visual Studio dengan bahasa pemrograman Visual Basic Net.

Tabel 3. Perolehan Data Pengujian dan Perbandingan Sistem Monitoring Baterai

No	Visual Studio						Alat Ukur					
	Vin (V)	Iin (A)	P1in (W)	Vout (V)	Iout (A)	P1out (W)	Vin(V)	Iin (A)	P2in (W)	Vout (V)	Iout (A)	P2out (W)
1	18,20	2,39	43,50	48,98	0,43	21,06	18,16	2,40	43,58	49,52	0,29	14,36
2	14,05	2,49	34,98	49,43	0,42	20,76	14,10	2,44	34,40	49,48	0,39	19,30
3	21,70	1,81	39,28	37,28	0,60	22,37	21,80	1,89	41,20	37,22	0,60	22,33
4	10,62	2,49	26,44	37,15	0,33	12,26	10,63	2,60	27,64	37,19	0,29	10,79
5	7,25	2,57	18,63	37,02	0,20	7,40	7,27	2,67	19,41	37,12	0,18	6,68
6	35,13	1,37	48,13	49,56	0,55	27,26	35,00	1,32	46,20	49,61	0,53	26,29
7	18,72	2,65	49,61	49,64	0,33	16,38	18,79	2,72	51,11	49,74	0,30	14,92
8	10,31	2,87	29,59	49,68	0,35	17,39	10,31	2,81	28,97	49,55	0,33	16,35
9	9,63	2,71	26,10	49,49	0,30	14,85	9,66	2,80	27,05	49,52	0,28	13,87
10	8,46	2,94	24,87	48,37	0,25	12,09	8,52	2,79	23,77	49,49	0,21	10,39

Pada Tabel diatas, dapat diamati perubahan tegangan input dan tegangan output ketika power supply diubah tegangannya. Pengujian dilakukan dengan beban berupa baterai Lead Acid Rechargeable 12V 17AH. Perubahan secara real-time dan mendekati hasil pengukuran dengan alat ukur maka sistem monitoring baterai dianggap telah berhasil.

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa desain dan implementasi sistem monitoring dan manajemen baterai pada kendaraan listrik ini didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring mampu menampilkan arus dan tegangan input serta arus dan tegangan output, begitu pula dengan menampilkan parameter kapasitas baterai serta memunculkan database excel ketika koneksi berakhir.
2. Pada catu daya driver MOSFET TLP 250, catu daya minimal yang diberikan adalah sebesar 10 volt agar driver MOSFET dapat bekerja dengan baik.
3. Sistem manajemen baterai sudah berhasil mengontrol daya input sesuai dengan karakteristik tegangan baterai walaupun arus yang dihantarkan dibawah 1A.
4. Rectifier 3-Fasa mendukung pengereman regeneratif yang dikontrol oleh manajemen baterai mampu mentransfer energi ketika pengujian dengan daya tertinggi 62,72 Watt dan efisiensi tertinggi 87,85% dan mampu melakukan pengereman dengan selisih 33% tanpa rem.

Daftar Pustaka :

