



Pengaruh Variasi Arus Pengisian Pengosongan Muatan pada Model Baterai *Lead Acid* Terhadap Perubahan Efisiensi Energi

Kurriawan Budi Pranata^{1)*}, Muhammad Priyono Tri Sulistyanto²⁾, Muhammad Ghuftron³⁾,
Mukhammad Yusmawanto³⁾

¹⁾Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Kanjuruhan Malang

²⁾Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Kanjuruhan Malang

³⁾Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya

Email : kurriawan@unikama.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v15i2.5311>

Submitted: 14 September 2018; Accepted: 09 Desember 2018

ABSTRACT– This research aims to determine the energy efficiency of lead acid batteries by means of a charge-discharge process with a constant current method of 0.3 A, 0.5 A, and 0.6 A. The amount of electric charging current can accelerate redox reactions and strengthen electrolyte acidity. This causes the battery change rate per second to increase dramatically. While the amount of discharging electric current can weaken the electrolyte concentration level. This causes the battery voltage potential to decrease dramatically. Based on the results of the charge-discharge process test, it produces energy efficiency values of variations of the current 0.3 A, 0.5 A, and 0.6 A which are 76.32%, 76.06% and 91.33% respectively.

KEYWORDS : *charge, discharge, energy efficiency, lead acid.*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan dasar dari segala umat manusia yang seiring dengan berbagai macam perkembangan teknologi. Listrik sangat berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari, terkadang hingga dibuat suatu pemetaan kegiatan audit energi guna meredam pemborosan daya (Sulistyanto et al., 2017). Sebagian besar seluruh penggunaan energi tersebut dikonversi dalam suatu penyimpanan listrik yang cukup lama dalam suatu alat yang dinamakan baterai (Ghuftron et al., 2018).

Baterai merupakan alat penyimpan energi listrik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan salah satu media pengubah besaran energi kimia menjadi energi listrik melalui proses reaksi reduksi dan oksidasi (Chang, 2005). Pada umumnya terdapat dua jenis baterai yang terdapat dipasaran, yaitu baterai sekunder dan baterai primer. Baterai primer merupakan jenis baterai

yang tidak dapat diisi ulang kembali, namun mayoritas dari jenis baterai ini bersifat portable, ukuran baterai kecil dan mudah dipindahkan (Aslimeri, 2008).

Sedangkan baterai sekunder merupakan baterai yang dapat diisi ulang hingga orde pemakaian begitu lama. Sehingga seringkali penggunaan baterai sekunder dapat dijadikan sebagai alat penyimpanan energi listrik dari pembangkit energi alternatif dalam skala besar yaitu berupa pembangkit energi panas matahari maupun energi gerak pada kasus khusus penerapan pada mobil listrik (Estiko & Kristian, 2006). Baterai jenis ini seringkali disebut sebagai akumulator. Setiap akumulator memiliki data spesifikasi tertentu dalam setiap penggunaannya. Salah satu data spesifikasi adalah arus pengisian maksimum pada akumulator yang bernilai sepersepuluh dari kapasitas ampere jamnya. Namun banyak faktor yang sulit diramalkan yang dapat mempengaruhi kemampuan penyimpanan

energi listrik dari akumulator, baik mengenai kondisi internal dari sel akumulator, faktor suhu sekitar, suhu operasi dalam sel, getaran, maupun perawatan akumulator setelah pengisian. Akumulator yang digunakan terus menerus (berulang kali mengalami pengisian dan pengosongan) maka energi yang disimpan atau yang dikeluarkan akan semakin berkurang sehingga pemakaian akumulator kurang efisien (Puspitoningrum, 2006).

Ada dua jenis akumulator yaitu akumulator basah dan akumulator kering. Akumulator kering konstruksinya sangat kuat dan kokoh, desain *casing*nya dilapisi oleh *ebonite* (Puspitoningrum, 2006). Jenis akumulator ini banyak dipakai, sekalipun tidak sebanyak akumulator basah.

