

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI DAN MONITORING BATERAI DENGAN ALGORITMA NUMERIK UNTUK SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Oleh:

Didik Sukoco¹, Susetiyadi Purwonugroho²

^{1,2} Dosen Jurusan Teknik Elektro Kapal, PPNS - ITS

E-mail: didikco@yahoo.com

Abstract. Renewable energy sources are highly promising solar cell and wind turbine due to its portability, high flexibility and relatively low value of the investment. So far solar cell technology has the advantage because it requires minimal maintenance and has a lifespan of about 20 years. Efficiency realized by the ability of a solar cell converts solar energy into electrical energy. At this time the solar cell is easy to come by with a price range U.S. \$ 3/Watt per unit area. At the windmill mechanical energy of rotation of the blade will be converted into electrical energy source. Although simple in concept, but the design of the turbine blade is very complex calculations to produce optimal energy. But the weakness of both the renewable energy sources is uncertain availability, while consumers need stable supply of energy with 100 % sustainability. For that to renewable energy systems more usable, the system must be equipped with a control and management of electrical energy that will stabilize the output of electrical energy produced. Required a battery bank in the continuity of energy supply sustainable electricity generated. In this research, has been designing up an energy control system to integrate mathematical modeling of the battery. Control system is powered by a battery bank, microcontroller and electronic circuits. Further system performance can be improved by performing the characteristic energy stored in the battery, so the battery energy can always be monitored. This allows the system to control the electrical energy is always available in the system.

Keywords: model batteray, lagrange interpolation, renewable energy

Abstrak. Sumber energi terbarukan yang sangat menjanjikan adalah *solar cell* dan kincir angin karena *portabilitas*, *fleksibilitas* yang tinggi dan nilai investasi relative rendah. Sejauh ini teknologi *solar cell* memiliki keunggulan karena membutuhkan perawatan sangat minim dan memiliki umur sekitar 20 tahun. Effisiensi diwujudkan dengan kemampuan *solar cell* mengubah energy matahari menjadi energy listrik. Pada saat ini *solar cell* mudah didapat dengan kisaran harga US \$3/Watt per satuan luas. Pada kincir angin sumber energy mekanik dari putaran *blade* akan di konversi ke sumber energy listrik. Meskipun sederhana dalam konsep, tetapi desain turbin dalam perhitungan *blade* sangat kompleks untuk menghasilkan energi yang optimal. Namun kelemahan dari kedua sumber energi terbarukan tersebut adalah tidak menentu ketersediaannya, sedangkan konsumen membutuhkan penyediaan energi yang stabil dengan *sustainability* 100%. Untuk itu agar system energi terbarukan lebih bermanfaat, system harus dilengkapi dengan kendali dan *management* energy listrik yang akan menstabilkan output energy listrik yang dihasilkan. Diperlukan suatu bank baterai dalam kelangsungan *sustainable* suplai energi listrik yang dihasilkan. Dalam riset ini, telah merancang bangun suatu kendali energi dengan mengintegrasikan pemodelan matematik sistem baterai. Sistem kendali didukung oleh *bank* baterai, mikrokontroler dan rangkaian elektronik. Selanjutnya unjuk kerja sistem dapat ditingkatkan dengan melakukan karakteristik energi yang tersimpan dalam baterai, sehingga energi baterai selalu dapat di monitor. Hal ini memungkinkan sistem selalu dapat mengendalikan energi listrik yang tersedia dalam sistem tersebut.

Kata Kunci : model batteray, interpolasi lagrange, energi terbarukan

Beberapa energy listrik terbarukan seperti energi angin atau energi surya ketersediaannya tidak kontinu dan sering berubah-ubah karena kondisi alam. Diperlukan baterai sebagai media penyimpan energi agar kontinuitas energy listrik yang dihasilkan bisa kontinu. Sistem harus mempunyai *sustainability* maximal, sehingga pengendalian system charge dan discharge baterai harus termanagerial dan terkarakteristik agar bisa terpantau secara real time.

Baterai merupakan sebuah tangki penyimpanan untuk energy listrik. Ketika baterai diisi (*charge*), energy listrik tersimpan secara kimiawi dalam sel, dan saat baterai digunakan (*discharge*), energy kimia yang tersimpan diambil dan dirubah menjadi energy listrik.

