

Perancangan Smart Charger Baterai Asam Timbal Berbasis ATTiny85

Sri Paryanto Mursid

Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Jawa Barat 40012 Telp. (022) 2013789

sp_mursid@polban.ac.id, sp_mursid@gmail.com, sp_mursid@yahoo.co.id

ABSTRAK

Aki, sebagai sebutan dari baterai asam timbal merupakan penyimpan muatan energi listrik yang paling banyak digunakan sampai saat ini. Kapasitas Aki dinyatakan dalam AH (*Ampere Hour*) atau amper jam. Aki termasuk baterai skunder, artinya dapat diisi ulang (*charge*) setelah muatannya diambil (*discharge*). Umur Aki tergantung dari banyaknya siklus *charge* dan *discharge*, semakin besar siklusnya akan semakin lama umur hidup Aki. Umur Aki juga sangat dipengaruhi oleh mekanisme *charge* dan *discharge*, oleh karenanya diperlukan pengisi baterai (*charger*) yang dapat memenuhi persyaratan mekanisme *charge discharge* yang sesuai dengan karakteristik Aki. *Charger* Cerdas dirancang untuk dapat memenuhi persyaratan dan karakteristik pengisian Aki. Kemampuan *Charger* Cerdas didasarkan pada penggunaan mikrokontroler ATTiny85. Kemasannya yang ringkas dan kemampuannya yang besar memungkinkan ATTiny85 mampu melakukan semua tugas dalam mengendalikan *Charger* Cerdas yang dirancang dalam penelitian ini.

Kata Kunci: Aki, AH (*Ampere Hour*), *Charger*, Umur Baterai, Mikrokontroler, ATTiny85

PENDAHULUAN

Baterai sebagai penyimpan energi listrik penggunaannya semakin massif dan terus meningkat kebutuhannya saat ini. Teknologi baterai terus berkembang dan beragam, saat ini akan mudah menemukan baterai Ni-Cad, Li-Ion, Alkaline, maupun Asam Timbal yang sering dikenal dengan sebutan aki (*Accu*). Aki atau baterai asam timbal umumnya dipergunakan pada perangkat yang membutuhkan arus besar dengan ukuran yang kompak dan relative murah. Ditinjau dari kemampuan menyimpan energi listrik yang dinyatakan dengan AH (*Ampere Hour*), aki memiliki keunggulan dalam harga, atau AH/rupee paling besar dibandingkan dengan jenis baterai yang lain. Pengguna terbesar Aki adalah dari sektor otomotif sebagai standby storage [2]. Mobil maupun motor listrik yang populasinya semakin besar juga menjadi pengguna Aki yang potensial. Sektor energi

terbarukan, khususnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) juga sangat tergantung pada penggunaan Aki atau baterai asam timbal ini.

Ditinjau dari cara penggunaannya, aki termasuk dalam baterai sekunder. Berbeda dengan baterai primer yang hanya sekali pakai, Aki sebagai baterai sekunder dapat diisi ulang. Kemampuan untuk dapat diisi ulang pada Aki menjadi indikator utama kinerjanya. Umur Aki berbanding langsung dengan jumlah siklus isi ulangnya. Aki dengan siklus isi ulang yang besar memiliki umur yang panjang sehingga dapat memberikan servis lebih lama [1][5].

Jumlah siklus isi ulang sangat dipengaruhi oleh pola pengisian (*charge*) dan pengosongan (*discharge*) selama penggunaannya. Penyimpanan Aki selama tidak digunakan juga berpengaruh pada umur Aki. Adanya resistansi dalam (r_a) pada Aki menyebabkan

muatan energi pada Aki akan berkurang seiring berjalannya waktu saat Aki tersebut disimpan [7]. Dengan demikian Aki memerlukan perangkat yang mampu menjaga proses charging dan discharge selama penggunaan maupun dalam penyimpanan dalam kondisi paling optimal.

Perangkat pengisi baterai atau charger harus mampu mendeteksi kondisi baterai, apakah tegangan kerjanya dan kapasitas yang ada masih dalam area aman untuk memberikan servis optimum. Pada saat yang sama, charger juga harus mampu mengatur arus pengisian sesuai dengan kapasitas baterai. *Charger* dengan mode pengisian tegangan konstan cocok untuk Aki atau baterai asam timbal [3][4].