Hingga sampai saat ini penggunaan akumulator basah seringkali dijumpai dalam berbagai aplikasi. Namun dalam proses penggunaannya jarang sekali para pengguna memperhatikan data spesifikasi yang terdapat didalam akumulator tersebut, sehingga kerap kali akumulator yang digunakan mempunyai siklus hidup yang pendek (Sonic, 2011). Hal ini dikarenakan penggunaan efektifitas proses pengisian dan pengosongan muatan yang menyebabkan akumulator mengalami penurunan efisiensi energi yang dapat diungkapkan pada Persamaan (1).

$$E_E = \frac{\int P_d dt}{\int P_c dt} \quad (1)$$

dengan P merupakan daya, d proses pengosongan (*discharge*), c proses pengisian (*charge*), dan nilai *dt* merupakan diferensiasi terhadap fungsi waktu (Reed et al., 2016). Karena nilai daya ini terdiri dari variabel tegangan potensial sel dan arus pengisian-pengosongan yang termonitoring per detik dalam fungsi waktu. Sehingga di dalam penelitian ini telah dilakukan analisis efisiensi energi pada akumulator basah yang memiliki spesifikasi tegangan keluaran sebesar 6 volt melalui variasi uji proses pengisian dan pengosongan muatan menggunakan metode arus konstan.

METODE PENELITIAN

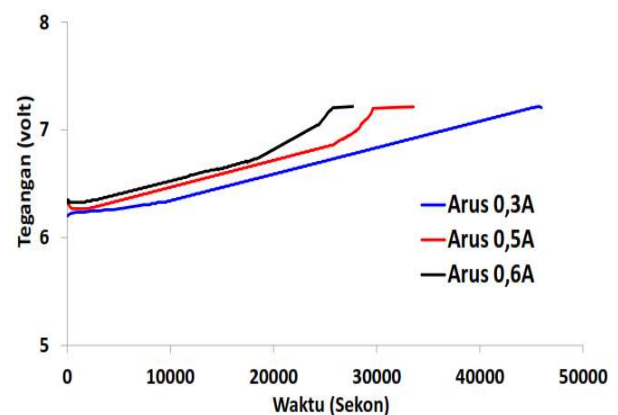
Penelitian ini menggunakan satu jenis

model baterai sekunder lead acid dengan kapasitas 4 Ah dengan keluaran terminal tegangan mencapai 6 Volt. Larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 30% telah digunakan sebagai larutan elektrolit baterai. Selanjutnya telah dilakukan uji variasi penggunaan arus pengisian pengosongan 0,3 A, 0,5 A dan 0,6 A. Penerapan pengisian dan pengosongan arus konstan ini dapat dikontrol melalui alat BMS (*Battery Management System*) menggunakan *Turnigy Accucell-6*.

Pengambilan data tegangan sel baterai dan monitoring arus pengisian-pengosongan dilakukan secara *real time*. Data tersebut diambil per tiap detik melalui komunikasi data USB. Interpolasi data tegangan potensial sel baterai ditampilkan dalam bentuk grafis terhadap fungsi waktu. Software charge Master2.0 sebagai software akuisisi data berupa tampilan grafis tegangan potensial baterai terhadap fungsi waktu. Selanjutnya data tegangan potensial sel baterai tersebut diolah menggunakan software Microsoft Office Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pengisian-pengosongan muatan baterai lead acid 6 volt-4 Ah dilakukan dengan arus konstan 0,3 A untuk 1 siklus penuh, kemudian di ulangi dengan langkah yang sama untuk arus masukan yang berbeda yakni 0,5 A dan 0,6 A . Adapun hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tegangan sel sebagai fungsi waktu pada proses pengisian sel baterai asam timbal dengan berbagai variasi arus

Gambar 1 menunjukkan proses

pengisian muatan dengan metode arus konstan yang bervariasi 0,3 A, 0,5 A dan 0,6 A menunjukkan karakter grafik yang sama yakni naik secara konstan dan mengalami nilai konstan saat mencapai tegangan sekitar 7,2 Volt hingga akhir proses pengisian. Akibatnya, ketiga grafik tersebut memiliki rentang tegangan kinerja yang hampir sama. Tegangan kinerja baterai dapat dilihat pada Tabel 1. Perbedaan terjadi pada tegangan awal pengisian dimana semakin tinggi arus yang digunakan maka tegangan awal baterai semakin tinggi pula. Hal ini dikarenakan arus listrik pengisian merupakan muatan yang dipaksa masuk kedalam sel dimana muatan yang ada didalam sel sebanding dengan arus listrik dan waktu pengisian sesuai persamaan 2. Muatan yang masuk semakin besar akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara elektroda positif dan elektroda negatif membesar sehingga mengakibatkan tegangan tertutup di awal pengisian berbeda.