Baterai dapat dibagi dalam 2 jenis, yakni (1) Baterai primer, dan (2) baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali, tanpa dapat diisi kembali, hal ini disebabkan reaksi kimianya hanya berjalan satu arah. Baterai primer mempergunakan satu kali penghancuran bahan melalui proses kimia untuk menciptakan energi listrik. Sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat dipakai dan diisi berulang kali, hal ini disebabkan proses kimianya dapat berlangsung bolak-balik. Jenis baterai sekunder yang banyak digunakan adalah timah hitam (*lead-acid*) dan Nikel Cadmium. Nikel Cadmium dan Timah hitam mengandung bahan elektroda maupun elektrolit yang berbeda.

Persamaan Reaksi kimia pembentukan listrik adalah sebagai berikut.

Positive plates	$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \xrightleftharpoons[Charge]{Discharge} PbSO_4 + 2H_2O$
Negative plates	$Pb + SO_4^{2-} \xrightleftharpoons[Charge]{Discharge} PbSO_4 + 2e^-$
Over all reaction	$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \xrightleftharpoons[Charge]{Discharge} 2PbSO_4 + 2H_2O$

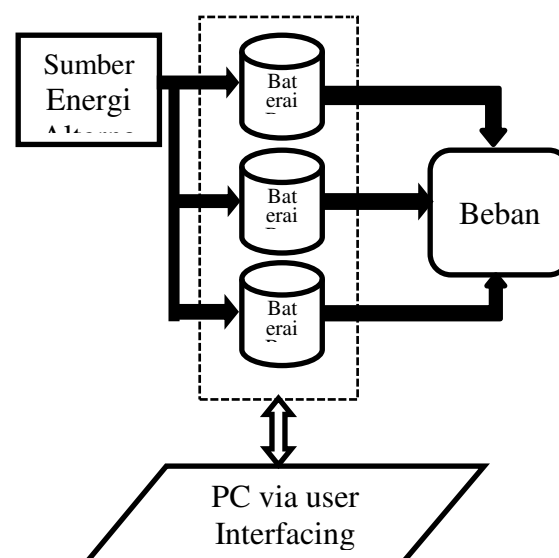
Pada saat baterai dipakai, maka pada permukaan plat timbul $PbSO_4$ (Timah Sulfat) dan plat akan berkarang, disebut sebagai terjadinya Sulfonasi pada pori-pori baterai. Pada plat akan tertutup sehingga elektrolit tidak bisa mengalir dengan lancar, dan elektrolit menjadi tidak asam, karena SO_4 , terikat pada timah.

Pada recharging (baterai kembali di *charge*) terjadi sebaliknya, $PbSO_4$ akan terurai menjadi Pb dan SO_4 dan SO_4 akan terikat kembali dengan H^+ sehingga terjadi lagi H_2SO_4 , larutan elektrolit akan kembali menjadi asam.

$PbSO_4$ yang larut kembali kedalam elektrolit menjadi Pb dan H_2SO_4 tidak terjadi seluruhnya, masih ada tersisa kristal $PbSO_4$ yang melekat pada plat elemen, dan semakin lama akan semakin menebal, hal inilah yang menyebabkan baterai lemah atau malah mati sama sekali. Kadar asam pada kondisi *full charge* menjadi tidak bisa kembali, karena tidak semua $PbSO_4$ larut.

METODE PENGEMBANGAN

Rancangan sistem

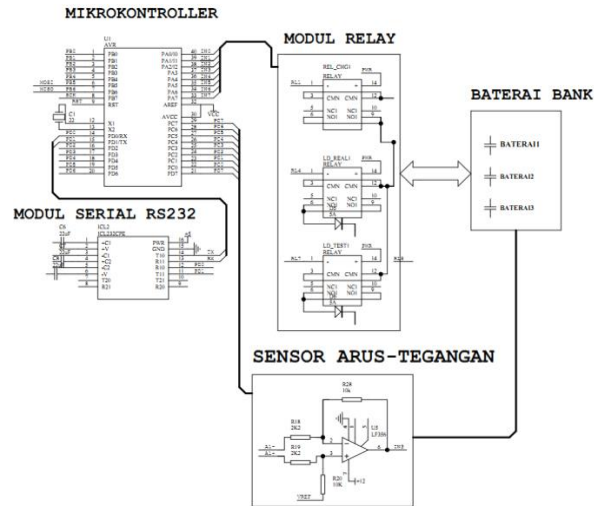


Gambar 1 Diagram Blok dari Sistem

Diagram block sistem dapat dilihat pada gambar 1. Blok sistem terbagi menjadi 2 bagian, yaitu (1) sistem *hardware*, dan (2) Sistem *Software*