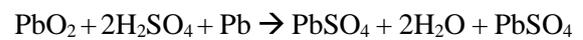
Fungsi pengisian muatan pada Aki dengan tetap menjaga kondisi optimum kinerjanya dapat dilakukan oleh charger cerdas berbasis mikrokontroler. Mempertimbangkan kemampuan yang mumpuni dan kesederhanaan dalam perangkat kerasnya, ATTiny85 dipilih sebagai pengendali utama charger cerdas. ATTiny85 memiliki kemampuan setara dengan mikrokontroler ATmega328 yang dipergunakan pada Arduino Uno namun dengan kemasan DIP 8 pin.

Aki atau Baterai Asam Timbal

Baterai asam timbal atau Aki termasuk dalam golongan baterai skunder, artinya Aki dapat diisi ulang apabila muatan energi listriknya mulai berkurang. Secara umum skema dari Aki diperlihatkan pada Gambar 1.

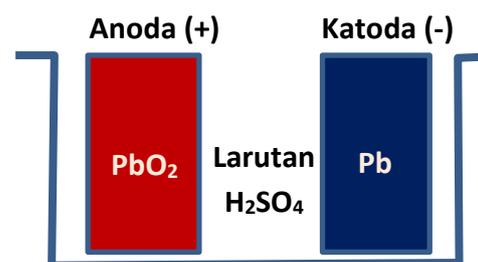
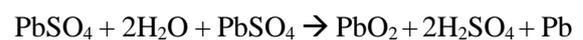
Aki memiliki dua (2) elektroda. Anoda sebagai kutub positif terbuat dari timbal dioksida (PbO_2) dan Katoda sebagai kutub negative terbuat dari timbal (Pb) [1][2].

Pada saat baterai dipergunakan, atau dalam kondisi discharge, akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut :



Kondisi discharge atau saat baterai dipergunakan untuk memberikan arus pada beban, terjadi proses konsumsi asam sulfat (H_2SO_4) dan mengubah kedua elektroda menjadi timbal sulfat ($PbSO_4$) yang akan menghentikan Aki untuk melanjutkan memberikan arus listriknya.

Pada kondisi pengisian atau charging, terjadi reaksi kebalikan dari reaksi saat discharge.

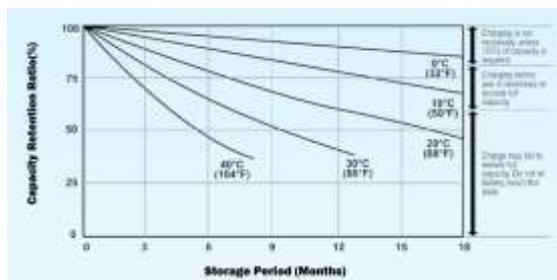


Gambar 1. Skema Baterei Asam Timbal (Aki)

Reaksi pelepasan sulfat pada kedua elektroda terjadi apabila baterai diberikan arus listrik pada kedua elektrodanya. Pada Aki dengan tegangan kerja 12 Volt, proses charging akan dikatakan pada kondisi penuh apabila tegangan antara Katoda dan Anoda mencapai 14,2 volt. agar arus dari charger dapat mengalir ke Aki, maka tegangan output charger harus lebih tinggi dari tegangan baterai Aki. Setidaknya tegangan *charger* 1 volt lebih tinggi dari tegangan Aki [14].

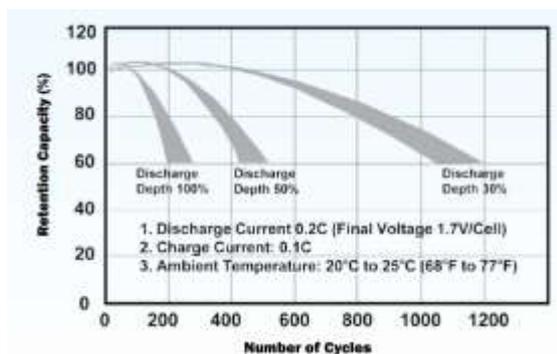
Umur baterai asam timbal akan sangat tergantung dari siklus charging dan discharging ini. Temperatur saat charge dan

discharge juga berpengaruh pada umur baterai, lihat Gambar 2. Demikian halnya dengan sisa muatan setelah proses discharge. Sedangkan pada Gambar 3 memperlihatkan baterai yang di-discharge sampai kosong (deep discharge) berpeluang akan rusak lebih cepat jika dibandingkan dengan baterai yang hanya diambil 30% muatannya [1].



