

## STUDI PEMANFAATAN FIBER OPTIK SEBAGAI SENSOR UNTUK PENGUKURAN DENSITAS CAIRAN ELEKTROLIT BATERAI

### STUDY OF OPTICAL FIBER UTILIZATION AS A SENSOR OF BATTERY ELECTROLYTE LIQUID DENSITY MEASUREMENT

Muhammad Fauzi Juniar Guntura , Reza Fauzi Iskandar, S.Pd., M.T., Dr. Eng. Indra Wahyudhin Fathona

<sup>1,1</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
lgunturfauzi@telkomuniversity.ac.id, rezafauzii@telkomuniversity.ac.id,  
indrafathonah@telkomuniversity.ac.id,

---

#### Abstrak

Pada saat ini *lead acid battery* atau yang lebih dikenal dengan aki sudah dikenal memiliki banyak keunggulan sebagai sumber energi cadangan. Mudahnya mengukur State of Health (SOH) sebagai parameter untuk menentukan kondisi baterai. Pengembangan fiber optik sebagai sensor kini sedang banyak dikembangkan di berbagai negara. Pada penelitian ini akan dikaji tentang penggunaan fiber optik sebagai sensor untuk menentukan densitas yang terkandung di dalam cairan elektrolit baterai dengan memanfaatkan indeks bias yang ditransmisikan dari Visual Fault Locator ke sensor cahaya LDR. Penelitian ini termasuk penelitian kualitatif. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa nilai densitas berbanding lurus dengan intensitas cahaya yang diterima oleh LDR. Alat yang dibuat pada penelitian ini memiliki nilai akurasi sebesar 97,718522%.

**Kata Kunci:** *lead acid battery, SOH, fiber optik, sensor.*

---

#### Abstract

Nowadays Lead Acid Battery or more likely known as Accumulator Battery were acknowledged with many excellent factors to become secondary energy supply. With the convenience way to measuring State of Health (SOH) for determining the parameter of battery condition. The development of fiber optics to become sensor were developed by many countries today. The research of using Fiber Optics as sensor to determine the electrolyte density in battery using bias index that transmitted from Visual Fault Locator (VFL) to LDR sensor. This reaserch using kualitatif method. The results of this study found that the density value is directly proportional to the light intensity received by the LDR. The tools made in this study have an accuracy value of 97.718522%.

**Keywords :** *Lead Acid Battery, SOH, Fiber Optics, Sensor*

---

## 1. Pendahuluan

Pada saat ini *lead acid battery* atau disebut aki sudah dikenal memiliki banyak keunggulan sebagai sumber energi cadangan ataupun sebagai sumber energi untuk pengoperasian sistem elektronik. Mudahnya mengukur *State of Charge* (SOC) dan *State of Health* (SOH) dengan mengukur densitas menggunakan hydrometer menjadi alasan lain mengapa *lead acid battery* banyak digunakan, nilai SOC berbanding lurus dengan tingkat energi yang tersimpan di dalam *lead acid battery*. Saat ini *Lead acid battery* banyak diaplikasikan di dunia industri otomotif, kereta, solar panel dan masih banyak lagi. Tetapi dalam pengaplikasiannya seperti pada sistem lampu pada kereta yang dipasang dibawah gerbong kereta dinilai sangat sulit dan memerlukan banyak waktu [1], sehingga dibutuhkan sebuah alat yang mempermudah dalam membaca densitas dari *lead acid battery*.

*Lead acid battery* menggunakan timbal oksida ( $PbO_2$ ) sebagai anoda sedangkan timbal murni (Pb) sebagai katoda. *Lead acid battery* menggunakan elektrolit yang terbuat dari campuran asam sulfur ( $H_2SO_4$ ) yang diencerkan dengan air ( $H_2O$ ) [2]. Pada saat proses pengosongan kedua elektroda mengubah material aktif dari  $PbSO_4$  dengan konsumsi subsekuen dari  $H_2SO_4$  dan melepaskan  $H_2O$  ke elektrolit menyebabkan penurunan nilai densitas. Pada saat proses pengisian terjadi proses kebalikannya, senyawa  $H_2SO_4$  yang dilepaskan dan senyawa air dikonsumsi, menyebabkan naiknya tingkat densitas dari elektrolit. Perubahan elektrolit juga mempengaruhi perubahan index bias [3]. Hal tersebut dapat digunakan sebagai indikator untuk menentukan SOH.