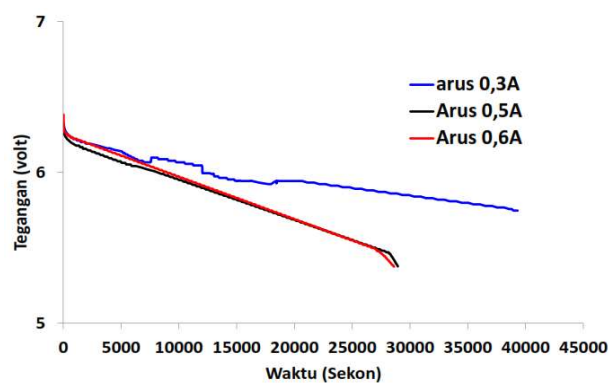
$$Q = \int Idt \quad (2)$$

Tabel 1. Nilai tegangan awal dan akhir pada pengisian baterai asam timbal dengan berbagai variasi arus pengisian.

No.	Arus Pengisian (A)	Rentang Tegangan (V)
1	0,3	6,23 - 7,20
2	0,5	6,26 - 7,21
3	0,6	6,32 - 7,21

Selain itu, jika arus pengisian semakin kecil menyebabkan jumlah proses reaksi redoks pada kedua elektroda semakin lambat dan sedikit. Karena pada saat proses pengisian terjadi, sumber arus pengisian membawa elektron-elektron dari elektroda PbO₂ sebagai elektroda positif dan mendorongnya ke elektroda Pb sebagai elektroda negatif. Akibat dari proses pengisian ini dapat memecah molekul PbSO₄(s) menjadi ion negatif ion sulfat SO₄ kedalam elektrolit. Selanjutnya molekul H₂O akan terurai menjadi ion H⁺ dan O²⁻ yang pada proses selanjutnya tampak terlihat gelembung pada sistem baterai. Gelembung tersebut tidak lain adalah oksigen. Sekarang

yang tertinggal didalam elektrolit yaitu ion sulfat SO₄ dan ion H⁺, kedua ion ini bersifat asam sehingga terjadi peningkatan kandungan pH larutan elektrolit dan peningkatan berat jenis larutan elektrolit. Durasi pengisian yang bertambah lama untuk arus yang semakin kecil juga bisa dijelaskan melalui proses redoks ini.



Gambar 2. Variasi arus konstan pengosongan muatan terhadap tegangan potensial sel baterai.

Setelah dilakukan proses pengisian, baterai lead acid diuji perlakuan pengosongan dengan menggunakan metode arus konstan dengan variasi yang sama dengan proses pengisian. Hasil uji proses pengosongan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Proses pengosongan muatan dengan metode arus konstan variasi 0,3 A, 0,5 A dan 0,6 A menunjukkan bentuk grafik yang sama yakni menurun dengan konstan di awal dan tiba-tiba drop di akhir pengosongan, Adapun rentang tegangan pengosongan tampak pada tabel 2 dimana selisih tegangan awal dan akhir terbesar diperoleh untuk baterai dengan arus pengosongan 0,6 A sebesar 1,01 A dan yang terkecil sebesar 0,58 untuk baterai dengan arus pengosongan 0,3 A,

Tabel 2 Nilai tegangan awal dan akhir pada pengosongan baterai asam timbal dengan berbagai variasi arus pengisian.