Gambar 2. Pengaruh Temperatur terhadap Self Discharge

Pada temperatur yang lebih tinggi, baterai akan cepat kehilangan muatannya. Hal ini menjadi pertimbangan dalam melakukan charge maupun discharge temperature pada baterai perlu dimonitor untuk menjaga kondisi optimumnya.



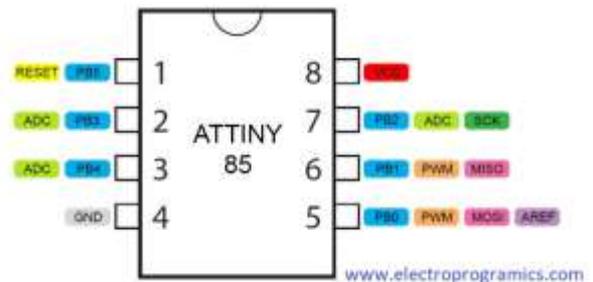
Gambar 3. Tingkat Discharge terhadap Siklus

Charger juga harus mampu untuk mendeteksi status muatan yang tersisa pada baterai. Baterai yang di-discharge terlalu dalam (deep discharge) akan memiliki

siklus hidup yang semakin singkat. Umur baterai yang singkat ini disebabkan adanya efek *double sulfation* karena muatan pada baterai dikuras pada saat deep discharge [1][7].

Mikrokontroler ATTiny85

Pemilihan ATTiny85 sebagai basis dari Charger Cerdas berdasar pada pertimbangan kemampuannya yang besar dan dimensinya yang ringkas. Gambar 4 memperlihatkan diagram ATTiny85 dengan deskripsi pin-nya [9].



Gambar 4. Deskripsi Pin pada ATTiny85

Sistem multipleks digunakan dalam mendefinisikan fungsi setiap pin. Setiap pin memiliki fungsi lebih dari satu. Charger cerdas akan memanfaatkan pin 2 sebagai sensor tegangan, pin 3 sebagai input analog sensor arus, pin 6 digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM yang akan mengendalikan MOSFET sebagai *chopper*. Pin 5 (SDA) berpasangan dengan pin 7 (SCK) dipergunakan untuk komunikasi I2C dengan LCD screen.

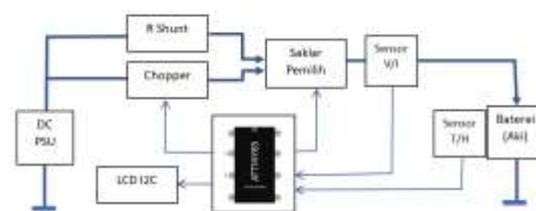
Diagram Kerja Charger Cerdas

Fungsi utama yang harus dapat dilakukan oleh charger mencakup kemampuan mendeteksi jumlah muatan yang ada di Aki atau baterai, mengukur suhu baterai, mengendalikan arus pengisian, memilih mode pengisian sesuai dengan kondisi

baterei, serta menampilkan informasi penting dari baterai selama charging dan discharging. Diagram blok dari Charger Cerdas diperlihatkan pada Gambar 5.

Submodul penting yang terlibat dalam Charger Cerdas ini mencakup : a). Chopper yang akan mencacah arus dan tegangan dari sumber daya (PSU) sehingga sesuai dengan kebutuhan baterai. Chopper akan menyesuaikan duty cycle sesuai hasil pengolahan data oleh mikrokontroler ATTiny85. Chopper yang dipergunakan adalah shield IRF520 berbasis MOSFET; b). Saklar Pemilih, dipergunakan untuk mengubah kondisi pengisian melalui chopper saat baterai dalam kondisi pengisian normal ke kondisi terisi penuh dengan melakukan *trickle charging*. Mode trickle charging ini penting pada saat baterai dalam kondisi standby atau disimpan. Trickle charging akan menjaga baterai tetap dalam kondisi terisi penuh. Menjaga muatan baterai Aki tetap penuh akan meningkatkan umur hidup baterai; c). R Shunt dipergunakan untuk memberikan arus trickle untuk mengimbangi self discharge karena adanya tahanan dalam baterai. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, baterai yang disimpan tanpa beban akan berkurang muatannya seiring berjalannya waktu. Kecepatan berkurangnya muatan akan dipercepat pada saat suhu ruang penyimpanan meningkat; d). Sensor V/I pada charger cerdas ini menggunakan shield INA219 yang mampu mendeteksi tegangan dan arus listrik. Kemampuan untuk mensensor tegangan dan arus ini menjadikan INA219 ideal untuk mengukur daya yang dikonsumsi oleh baterai. Jika daya yang terukur dikaitkan dengan waktu pencatuannya, akan dapat diperoleh pembacaan jumlah energi (WH) yang mengalir melaluinya; e). Sensor T/H