State of Health (SOH) adalah pengukuran yang menunjukkan kondisi baterai secara keseluruhan dan kehandalan sebuah baterai untuk menghantarkan muatan juga sebagai pembandingan kehandalan sebuah baterai yang telah digunakan dengan baterai yang masih baru. Semakin lama penggunaan sebuah baterai maka tingkat SOH akan semakin turun dimana hal ini akan sangat berpengaruh terhadap kehandalan sebuah baterai. SOH juga menunjukkan apakah sebuah baterai masih handal untuk digunakan atau tidak.

Fiber optik sensor adalah sebuah sensor yang menggunakan kabel fiber optik sebagai medianya. Karakteristik dari plastik fiber optik dapat dikembangkan menjadi sebuah sensor yang kuat, ekonomis dan serba guna [4]. Dengan sifat sensor fiber optik bisa dikembangkan untuk mengukur tingkat densitas pada ketinggian yang berbeda di dalam *lead acid battery* [5].

Pada penelitian ini, akan dibuat sebuah sensor untuk mengukur nilai densitas dari *lead acid battery* menggunakan sensor fiber optik dengan melakukan analisa dari beberapa parameter, yaitu tegangan, jarak antara sensor dengan dasar *lead acid battery*, dan index bias. Dengan menganalisa parameter-parameter tersebut, diharapkan dapat menentukan nilai SOH dari sebuah *lead acid battery*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Lead Acid Battery

Lead-acid adalah jenis baterai yang saat ini sedang banyak digunakan untuk penyimpan energi dan paling banyak dikembangkan di dunia. Baterai jenis ini pertama kali ditemukan oleh Gaston Planté pada tahun 1859.

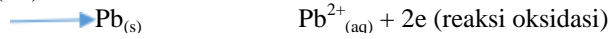
Lead acid battery atau disebut aki sudah dikenal memiliki banyak keunggulan sebagai sumber energi cadangan ataupun sebagai sumber energi untuk pengoperasian sistem elektronik. Lead acid battery menggunakan timbal oksida ( $PbO_2$ ) sebagai anoda sedangkan timbal murni (Pb) sebagai katoda. Lead acid battery menggunakan elektrolit yang terbuat dari campuran asam sulfur ( $H_2SO_4$ ) yang diencerkan dengan air ( $H_2O$ ) [1]. Lead acid battery yang terisi penuh memiliki kepadatan asam sekitar 1,24 kg/liter pada temperatur 25°C.

Dalam sebuah aki terjadi proses elektrokimia yang *reversibel*, yaitu pengisian dan pengosongan. Pada saat proses discharge akan berlangsung proses perubahan dari energi kima menjadi energi listrik, sedangkan pada saat charge dan saat aki diisi atau dimuati akan terjadi proses perubahan energi listrik menjadi kimia.

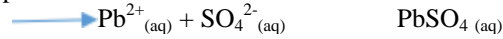
Jika kedua elektroda dihubungkan maka akan dihasilkan perbedaan potensial sekitar 2 Volt. Reaksi kimia yang terjadi pada sel aki dapat dilihat pada kutub katoda dan anoda. Pada katoda terjadi reaksi reduksi, sedangkan pada anoda terjadi reaksi oksidasi.