No	Arus Pengosongan (A)	Rentang Tegangan (V)
1	0,3	6,32 - 5,74
2	0,5	6,28 - 5,37
3	0,6	6,38 - 5,37

Bila diperhatikan lebih jauh lagi, kurva pengosongan untuk arus 0,3 A memiliki durasi

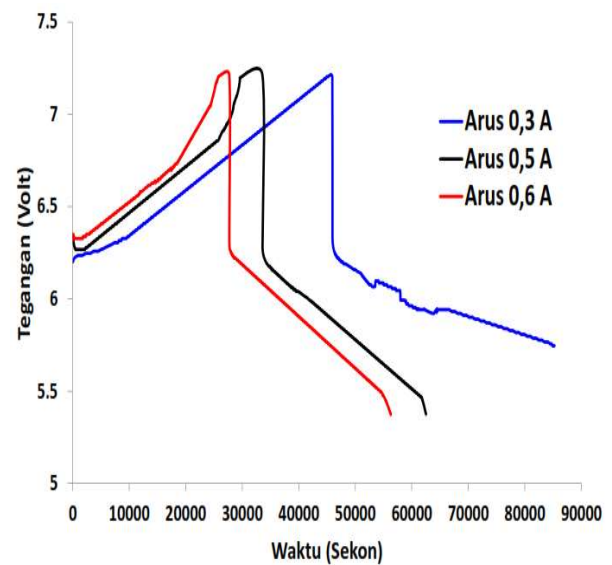
pengosongan yang terlama sedangkan pada arus 0,5 A dan 0,6 A memiliki durasi yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa selisih arus 0,1 A tidak memiliki dampak yang besar pada durasi pengosongan untuk arus 0,5 A dan 0,6 A. Lamanya durasi pengosongan ini bergantung pada muatan yang tersimpan saat pengisian dan arus listrik yang digunakan berdasarkan Persamaan 2. Gambar 2 memperlihatkan bahwa durasi ini sudah sesuai dengan teori. Namun lamanya durasi pengosongan berbeda dengan durasi pengisian, hal ini mengindikasikan bahwa pada proses pengosongan tidak mampu melucuti semua muatan pada proses pengisian yang diindikasikan dari tegangan awal proses pengosongan tidaklah sama dengan tegangan akhir proses pengisian. Bila dibahas lebih lanjut pada material elektrode, hal ini menunjukkan bahwa pada proses pengisian jumlah reaksi redoks pada proses pengosongan lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah reaksi redoks pada proses pengisian. Maka dari itu timbullah efisiensi energi pada baterai.

Tegangan akhir pengosongan menunjukkan bahwa arus 0,5 A dan 0,6 A memiliki tegangan akhir sebesar 5,37 V sementara pengosongan dengan arus 0,3 A memiliki tegangan akhir 5,74. Tegangan akhir yang relatif berbeda ini menunjukkan bahwa arus yang besar mampu menarik muatan lebih banyak dibandingkan dengan arus yang kecil.

Hasil proses pengisian dan pengosongan pada sistem baterai lead acid yang diuji, telah dikomprasikan dalam bentuk grafik satu siklus proses pengisian dan pengosongan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan pola grafik yang hampir sama namun memiliki selisih tegangan awal pengisian yang berbeda akibat dari perlakuan variasi arus yang berbeda pula. Akibat dari selisih tegangan awal pengisian, ternyata dapat menghasilkan pola trend grafik kemiringan yang lebih besar secara berturut-turut yaitu kemiringan grafik $0,6\text{ A} > 0,5\text{ A} > 0,3\text{ A}$. Hasil ini diindikasikan bahwa pada saat proses pengisian muatan baterai dengan arus

tinggi dapat menambah jumlah muatan elektron pada elektrode PbO_2 untuk mempercepat reaksi penguraian molekul $\text{PbSO}_4(\text{s})$ menjadi ion negatif sulfat SO_4 .