- [1] A. Kislovski, R. Redl, and N. Sokal, *Dynamic Analysis of Switching-Mode DC/DC Converters*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [2] Academy, Electronicx. 2007. *Power Electronics Review*. http://novice-placements-counseling-worldwide.com/freetour_files/freetour3.htm, diakses 9 Mei 2017.
- [3] Allegro Microsystem, Inc (2004). *Current Sensor: ACS754SCB-200*. <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>, diakses 2 Mei 2017.
- [4] Arduino. *Arduin Pro Mini*. <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, 9 Mei 2017.
- [5] Cao, Yi (2008). *Configurable Simulink Model for DC-DC Converters with PWM PI Control*. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18833-configurable-simulink-model-for-dc-dc-converters-with-pwm-pi-control/content/html/ConfigurableDCCConverter.html>, diakses 25 Oktober 2016.
- [6] Dity, Deny Faturrahman. 2015. *Perancangan dan Implementasi Sistem Pengereman Regeneratif pada Mobil Listrik dengan Menggunakan Penggerak BLDC Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy*. Bandung : Universitas Telkom.
- [7] Ecadio. *Apakah Arduino Itu?*. <http://ecadio.com/apakah-arduino-itu>, diakses 25 Oktober 2016.
- [8] Elektroku. 2016. *Cara Paling Mudah Konfigurasi AT-Command Bluetooth HC-05 Menggunakan Arduino*. <http://elektroku.com/cara-paling-mudah-konfigurasi-command-bluetooth-hc-05-menggunakan-arduino/>, diakses 12 Mei 2017.
- [9] Hidayat, Rahmat (2013). *Pengertian dan Fungsi Baterai (aki)*. <http://www.kitapunya.net/2013/12/pengertian-dan-fungsi-baterai-aki.html>, diakses 1 Oktober 2016.
- [10] Integrated, Maxim (1983). *Synchronous or Nonsynchronous Topology? Boost System Performance with the Right DC-DC Converter*. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/6129>, diakses 9 Mei 2017.
- [11] Nave, Carl Rod (2001). *Lead-Acid Battery*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBAsE/electric/leadacid.html>, diakses 25 Oktober 2016.
- [12] Pressman, Abraham I. 1998. *Switching Power Supply Design*, McGraw-Hill.
- [13] Protalinski, Emil (2015). *Microsoft open-sources Visual Studio Code, launches free Visual Studio Dev Essentials program*. <http://venturebeat.com/2015/11/18/microsoft-open-sources-visual-studio-code-launches-free-visual-studio-dev-essentials-program/>, diakses 25 Oktober 2016.
- [14] Putra, Hermawn Pemanan. 2010. *Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai Lead-Acid Terhadap Variasi Beban RLC*. Depok : Universitas Indonesia.
- [15] Rudiawa, Eko. 2013. *Pengertian Dan Fungsi Transistor*. <http://dasarelektronika.com/pengertian-dan-fungsi-transistor/>, diakses 9 Mei 2017.
- [16] Roberts, Steve. 2015. *DC/DC Book Of Knowledge*. Austria : RECOM Engineering GmbH & Co KG.
- [17] Romdani, M. Asrofuddin (2016). *Jenis-Jenis Baterai, Fungsi dan Penjelasiannya*. <http://www.masputz.com/2016/04/jenis-jenis-baterai-fungsi-dan.html>, diakses 15 Mei 2017.
- [18] Sira-Ramirez, Hebertt & Silva-Ortigoza, Ramón. 2006. *Control Design Techniques in Power Electronics Devices*. London : Springer-Verlag.
- [19] Sulistiono, Ari (2010). *Sistem Manajemen Baterai*. <http://www.arisulistiono.com/2010/06/sistem-manajemen-baterai.html>, diakses 10 Juni 2017.
- [20] Suyadi (2012). *Komunikasi Serial dan Port Serial (COM)*. UMS : Teknik Informatika. <http://lutung.lib.ums.ac.id/arsip/publikasi/Bab-05-Komunikasi-Serial.pdf>, diakses 2 April, 2012.
- [21] Suyadhi, Taufik D.S. (2014). *Karakteristik Dasar MOSFET*. <http://www.robotics-university.com/2014/10/karakteristik-dasar-mosfet.html>, diakses 25 Oktober 2016.
- [22] V. Vorperian, R. Tymerski, and F. C. Lee, *Equivalent circuit models for resonant and PWM switches*, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 4, no. 2, pp. 205-214, April 1989.

- [23] VRLA, VOZ Battery (2017). TF12-17 12V 17AH Valve Regulated Lead Acid Battery. <https://www.voz.co.id/wp-content/uploads/2017/01/VOZ-TF12-17-Datasheet.pdf>, diakses 10 Juni 2017.
- [24] W. Hart, Daniel. 2011. Power Electronics. New York. The McGraw-Hill Companies.
- [25] Walsh, Michael P., Asif Faiz, Christopher S. Weaver. 1996. Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions. Washington D.C. The World Bank.
- [26] Widjanarko, Ikhwan (2015). Karakteristik Transistor. <http://www.slideshare.net/IkhwanWidjanarko/karakteristik-transistor-55419352>, diakses 25 Oktober 2016.