Adapun reaksi yang terjadi pada saat sel aki digunakan adalah sebagai berikut:

Reaksi pada katoda (Pb):



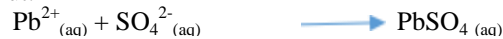
Ion Pb<sup>2+</sup> ini akan bereaksi dengan ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yang ada di dalam larutan sehingga terbentuk PbSO<sub>4</sub> yang reaksinya dapat di tulis:



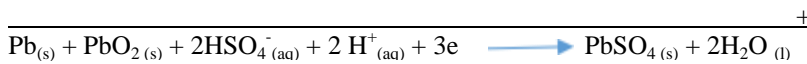
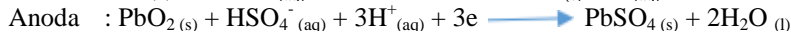
Reaksi pada anoda (PbO<sub>2</sub>):



Disamping itu ion Pb<sup>2+</sup> beraksi dengan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> menghasilkan endapan PbSO<sub>4</sub> yang reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Dengan berubahnya kedua elektroda menjadi endapan PbSO<sub>4</sub> maka daya aki semakin berkurang. Kedua reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut



Apabila kedua permukaan elektroda sudah ditutupi zat yang sama maka tidak terdapat selisih potensial, aki perlu diisi kembali. Perubahan Pb menjadi PbSO<sub>4</sub> terjadi saat pelepasan muatan, akan tetapi saat pengisian muatan, PbSO<sub>4</sub> berubah kembali menjadi timbal oksida pada elektroda positif dan timbal pada elektroda negatif, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> kembali menjadi larutan elektrolit membentuk asam sulfat.

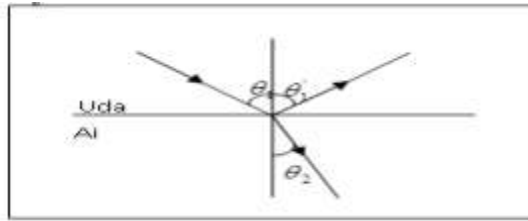
Charge	
Anode (+):	$\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^-$
Cathode (-):	$\text{PbSO}_4 + 2e^- \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Pb}$
Global reaction: $2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$	
Discharge	
Anode (+):	$\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{PbSO}_4 + 2e^-$
Cathode (-):	$\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
Global reaction: $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	

Gambar 2.1 Reaksi Kimia Proses pengisian dan pengosongan Baterai Lead-Acid

Dari Gambar II.1 dapat dilihat saat proses pengosongan kedua elektroda mengubah material aktif dari PbSO<sub>4</sub> dengan konsumsi subsekuen dari H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan dan melepaskan H<sub>2</sub>O ke elektrolit menyebabkan penurunan nilai densitas. Pada saat proses pengisian terjadi proses kebalikannya, senyawa H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dilepaskan dan senyawa air dikonsumsi, menyebabkan naiknya tingkat densitas dari elektrolit. Perubahan elektrolit juga mempengaruhi perubahan index bias.

### 2.4 Pembiasan Cahaya

Jika seberkas gelombang cahaya menumbuk sebuah permukaan halus yang memisahkan dua material transparan, maka sebagian gelombang cahaya itu dipantulkan dan sebagian lagi ditransmisikan kedalam material kedua. Gelombang yang ditransmisikan adalah hasil interferensi dari gelombang datang dan gelombang yang dihasilkan oleh penyerapan dan radiasi ulang energi cahaya oleh atom-atom dalam medium tersebut [19]. Ilustrasi dari peristiwa pemantulan dan pembiasan cahaya ditunjukkan oleh Gambar 2.2



Gambar 2.2 pemantulan dan pembiasan cahaya

Dari gambar di atas terlihat bahwa berkas cahaya yang menuju medium ke-2 (air) mengalami perubahan arah. Perubahan arah berkas cahaya ini yang dinamakan dengan pembiasan. Besarnya sudut bias  $\theta_2$  tergantung dari sifat medium ke-2. Sedangkan besarnya sudut berkas yang melewati kedua medium dirumuskan dengan:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{konstan}$$

Dengan  $\theta_1$  adalah sudut datang,  $\theta_2$  adalah sudut bias,  $v_1$  adalah kecepatan gelombang datang dan  $v_2$  adalah kecepatan gelombang biasnya.