Gambar 3 Komparasi satu siklus pengisian pengosongan dengan variasi arus 0.3 A, 0.5 A, dan 0.6 A

Seiring dengan bertambahnya waktu, jumlah muatan elektron juga semakin bertambah seiring dengan meningkatnya potensial tegangan sel baterai. Gambar 3 menunjukkan pengisian muatan baterai dilakukan secara terus menerus dengan metode arus konstan hingga mencapai tegangan puncak sekitar 7,21 V. Setelah mencapai tegangan puncak pengisian, muatan yang tersimpan dalam baterai mencapai kondisi kapasitas maksimum. Secara otomatis baterai dilakukan proses pengosongan yang mengakibatkan tegangan potensial jatuh secara drastis pada tegangan sekitar 6,33 V yang ditunjukkan pada kurva tegak vertikal. Hal ini dapat diasumsikan bahwa jumlah muatan yang sudah tersimpan akan kembali pada kapasitas penyimpanan normal baterai yang dilanjutkan dengan pengosongan secara terus menerus hingga mencapai tegangan pengosongan rata-rata sekitar 5,50 V. Tegangan 5,50 V ini adalah tegangan *cut off* baterai yang diindikasikan tegangan titik kritis pengosongan muatan baterai *lead acid*.

Hasil trend grafik satu siklus pada

Gambar 3 memiliki kesesuaian pola grafik dengan penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh (Ghufron et al., 2017), penelitian tersebut telah membuat dan mendesain baterai lead acid skala laboratorium dengan konfigurasi elektroda disusun secara seri dan paralel yang terdiri dari tiga sistem sel. Pada konfigurasi sel seri menghasilkan tegangan 6 Volt. Baterai tersebut di uji dengan proses pengisian pengosongan menggunakan metode arus konstan sebesar 0,5 A.

Adapun hasil analisis parameter besaran elektrik yang mengacu pada pengujian satu siklus pengisian-pengosongan muatan telah dirangkum seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Rangkuman besaran elektrik baterai

Variasi Arus	V_d	V_c	I_c	I_d	t_c	t_d
0,3	5,96	6,68	0,3	0,3	45.956	39.312
0,5	5,82	6,60	0,5	0,5	33.571	28.955
0,6	5,86	6,63	0,6	0,6	27.695	28.618

dengan V_d tegangan rerata pengosongan (*discharge*) Volt, V_c tegangan rerata pengisian (*charge*) Volt, I_c arus konstan *charge* dalam Ampere, I_d arus konstan *discharge* dalam Ampere, t_c rentang lama waktu *charge* (sekon), t_d rentang lama waktu *discharge* (sekon).

Lama rentang waktu pengisian muatan (*charge*) maupun pengosongan muatan (*discharge*) tetap ditulis dalam sekon, karena pada setiap monitoring dan pengambilan data variabel elektrik dalam tiap detik pengambilan data melalui komunikasi data USB. Hasil yang diperoleh pada Tabel 3 sudah menunjukkan kesamaan spesifikasi nilai kapasitas yang diberikan oleh baterai yang diuji yaitu sebesar 4 Ah. Mengacu pada Tabel 3, nilai kapasitas tersebut dapat dihitung secara perkalian sederhana yaitu perkalian antara variable t_d dengan I_d . Berdasarkan hasil perkalian tersebut dari tiga variasi arus 0,3 A, 0,5 A, dan 0,6 A yaitu sebesar 3,27 Ah, 4,02 Ah dan 4,75 Ah dan jika ketiga hasil tersebut dirata-rata menghasilkan nilai 4,01 Ah. Hasil ini menunjukkan kedekatan nilai dengan hasil spesifikasi teknis nilai kapasitas yang dimiliki oleh baterai lead acid yang di uji.

Tabel 3 memberikan informasi lanjutan pada aplikasi persamaan 1 berdasarkan hasil parameter elektrik yang telah diuraikan diatas. Telah didapatkan nilai energi efisiensi pada variasi arus pengisian-pengosongan 0,3 A, 0,5 A dan 0,6 A masing-masing sebesar 76,32%, 76,06%, dan 91,33%. Efisiensi energi yang paling tinggi telah diperoleh pada proses pengisian-pengosongan pada arus konstan 0,6 A. Hal ini mempunyai arti bahwa dengan pada saat proses pengisian telah membutuhkan waktu yang singkat namun proses pengosongan jauh lebih lama atau hampir mendekati nilai proses pengisian. Argumen ini dapat ditunjang dengan data waktu pengisian (*charge*) dan pengosongan (*discharge*). Tabel 3 menunjukkan pada variasi arus 0,6 A, waktu pengisian membutuhkan waktu sebesar 27,695 sekon yang setara dengan 7,69 jam. Sedangkan waktu proses pengosongan membutuhkan waktu sebesar 28,618 sekon yang setara dengan 7,94 jam. Namun pada hasil uji variasi arus konstan 0,3 A dan 0,5 A telah memiliki nilai efisiensi yang hampir sama yang masing-masing sebesar 76,32% dan 76,06%. Hasil ini menunjukkan bahwa pada saat proses pengisian membutuhkan waktu yang cukup lama daripada proses pengosongan.