menggunakan shield DHT11 yang mampu mendeteksi temperature dan kelembaban. Sensor temperature sangat diperlukan untuk mengetahui suhu baterai selama charging dan discharging sehingga mikrokontroler dapat memberikan perintah ke chopper untuk mengatur tegangan dan arus pengisian yang optimum; f). Informasi mengenai tegangan, arus, daya, energi, suhu, kelembaban, dan status baterai maupun mode charging ditampilkan pada LCD I2C. Komunikasi antara LCD dengan ATTiny85 dengan menggunakan I2C (*Inter Interface Communication*) akan menghemat jumlah pin yang dipergunakan. I2C menggunakan pin 5 sebagai SDA dan pin 7 sebagai CLK yang mana kedua pin ini juga akan dipergunakan oleh shield INA219 dengan alamat (*address*) yang berbeda.

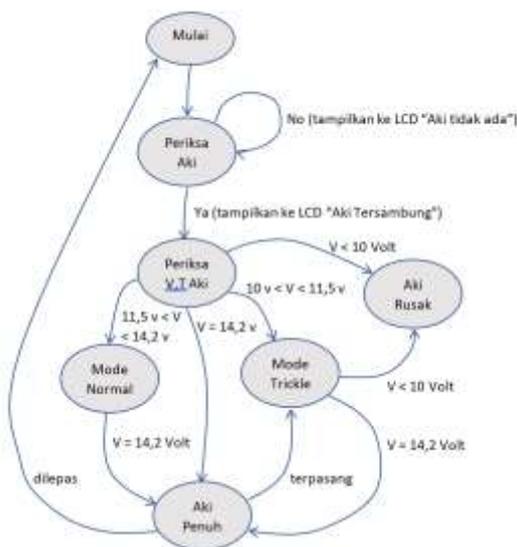


Gambar 5. Diagram Blok Fungsi Charger Cerdas

Perilaku dari Charger Cerdas ini diperlihatkan pada diagram state pada Gambar 6.

Saat charger dihidupkan, maka langkah pertama akan memeriksa keberadaan baterai Aki apakah terpasang atau tidak. Jika terpasang, sensor tegangan dan temperature akan mengukur kondisi Aki apakah dalam kondisi normal, atau sudah tidak layak. Jika kondisinya normal charger akan memutuskan apakah baterai perlu dilakukan pengisian cepat atau cukup dengan pengisian trickle. Keputusan ini tergantung pada perhitungan jumlah

muatan yang ada pada baterai. Baterai dengan tegangan di bawah 10 volt akan dilakukan pengisian mode trickle sampai waktu tertentu (20 menit), bila setelahnya tegangan baterai Aki naik ke 12 volt, maka pengisian diubah ke mode pengisian normal (fast mode). Namun jika setelah ditunggu 20 menit tegangan tidak naik, maka Aki dianggap sudah rusak dan tidak dapat diisi muatan lagi [8]. Sedangkan jika tegangan baterai mencapai 14,2 volt saat pengisian normal, proses charging dihentikan karena muatan baterai telah penuh. Saat baterai penuh, dan masih terpasang pada charger, maka mode pengisian akan pindah ke *mode trickle* [14].