### 3. Detail Eksperimen

#### 3.1 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat yang digunakan untuk menunjang Tugas Akhir ini:

Tabel 3.1 Alat yang digunakan

No	Nama Alat	Fungsi
1	VFL	Sumber cahaya
2	Power Supply	Sumber tegangan
3	Baterai Aki	Objek percobaan

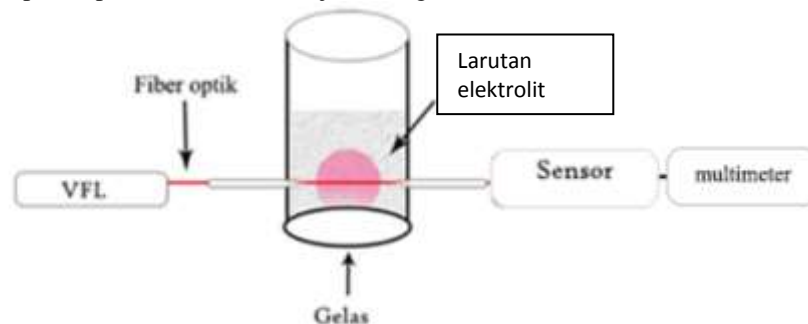
Berikut adalah bahan yang digunakan untuk menunjang Tugas Akhir ini:

Tabel 3.2 Bahan yang digunakan

No	Alat	Fungsi
1	Sensor LDR	Penerima sinar
2	Elektrolit	Objek percobaan
3	Kabel fiber optik	Sensor

#### 3.2 Tata Cara Penelitian

Sensor fiber optik dibentuk menjadi huruf U tanpa jaket pelindung di bagian yang ditebuk sehingga fiber cladding dapat bersentuhan langsung dengan elektrolit. Di salah satu ujung kabel fiber optik di pasang sebuah LED dan di ujung yang lain dipasang photodetector. Propagasi cahaya yang ditangkap oleh photodetector menunjukkan tingkat densitas dari elektrolit.