KESIMPULAN

Baterai lead acid yang sudah dilakukan uji pengisian pengosongan muatan menggunakan metode arus konstan yang bervariasi 0,3 A, 0,5 A dan 0,6 A menghasilkan nilai efisiensi energi diatas 50%. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, proses uji pengisian pengosongan telah dilakukan dengan mendekati hasil yang lebih akurat. Hal ini ditunjukkan hampiran nilai rerata kapasitas yang terukur sudah mendekati nilai standart spesifikasi teknis dari baterai uji.

Nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada perlakuan variasi arus 0,6 A dengan nilai 91,33%. Rentang tegangan kinerja saat proses pengisian mempunyai nilai kesebandingan dengan nilai arus pengisian. Semakin tinggi perlakuan arus pengisian maka semakin besar pula rentang tegangan kinerja baterai. Namun, berlainan pada tegangan kinerja saat proses

pengosongan yang mempunyai perbandingan berbalik nilai. Rentang tegangan kinerja proses pengosongan semakin rendah jika arus pengosongan semakin besar. Kemudian perlu pengujian variasi pengisian-pengosongan dengan berbagai macam metode untuk melihat konsistensi hasil nilai efisiensi energy. Selain itu juga diperlukan jumlah pengujian siklibilitas diatas 20 siklus guna melihat peforma baterai jika dipergunakan secara terus menerus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Kanjuruhan Malang dan Universitas Brawijaya. Turut pula diucapkan kepada tim mahasiswa laboratorium material fisika Universitas Brawijaya dalam proses kegiatan penelitian yang sudah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Aslimeri. (2008). *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Chang, R. (2005). *Kimia Dasar: Konsep – konsep Inti, jilid 2 (Ed.Ketiga)*. Terjemahan oleh M.A Martoprawiro, et al. Jakarta : Erlangga.

Reed, D., Thomsen, E., Li, B., Wang, W., Nie, Z., Koeppel, B., & Sprenkle, V. (2016). Performance of a low cost interdigitated flow design on a 1 kW class all vanadium mixed acid redox flow battery. *Journal of Power Sources*, 306, 24-31.

Ghufron. M, Istiroyah, Perwita. C. A, & Pranata. K. B. (2017). Analisis Efisiensi Energi Flow Baterai Lead Acid Keadaan Statis Dan Dinamis. *Jurnal ROTOR*, 10(2),42-46

Ghufron, M., Pranata, K. B., Istiroyah, I., Yusmawanto, M., Khairati, N., Setiawan, Y. E., ... & Perwita, C. A. (2018, October). Charging time influence on dynamic lead acid battery capacity with H₂SO₄ electrolyte. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2021, No. 1, p. 050006). AIP Publishing.

Sulistyanto, M. P. T., Pranata. K. B., & Solikhan, S. (2018). Preliminary study of utilizing Internet of Things for monitoring energy use in building to support energy audit process. In *2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT)* (pp. 1-7). IEEE.

Puspitoningrum. J. (2006). *Komparasi Kekuatan Penyimpanan Energi Listrik Pada Akumulator Kering Dan Basah Pada Tegangan 12 Volt. Tugas Akhir*. Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Estiko, R., & Kristian, I. (2006). Pemodelan dan Identifikasi Parameter Baterai Lead Acid untuk Mobil Robot. *Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronik*.

Sonic, P. (2018). Technical Manual Sealed Lead-Acid Batteries. Retrieved September 12, 2018, from www.power-sonic.com