Sistem Hardware

Blok rangkaian hardware dari sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Rangkaian Global Sistem

Secara blok rangkian lengkap dari sistem terdiri dari:

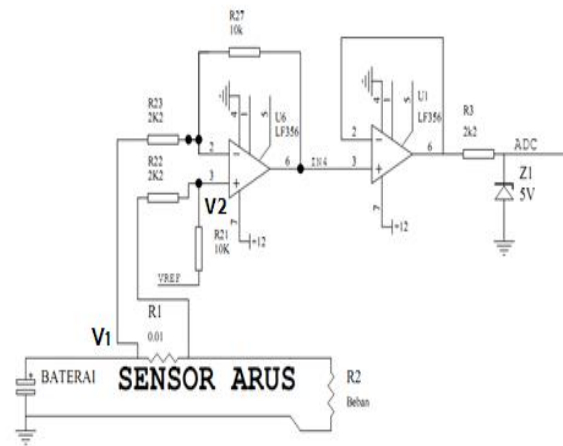
1. Modul mikrokontroler
2. Modul *serial*
3. Modul relay untuk sumber tegangan dan *bank* baterai
4. Modul sensor arus ,tegangan dan suhu
5. Modul I/O meliputi *keypad* 4x4 dan *LCD* 4x16

Sensor Arus dan Tegangan

Komponen utama dalam pengendalian sistem ini adalah adanya sensor arus dan sensor tegangan. Selanjutnya nilai arus dan tegangan akan terkirim ke komputer untuk dilakukan pengolahan data sesuai kebutuhan.

Untuk mendeteksi arus yang bekerja pada sistem digunakan tahanan 0.01Ω 10Watt, arus yang lewat akan dikonversi ke

tegangan yang selanjutnya akan di baca pada ADC mikrokontroller. Gambar 3. adalah Rangkaian *instrumentasi* untuk sensor arus

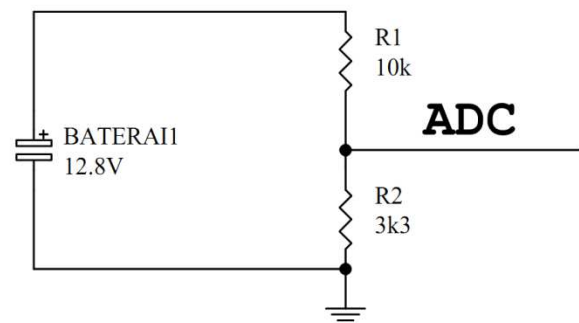


Gambar 3 Rangkaian *Instrumentasi* Sensor Arus

Jika $R_{27} = R_f$ dan $R_{22} = R_i$ maka arus yang lewat pada $R_1(0.01\Omega)$ akan di konversi dalam bentuk Tegangan yang mempunyai persamaan:

$$V_{out} = \left(-\frac{R_f}{R_i}\right)V_1 + \left(\frac{R_f}{R_i} + 1\right)V_2 \quad \dots (1)$$

Untuk Sensor Tegangan di rancang dengan menggunakan dua buah tahanan sebagai pembagi tegangan, dimana rangkaiannya tampak pada Gambar 4.



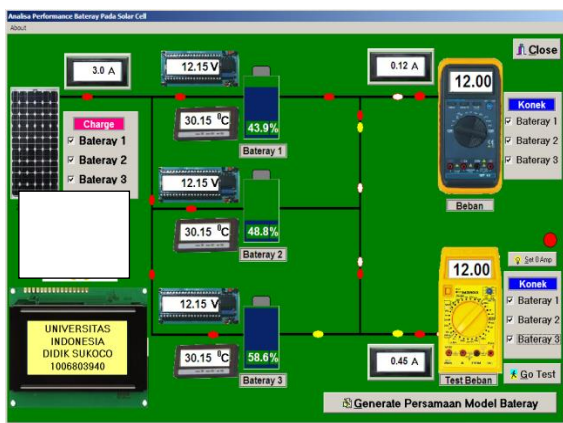
Gambar 4 Rangkaian Sensor Tegangan

Besar tegangan ADC yang masuk ke mikrokontroller adalah:

$$V_{ADC} = \frac{R_1}{(R_1+R_2)}V_{baterai} \quad \dots (2)$$

Sistem Software

Software terdiri dari 2 jenis, yakni program yang di tanam pada IC mikrokontroller untuk kondisi auto sistem dan program pada komputer yang berguna sebagai user interfacing pada pengambilan dan pengujian sistem yang dirancang. Program *user interfacing* dibuat dengan tujuan agar data yang ada pada mikrokontroller dapat dioptimalkan guna kepentingan monitoring maupun pengetesan sistem. Adapun bentuk program utama terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Software User Interfacing Sistem