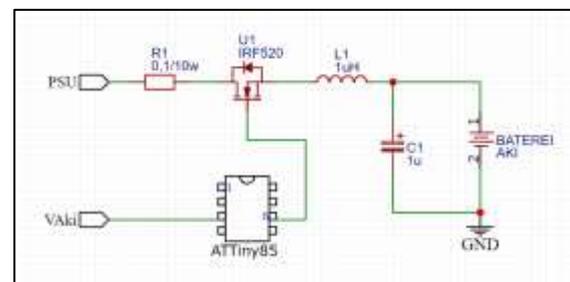
Gambar 6. Diagram State Charger Cerdas

Langkah pertama charger adalah memeriksa baterai Aki apakah tersambung ke terminal pengisian. Jika keberadaan baterai terdeteksi, charger akan melakukan aktivitasnya sesuai dengan diagram state sebagaimana tertera pada Gambar 6. Jika baterai telah terisi penuh lalu dilepaskan dari terminal pengisian, maka charger akan menghentikan aktivitasnya dan masuk ke kondisi siaga (*standby*). Sebaliknya, jika baterai yang

sudah penuh terisi masih terpasang pada terminal pengisian, charger akan masuk ke mode pengisian trickle untuk menjaga muatan baterai Aki dari kehilangan karena resistansi dalamnya.

Chopper Sebagai Pengendali Arus Pengisian

Pengendalian besar arus yang mengalir ke baterai Aki selama proses pengisian dilakukan dengan chopper (pencincang) menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) [13]. Komponen utama chopper menggunakan MOSFET kanal N yang dikemudiana langsung oleh keluaran sinyal PWM pin 6 ATTiny85. Rangkaian dasar chopper dengan MOSFET diperlihatkan pada Gambar 7. Sinyal PWM yang dikeluarkan oleh ATTiny85 merujuk pada informasi tegangan pada baterai Aki saat charging.



Gambar 7. Rangkaian Dasar Chopper

Sinyal PWM yang dikeluarkan pin 6 ATTiny85 sebanding dengan arus dan tegangan yang akan dilewatkan melalui MOSFET ke baterai Aki. PWM merupakan cara untuk mengatur rerata besarnya daya (tegangan atau arusnya) yang disalurkan ke beban. Besarnya rerata daya yang dialirkan ke beban diatur dengan memutus-sambungkan (*switching*) arus atau tegangan sumber dari 0% ke 100% dengan kecepatan tinggi (misal 15 kHz). Semakin lama durasi

tersambung, maka akan semakin besar daya yang disalurkan [11][13].

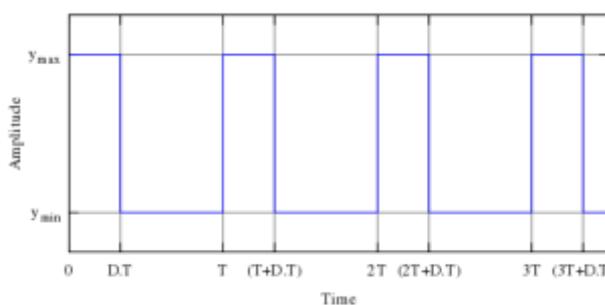
PWM menggunakan gelombang segi empat yang dimodulasi lebar pulsanya sesuai dengan besaran sinyal yang jadi referensinya. Jika lebar pulsa adalah $f(t)$ dengan perioda T , nilai terendah y_{min} dan nilai tertinggi y_{max} serta siklus kerja (duty cycle) D (lihat Gambar 8), maka nilai rata sinyal PWM (y) dinyatakan sebagai :

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

As $f(t)$ is a pulse wave, its value is y_{max} for $0 < t < D \cdot T$.
The above expression then becomes:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{T} \left(\int_0^{DT} y_{max} dt + \int_{DT}^T y_{min} dt \right) \\ &= \frac{1}{T} (D \cdot T \cdot y_{max} + T(1 - D) y_{min}) \\ &= D \cdot y_{max} + (1 - D) y_{min} \end{aligned}$$

Dalam banyak kasus, persamaan terakhir ini dapat disederhanakan dimana $y_{min} = 0$ sehingga $y = D \cdot y_{max}$. Dengan demikian, jelas terlihat bahwa rerata daya (y) berbanding langsung terhadap D (duty Cycle).



Gambar 8. Siklus Kerja Gelombang Persegi

Duty Cycle yang dikeluarkan oleh ATTiny85 melalui pin 6 akan semakin mengecil pada saat tegangan baterai semakin naik. Tegangan baterai Aki ini dibaca melalui sensor tegangan yang selanjutnya diubah dari sinyal analog ke digital melalui pin 3 (ADC In).