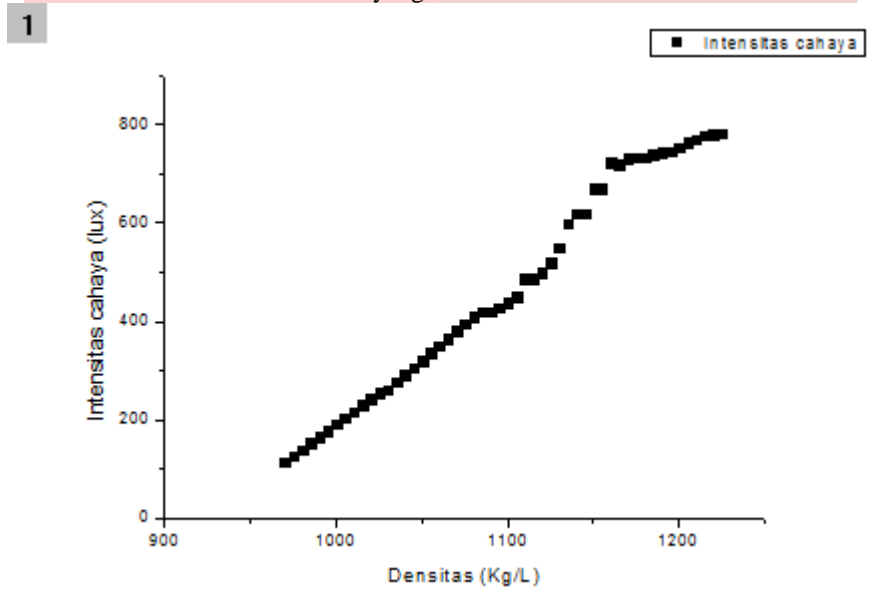


Gambar 3.4 Sistem Sensor Fiber Optik

### 4. Hasil Penelitian

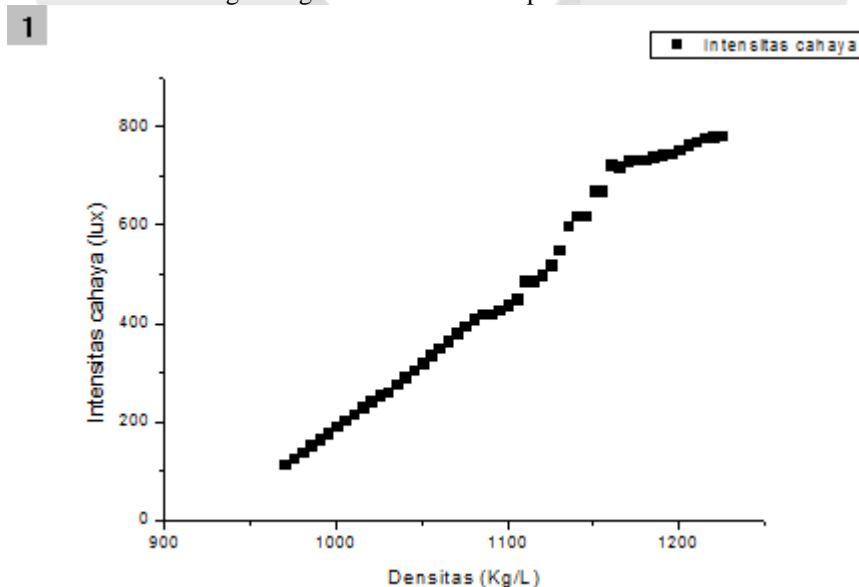
#### 4.1 Karakterisasi Alat

Pada tahap ini penulis melakukan karakterisasi alat untuk mengetahui tingkat keakuratan alat yang dibuat. Penulis melakukan karakterisasi alat dengan cara membandingkan nilai lux yang diterima oleh alat dan dibandingkan dengan nilai densitas yang diukur menggunakan hidrometer. Berikut adalah hasil dari karakterisasi alat yang telah dibuat:



**Gambar 4.1** Grafik karakterisasi alat

Dari hasil karakterisasi alat yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4 menunjukkan garis yang cukup linear. Penulis kemudian menggunakan pendekatan linear untuk menemukan persamaan yang akan digunakan untuk masukan di mikrokontroler sebagai logika untuk menentukan tingkat densitas dari baterai. Dengan menggunakan pendekatan linear penulis mendapatkan persamaan linear  $Y = 0.34X + 938.11$  dengan tingkat ketelitian mencapai 99.2754599%.



**Gambar 4.2** Grafik karakterisasi alat dengan pendekatan linear

#### 4.2 Tingkat Akurasi

Pada tahap ini penulis mengukur tingkat akurasi dari alat yang telah dibuat. Data yang digunakan pada tahap ini adalah data pengukuran pengisian daya pertama karena memiliki nilai error paling kecil. Penghitungan nilai akurasi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \left(1 - \frac{\text{Bias} + 3\sigma}{x_{\text{benar}}}\right) 100\% \quad (4.1)$$

$$\text{Dimana } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (4.2)$$

Maka didapatkan nilai  $\sigma$  sebesar 68,17983238. Setelah itu nilai  $\sigma$  dimasukkan ke persamaan 4.1. Maka didapatkan nilai akurasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \left(1 - \frac{\text{Bias} + 3\sigma}{x_{\text{benar}}}\right) 100\% \\ &= \left(1 - \frac{1097,5 + 3(68,17983238)}{57070}\right) 100\% \\ &= 97,718522\% \end{aligned}$$

Dari hasil yang didapat membuktikan bahwa alat yang telah dibuat memiliki tingkat akurasi sebesar 97,718522%. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang telah dibuat dapat membaca nilai densitas dengan nilai keluaran cukup dekat dengan nilai densitas yang dapat dibaca oleh hidrometer.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah penulis lakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensor fiber optik yang telah dibuat cukup akurat dengan nilai akurasi sebesar 97,718522%.
2. Fiber optik dapat dijadikan sebagai sensor untuk melihat perubahan nilai densitas dari perubahan intensitas cahaya.