Fitur dari *software user Interfacing* ini meliputi:

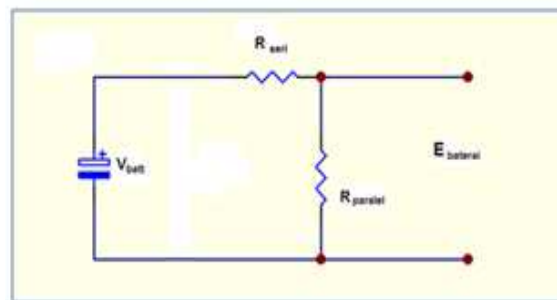
1. Proses monitoring dan pemilihan bank baterai Charge yang dapat memantau tegangan dan arus yang masuk pada bank baterai.
2. Proses monitoring dan pemilihan bank baterai Discharge yang dapat memantau tegangan dan arus yang masuk pada beban normal maupun beban Test.
3. Pengujian Tahanan dalam pada bank baterai melalui beban Test.

Model baterai

Cara paling sederhana untuk mengetahui kapasitas dari suatu baterai adalah

dengan memodelkan baterai sehingga penurunan matematikanya akan di dapat dengan mudah. Ada beberapa jenis pemodelan, yakni baterai bersifat sebagai penyimpan muatan listrik yang akan habis muatannya sebanding dengan pemakaian beban dan baterai sebagai sumber tegangan konstan yang dipengaruhi oleh tahanan dalam yang nilainya akan berubah sesuai konsumsi beban terpakai.

Pada sistem ini baterai Model matematika baterai adalah sebagai Sumber Tegangan Konstan dengan rangkaian Gambar 6.



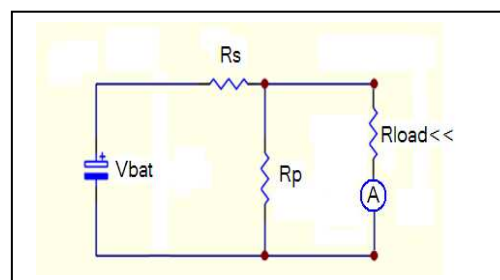
Gambar 6 Rangkaian Model Baterai

Dengan asumsi bahwa $V_{batt} = konstan$ maka nilai dari $E_{baterai}$ hanya akan dipengaruhi oleh besarnya perubahan dari E_{seri} dan $E_{paralel}$.

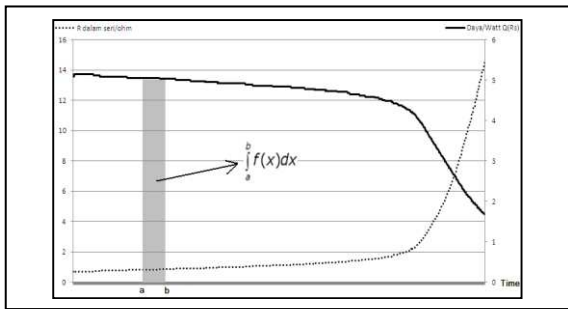
Pada proses pembebanan maka persamaan Rdalam pada baterai model adalah

$$R_{dalam} = \frac{V_{batt}}{I_{load}} - R_{load} \quad \dots(3)$$

Untuk mengukur R_s diperlukan R_{load} mendekati 0 ohm atau $R_{load} \approx 0$.



Gambar 7 Skema Beban Short Circuit



Gambar 9 Integral Fungsi f(x)

Jika diketahui suatu $f(x)$ pada interval $[a,b]$ mempunyai nilai integral:

$$s = \int_a^b f(x)dx$$

Maka fungsi tersebut dapat didekati dengan Integrasi Newton Cotes orde n . Bentuk umum Integrasi Newton Cotes orde n adalah:

$$f(n) = a_0 \dots a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n \dots(8)$$

Metode Trapesium

Metode ini adalah bagian dari metode integrasi Newton tertutup dengan menggunakan aproksimasi polinomial orde 1, sehingga dengan aturan trapesium.

$$I = \int_a^b f_1(x)dx \Rightarrow \text{Newton Cotes orde 1}$$

$$I = (b - a) \frac{f(a) + f(b)}{2}$$

Rumus ini sesuai dengan rumus geometri dari trapesium dengan lebar sebesar $(b-a)$ dan tinggi rata-rata.

$$\frac{f(a) + f(b)}{2}$$

Dengan nilai batas awal dan batas akhir yang telah di ketahui, maka suatu fungsi dapat didekati secara numerik, dimana ketelitiannya ditentukan oleh pilihan orde yang di aplikasikan.