Sketch dasar untuk membangkitkan sinyal PWM pada ATTiny85 adaah sebagai berikut.

```
// Program untuk menghasilkan sinyal PWM
dengan ATTiny85
// Pin PB1 (PIN6) akan menghasilkan PWM
dengan frekuensi 1500 Hz dan duty cycle 25%

// Mengatur pin PWM sebagai output
#define PWM1_PIN 1 // PB1 (PIN6)

void setup() {
    pinMode(PWM1_PIN, OUTPUT);

    // Mengkonfigurasi timer 0 untuk mode
    fast PWM
    TCCR0A = (1 << WGM00) | (1 << WGM01); //
    Mode fast PWM
    TCCR0A |= (1 << COM0B1); // Non-inverting
    mode untuk OC0B
    TCCR0B = (1 << CS00); // Prescaler tanpa
    pembagi

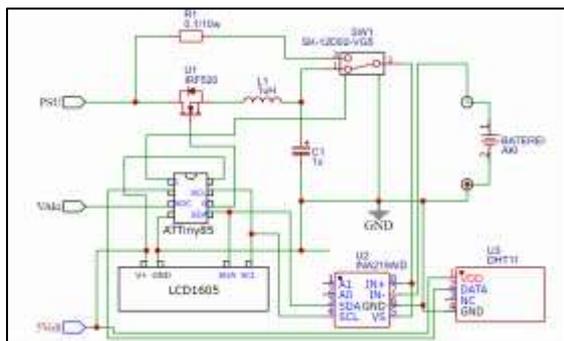
    // Mengatur nilai compare match untuk
    mengatur duty cycle
    OCR0B = 63; // Duty cycle 25% untuk OC0B
}

void loop() {
}
```

Berdasarkan pada sketch di atas, dapat dikembangkan untuk membaca tagangan baterai dengan mendefinisikan pin 3 sebagai input ADC.

Rancangan Akhir

Rangkaian lengkap dari charger cerdas mencakup chip ATTiny85 sebagai komponen inti, dilengkapi dengan sensor arus, tegangan, temperature, kelembaban, dan disertai dengan LCD untuk menampilkan status dan variable yang ada pada sistem. Gambar 9 memperlihatkan skema rangkaian lengkap dari charger cerdas untuk Aki baterai asam timbal.



Gambar 9. Rangkaian Lengkap Charger Cerdas

Sketch dasar untuk membaca tegangan dan arus melalui shield INA219 dan menampilkan hasilnya ke LCD 1602 dituliskan sebagai berikut:

```
// Program untuk membaca arus dan tegangan
menggunakan INA219 pada ATtiny85 dan
menampilkannya pada LCD menggunakan I2C
// Pin PB2 (PIN7) akan digunakan sebagai
SCL
// Pin PB0 (PIN5) akan digunakan sebagai
SDA

#include <TinyWireM.h> // Library untuk I2C
master
#include <LiquidCrystal_attiny.h> //
Library untuk LCD I2C
#include <Adafruit_INA219.h> // Library
untuk INA219

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // Alamat
dan ukuran LCD

Adafruit_INA219 ina219; // Membuat objek
INA219

void setup() {
  TinyWireM.begin(); // Inisialisasi I2C
  master
  lcd.init(); // Inisialisasi LCD
  lcd.backlight(); // Menyalakan lampu
  latar LCD
  lcd.clear(); // Membersihkan layar LCD
  ina219.begin(); // Inisialisasi INA219
}

void loop() {
  float current = ina219.getCurrent_mA();
  // Membaca arus dalam miliampere
  float voltage = ina219.getBusVoltage_V();
  // Membaca tegangan dalam volt

  lcd.setCursor(0,0); // Mengatur kursor ke
  baris pertama
  lcd.print("Arus: "); // Menulis teks di
  LCD
```

```
lcd.print(current); // Menulis nilai arus
di LCD
lcd.print(" mA"); // Menulis satuan
miliampere di LCD

lcd.setCursor(0,1); // Mengatur kursor ke
baris kedua
lcd.print("Tegangan: "); // Menulis teks
di LCD
lcd.print(voltage); // Menulis nilai
tegangan di LCD
lcd.print(" V"); // Menulis satuan volt
di LCD

delay(1000); // Memberi jeda satu detik
}
```

Diskusi

Pemilihan komponen yang tepat dalam perancangan charger cerdas memungkinkan tersusunnya rangkaian yang ringkas sederhana namun *powerful*. Penggunaan ATtiny85 sebagai pengendali utama charger, memungkinkan rangkaian melakukan fungsi charge dan discharge Aki (baterei asam timbal) secara aman dan mampu menjaga umur optimum Aki.