## Referensi

- [1] Cao-Paz, Ana M., Marcos-Acevedo, Jorge, Río-Vázquez, Alfredo del, Martínez-Peñalver, Carlos, Lago-Ferreiro, Alfonso, Nogueiras-Meléndez, Andrés A. and Doval-Gandoy, Jesús (2010). A Multi-Point Sensor Based on Optical Fiber for the Measurement of Electrolyte Density in Lead-Acid Batteries. *Open Access Sensors*, 10, pp. 2587-2608.
- [2] Cao-Paz, Ana M., Marcos-Acevedo, Jorge, Quintáns-Graña, Camilo, and Fernandez-Gomez, Santiago (2012). Lifetime Estimation for Plastic Optical Fibers in Harsh Acid Environments. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, Vol. 12, No. 1.
- [3] Ghatak, A., Sharma, S., Kompella, J. (1988). Exact paths in bent waveguides. *Applied Optics*, 1988. 27(15): p. 3180-3184.
- [4] Gloge, D. (1972). Bending loss in multimode fibers with graded and ungraded core index. *Applied Optics*, 1972. 11(11): p. 2506-2513.
- [5] Harmer, A. L (1983). Optical fiber refractometer using attenuation of cladding modes. *First International Conference on Optical Fiber Sensors*. London.
- [6] B. C. Siburian, Perancangan Alat Pengisi Baterai Lead Acid Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535, 2015.
- [7] K. Robot, "Mengenal Macam-Macam Jenis Baterai," Kelas Robot, 3 12 2014. [Online]. Available: <http://www.kelasrobot.com/2014/12/mengenal-macam-macam-jenis-baterai.html>. [Accessed 24 04 2016].
- [8] 4muda, "Bagaimana Cara Kerja Baterai dan Apa yang Terjadi Saat Baterai Di-Charge?," 2015. [Online]. Available: <http://4muda.com/bagaimana-cara-kerja-baterai-dan-apa-yang-terjadi-saat-baterai-di-charge/>. [Accessed 24 04 2016].
- [9] R. Anshari, "Baterai," 2012. [Online]. Available: <http://riza-electrical.blogspot.co.id/2012/07/baterai.html>. [Accessed 24 04 2016].
- [10] A. P. Bayu Segara, D. C. Riawan and H. Suryoatmojo, Monitoring Kinerja Baterai Berbasis Timbal untuk Sistem Photovoltaic, vol. 1, p. 2, 2013.
- [11] A. Widitya, Pengaruh Variasi Elektrolit Jembatan Garam Terhadap Impedansi Sel Galvanik Cu/Z, 2007.
- [12] L. Malaka, "Glossary of battery: Istilah pada baterai," 2013. [Online]. Available: <http://sanfordlegenda.blogspot.co.id/2013/09/Glossary-of-battery-Istilah-pada-baterai.html>. [Accessed 24 04 2016].
- [13] K. W. E. Cheng, B. P. Divakar, H. Wu and K. Ding, "IEEE Transactions On Vehicular Technology," Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles, vol. 60, 2011.

- [14] I. Progressive Dynamic, "How Do Lead Acid Batteries Work: Battery Basics," 2015. [Online]. Available: [http://www.progressivedyn.com/battery\\_basics.htm](http://www.progressivedyn.com/battery_basics.htm). [Accessed 24 04 2016].
- [15] BatteryStuff, "The Lead Acid Battery Explained," 2016. [Online]. Available: <https://www.batterystuff.com/kb/articles/battery-articles/secret-workings-of-a-lead-acid-battery.html>. [Accessed 24 04 2016].
- [16] Wikipedia, "Memory effect," 2016. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Memory\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Memory_effect). [Accessed 24 04 2016].
- [17] A. P. P. Corp., "Battery Knowledge," [Online]. Available: <http://www.batteryspace.com/batteryknowledge.aspx>. [Accessed 24 04 2016].