PEMBAHASAN

Baterai yang diuji terdiri dari 4 jenis, yaitu baterai *recharge* kering dengan spesifikasi berikut:

- a. Baterai 12V – 1.3 AH kondisi rusak.
- b. Baterai 12V – 1.3 AH kondisi bagus/ normal.
- c. Bateai 6V – 1.8 AH Kondisi bagus.
- d. Baterai 9V – 220 mAH Kondisi bagus

Bentuk fisik dari baterai terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Bentuk Baterai Pengujian

Sedangkan jenis beban adalah resistor jenis karbon dengan daya 20 Watt dan nilai resistornya berbeda-beda terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Bentuk Resistor Pengujian

Untuk durasi pengambilan data dipilih berdasarkan kondisi baterai, data pengambilan disimpan dalam bentuk file sebagai bahan analisa untuk menentukan persamaan model baterai. Gambar 12. menu input sebelum proses pengambilan data.



Gambar 12 Menu Pengambilan Data Tes Baterai

Baterai Spesifikasi 12V, 1.3AH kondisi Rusak

Tabel 2. Hasil Pengukuran Pada $R_{load} = 48 \Omega$

No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.0252	1.21	350.016	0.253
2	0: 0:10	0.0258	1.24	340.76	0.259
3	0: 0:20	0.0252	1.21	350.016	0.253
4	0: 0:30	0.0252	1.21	350.016	0.253
5	0: 0:40	0.0252	1.21	350.016	0.253
6	0: 0:50	0.0252	1.21	350.016	0.253
7	0: 1:00	0.0252	1.21	350.016	0.253
8	0: 1:10	0.0252	1.21	350.016	0.253

Gambar 13 terlihat Grafik dari Tabel 2. pada kondisi baterai yang rusak. Tahanan dalam baterai sangat besar dan daya yang dihasilkan sangat kecil.



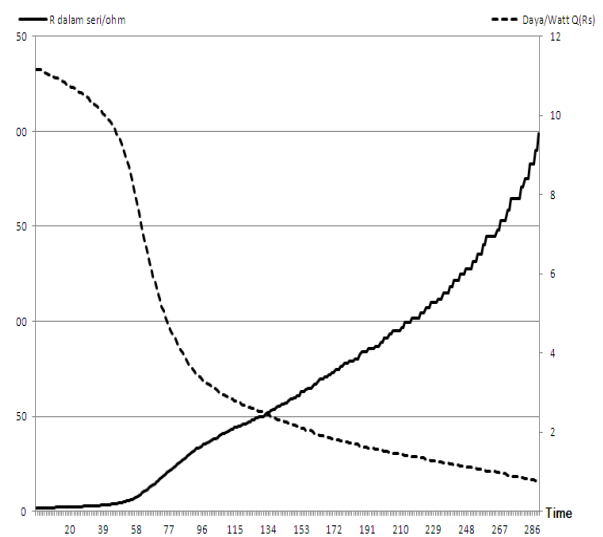
Gambar 13 Grafik Baterai pada 12V, 1.3AH Kondisi Rusak

Baterai Spesifikasi 12V, 1.3 AH Kondisi Normal (Bagus)

Tabel 3. hasil pengukuran pada $R_{load} = 12 \Omega$

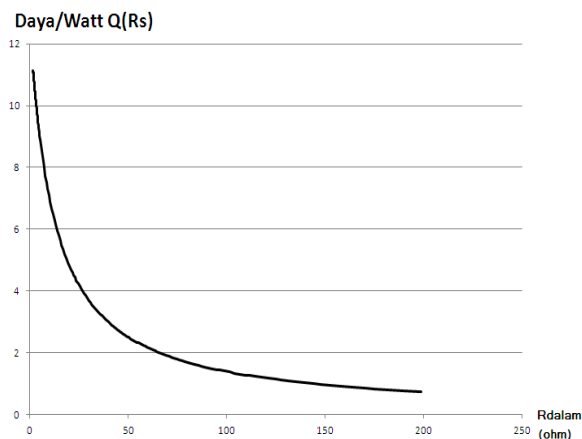
No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.8911	10.96	1.739	11.148
2	0: 0:30	0.8911	10.96	1.739	11.148
3	0: 1:00	0.8911	10.96	1.739	11.148
4	0: 1:30	0.8911	10.96	1.739	11.148
5	0: 2:00	0.8886	10.93	1.778	11.116
6	0: 2:30	0.8862	10.9	1.816	11.086
7	0: 3:00	0.8846	10.88	1.842	11.066
8	0: 3:30	0.8821	10.85	1.882	11.035
9	0: 4:00	0.8821	10.85	1.882	11.035
10	0: 4:30	0.8772	10.79	1.961	10.974
11	0: 5:00	0.8772	10.79	1.961	10.974
12	0: 5:30	0.8748	10.76	2	10.944
13	0: 6:00	0.8748	10.76	2	10.944
14	0: 6:30	0.8732	10.74	2.027	10.924
15	0: 7:00	0.8707	10.71	2.068	10.892
16	0: 7:30	0.8683	10.68	2.107	10.862
17	0: 8:00	0.8659	10.65	2.147	10.832
18	0: 8:30	0.8634	10.62	2.189	10.801

Grafik terlihat pada gambar 14 pada 12V, 1.3Ah Kondisi Baik. Tahan dalam baterai naik secara eksponensial diikuti oleh daya baterai yang akan turun secara eksponensial pula.

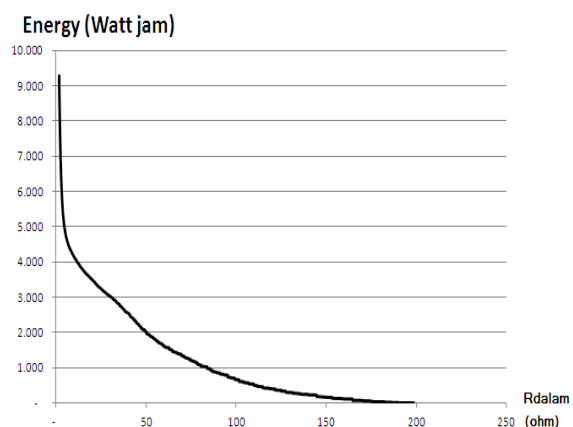


Gambar 14 Grafik Daya dan R_{dalam} terhadap waktu baterai 12V,1.3Ah

Dengan Interpolasi lagrange dan Integrasi Newton didapat grafik Daya dan Energi baterai.



Gambar 15. Fungsi Daya (R_{dalam}) Baterai 12V,1.3Ah Normal



Gambar 16. Grafik E terhadap R_{dalam} Baterai 12V,1.3Ah

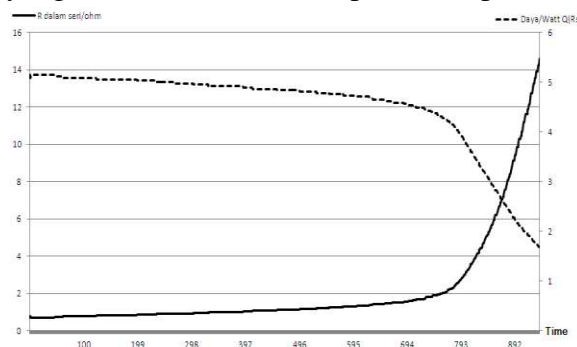
Baterai spesifikasi 6V, 4.5AH Kondisi Baik

Tabel 4. Hasil Pengukuran Pada $R_{load} = 6 \Omega$

No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.8767	5.26	0.696	5.146
2	0: 0:15	0.8667	5.2	0.773	5.088
3	0: 0:30	0.8717	5.23	0.734	5.117
4	0: 0:45	0.8767	5.26	0.696	5.146
5	0: 1:00	0.8767	5.26	0.696	5.146
6	0: 1:15	0.8767	5.26	0.696	5.146
7	0: 1:30	0.8767	5.26	0.696	5.146
8	0: 1:45	0.8767	5.26	0.696	5.146

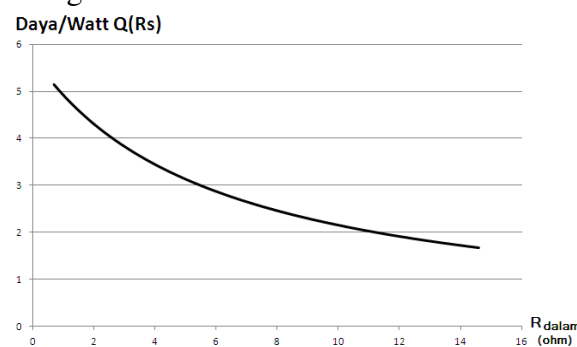
9	0: 2:00	0.8767	5.26	0.696	5.146
10	0: 2:15	0.8767	5.26	0.696	5.146
11	0: 2:30	0.8767	5.26	0.696	5.146
12	0: 2:45	0.8767	5.26	0.696	5.146
13	0: 3:00	0.8767	5.26	0.696	5.146

Gambar 17 terlihat tahan dalam baterai naik secara ekponensial diikuti oleh daya baterai yang akan turun secara eksponensial pula.

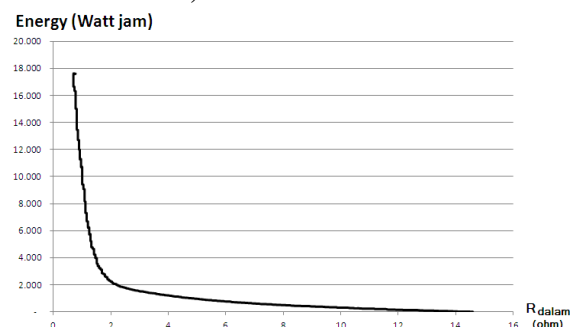


Gambar 17 Grafik Daya dan R_{dalam} terhadap waktu baterai 6V,4.5Ah

Dengan Interpolasi lagrange dan Integrasi Newton didapat grafik Daya dan Energi baterai



Gambar 18. Fungsi Daya (R_{dalam}) Baterai 6V,4.5Ah Normal



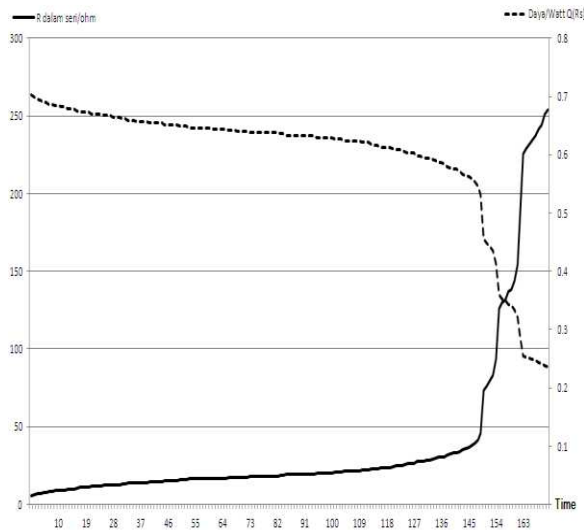
Gambar 19. Grafik Energi Terhadap Tahanan Dalam Baterai 6V,4.5Ah

**Baterai dengan Spesifikasi 9V, 220mAh
Kondisi Baik**

Tabel 5. hasil pengukuran pada $R_{load} = 120 \Omega$

No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.0749	8.99	5.367	0.703
2	0: 0:15	0.0745	8.94	6.04	0.7
3	0: 0:30	0.074	8.88	6.892	0.695
4	0: 0:45	0.0738	8.85	7.236	0.693
5	0: 1:00	0.0735	8.82	7.755	0.69
6	0: 1:15	0.0735	8.82	7.755	0.69
7	0: 1:30	0.0731	8.77	8.454	0.686
8	0: 1:45	0.0731	8.77	8.454	0.686
9	0: 2:00	0.0728	8.74	8.984	0.684
10	0: 2:15	0.0728	8.74	8.984	0.684
11	0: 2:30	0.0726	8.71	9.339	0.682
12	0: 2:45	0.0726	8.71	9.339	0.682
13	0: 3:00	0.0723	8.68	9.876	0.679
14	0: 3:15	0.0722	8.66	10.055	0.678
15	0: 3:30	0.0722	8.66	10.055	0.678
16	0: 3:45	0.0719	8.63	10.598	0.675

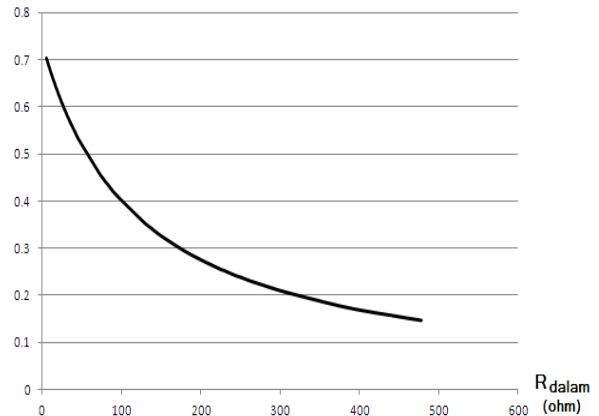
Gambar 20 terlihat tahanan dalam baterai naik secara eksponensial diikuti oleh daya baterai yang akan turun secara eksponensial pula.



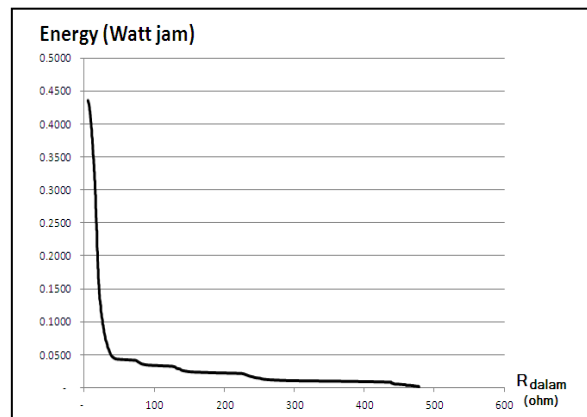
Gambar 20. Grafik Daya dan R_{dalam} terhadap Waktu Baterai 9V, 220mAh

Dengan Interpolasi lagrange dan Integrasi Newton didapat grafik Daya dan Energi baterai.

Daya/Watt Q(Rs)



Gambar 21. Fungsi Daya(R_{dalam}) baterai 9V,220mAh Normal



Gambar 22. Grafik energi terhadap tahanan dalam baterai 9V,220mAh

PENUTUP

Kesimpulan

1. Agar efisien, sistem tersebut harus berbasis pada sistem prosesor dan bank baterai yang terkarakterisasi sehingga selalu dapat dimanage dan di monitor sisa energi yang tersimpan.
2. Untuk memonitor secara *real time* sisa energi dalam baterai dapat dilakukan dengan mengukur V dan I beban, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung R_{dalam} yang merupakan fungsi energi sisa baterai.

3. Dengan aplikasi algoritma numerik menggunakan metode *interpolasi lagrange* dan *integrasi newton cotes* sistem telah berhasil mengkararakteristik energi sebagai fungsi R_{dalam} yang tersimpan pada baterai.
4. Telah terkararakteristik Energi sebagai fungsi R_{dalam} baterai sesuai Gambar 5

untuk baterai 12V, 1.3Ah, Gambar 8 untuk baterai 6V, 4.5Ah dan Gambar 11 untuk baterai 9V, 230 mAh.

Saran

Dimasa mendatang metode ini dapat digunakan sebagai alat pengukur isi baterai yang akurat dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

D. Casini, and G. Marola., *Solar battery charge for NiMH batteries, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2008

Ta-Tau Chen, Ming-Ying Hsiao, Ming-Ying Hsiao, Ming-Ying Hsiao, *Design of Digital Battery Charger System Based on PV-Module*, 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, June 27-30, 2011, Taipei, Taiwan.

Robert F. Coughlin Frederick F. Driscoll penerjemah Ir. Herman Widodo Soemitro., *Penguat operasional dan rangkaian terpadu linear*, penerbit Erlangga

Zezhong Xia, Xiaopeng Tao, Yuanzheng Li, Youxin Yuan., *Digital Control of Distributed Converter System for Battery Charge and Discharge*, International Conference on Electrical and Control Engineering, 2010

Heri, Andrianto. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega 16*, penerbit informatika Bandung, Juli 2008

Carl E. Pearson., *Numerical Methods in Engeneering and Scinece*, copyright @1986 by Nostrand Reinhold Company Inc.

Chin-Sien Moo, Kong Soon Ng, and Yao-Ching Hsieh., *Parallel Operation of Battery Power Modules*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 2, JUNE 2008

Ying-Chun Chuang and Yu-Lung Ke., *A Nove l High-Efficiency Battery Charger With a Buck Zero-Voltage-Switching Resonant Converter*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 22, NO. 4, DECEMBER 2007

Zhuoer Shi, G. W. Wei, Donald J. Kouri and Zheng Bao., *Lagrange Wavelets for Signal Processing*, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 10, NO. 10, OCTOBER 2001

Bogdan S. Borowy, Ziyad M. Salameh. *Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996