Sebagai *programmable controller*, ATtiny85 memungkinkan untuk diubah algoritma kerjanya sesuai dengan perkembangan kebutuhan dengan mudah.

Daftar Pustaka

1. Geoffrey J. Maya,, Alistair Davidsonb, Boris Monahovc, "Lead batteries for utility energy storage: A review", Journal of Energy Storage 15 (2018) 145–157
2. Lead Acid Bateries "How is it made and how does it work ? ", <http://www.bigginhill.co.uk/batteries.htm> (1 of 5) [3/18/2004 10:50:39 AM]
3. May, Geoffrey J.; Davidson, Alistair; Monahov, Boris (February 2018). "Lead batteries for utility energy storage: A review". Journal of Energy

- Storage. 15: 145–157.
doi:10.1016/j.est.2017.11.008
4. “Technical Manual: Sealed Lead Acid Batteries”, Power-Sonic Corporation, 2018-12-17, p. 19, retrieved 2014-01-09
 5. Cowie, Ivan (13 January 2014). "All About Batteries, Part 3: Lead–acid Batteries". UBM Canon. Retrieved 3 November 2015
 6. Hassan Karami , Bakhshali Masoomi , Razieh Asadi . “Recovery of discarded sulfated lead-acid batteries by inverse charge”. *Energy Conversion and Management* Volume 50, Issue 4, April 2009, Pages 893-898
 7. Gang Zhao , Xiaolin Wang , Michael Negnevitsky , Chengjiang Li. “An up-to-date review on the design improvement and optimization of the liquid-cooling battery thermal management system for electric vehicles”. *Applied Thermal Engineering* 219 (2023) 119626
 8. Nnabundo N. Musei, Chijioke E. Onu, Kingsley I. Ihuaku, and Philomena K. Igbokwe. “Effects of Lithium Sulfate and Zinc Sulfate Additives on the Cycle Life and Efficiency of Lead Acid Batteries”. *ACS Omega* 2021, 6, 4423–4429
 9. Hassan Karami, Bakhshali Masoomi, Razieh Asadi. “Recovery of discarded sulfated lead-acid batteries by inverse charge” *Energy Conversion and Management*, Volume 50, Issue 4, April 2009, Pages 893-898
 10. Electro Programics. “Introduction to ATtiny85”
<https://electroprogramics.com/2020/08/31/introduction-to-attiny85/>., August 31, 2020
 11. Basics of PWM (Pulse Width Modulation) ,
<https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output>
 12. Hausmair, Katharina; Shuli Chi; Peter Singerl; Christian Vogel (February 2013). "Aliasing-Free Digital Pulse-Width Modulation for Burst-Mode RF Transmitters". *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 60 (2): 415–427. CiteSeerX 10.1.1.454.9157.
doi:10.1109/TCSI.2012.2215776.
S2CID 21795841.
 13. NIJ Guide 200-98. “*NEW TECHNOLOGY BATTERIES GUIDE*” National Institute of Justice, Law Enforcement and Corrections Standards and Testing Program. National Law Enforcement and Corrections Technology Center, P.O. Box 1160, Rockville, MD 20849-1160, E-mail: asknlectc@nlectc.org, World Wide Web address: <http://www.nlectc.org>
 14. Aleksandar Prodic, Dragan Maksimovic and Robert W. Erickson., “Design and Implementation of a Digital PWM Controller for a High-Frequency Switching DC-DC Power Converter”. *IECON'01: The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Conference Paper · February 2001. DOI: 10.1109/IECON.2001.975878 · Source: IEEE Xplore.
 15. Designer Reference Manual — DRM043/D., Freescale Semiconductor, Inc. Go to: www.freescale.com.
 16. Chiawei Liao., “LT1510 High Efficiency Lithium-Ion Battery Charger”. Design Note 111, LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation.