

Pengimplementasian Baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Alat Penyalur Daya Listrik Portable (APDAL) untuk Cadangan Energi Listrik Rumah

1st Achmad Furqon M
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
achmadfurqon@student.telkomuni-
ty.ac.id

2nd Rizky ArdiantoPriramadhi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rizkia@telkomuniversity.ac.id

3rd Denny Darlis
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ddarlis@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Ditulis antara 100-150 kata, dicetak miring dalam dua bahasa, yaitu Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Abstrak Bahasa Indonesia ditulis lebih dahulu baru kemudian abstrak Bahasa Inggris untuk artikel berbahasa Indonesia, dan abstrak Bahasa Inggris ditulis terlebih dahulu kemudian baru abstrak Bahasa Indonesia untuk artikel berbahasa Inggris. Abstrak tidak berupa ringkasan yang terdiri dari beberapa paragraf. Isi abstrak meliputi tujuan penelitian, data/objek penelitian, metode, hasil atau simpulan..

Kata kunci— Berisi paling tidak 5 kata kunci

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya akan kebutuhan energi listrik di rumah tangga memunculkan kebutuhan akan sistem penyimpanan energi cadangan yang efisien dan andal. Salah satu teknologi baterai yang menunjukkan potensi yang besar dalam hal ini adalah baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) [1]. Baterai ini telah menjadi fokus penelitian dan pengembangan karena memiliki banyak keunggulan, diantaranya keamanan yang tinggi, siklus baterai yang panjang, dan efisiensi tinggi [1] [2].

Artikel jurnal ini bertujuan untuk menganalisis baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) dalam Aplikasi Penyimpanan Daya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik Rumah (APDAL). APDAL merupakan sistem yang dirancang untuk menyediakan pasokan cadangan energi listrik yang stabil untuk kebutuhan rumah tangga [2].

Sumber energi utama yang digunakan oleh rumah tangga saat ini umumnya berasal dari jaringan listrik yang terhubung ke pembangkit listrik komersial. Namun, banyak daerah yang sering kali terjadi pemadaman listrik akibat gangguan teknis, *maintenance* atau bahkan bencana alam. Dalam situasi seperti ini, baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) dapat berperan sebagai sumber energi cadangan yang dapat diandalkan untuk menjaga kelangsungan pasokan listrik kebutuhan rumah tangga [2].

Keunggulan utama dari baterai LiFePO₄ ialah tingkat keamanannya yang tinggi. Dibandingkan dengan jenis baterai lithium-ion lainnya, baterai LiFePO₄ jauh lebih stabil dan

kurang rentan terhadap risiko kebakaran. Ini menjadikannya pilihan yang aman untuk digunakan dalam lingkungan rumah tangga [1].

Selain itu, baterai LiFePO₄ memiliki siklus hidup yang panjang. Mereka dapat bertahan selama ribuan siklus pengisian dan pengosongan, memberikan siklus hidup yang lebih lama dibandingkan dengan teknologi baterai lainnya. Ini adalah aspek penting dalam konteks APDAL, di mana baterai diharapkan bertahan lama dan dapat diandalkan sebagai sumber energi cadangan jangka panjang [1] [2].

Selanjutnya, efisiensi tinggi baterai LiFePO₄ juga menjadi kelebihan yang signifikan. Baterai LiFePO₄ mampu mengkonversi energi listrik dengan efisiensi yang lebih tinggi daripada baterai konvensional, sehingga menghasilkan pemborosan energi yang lebih rendah dan mengoptimalkan kinerja sistem secara menyeluruh [2].

Pada penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi potensi penggunaan baterai LiFePO₄ dalam berbagai aplikasi, termasuk penyimpanan energi rumah tangga. Tetapi ada beberapa aspek yang perlu dipelajari lebih lanjut untuk memahami secara menyeluruh bagaimana baterai LiFePO₄ dapat dioptimalkan dalam konteks APDAL [1] [2].

Dalam artikel jurnal ini, penulis akan menguraikan hasil penelitian penulis terkait penggunaan baterai LiFePO₄ dalam APDAL untuk kebutuhan cadangan energi listrik rumah. penulis akan menganalisis efisiensi, daya tahan, dan kinerja baterai dalam aplikasi ini. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan berharga bagi pengembangan sistem penyimpanan energi yang lebih efisien dan andal untuk kebutuhan cadangan energi listrik rumah tangga [2].

II. DASAR TEORI

A. Listrik Rumah

Dari beberapa sumber yang didapatkan oleh penulis, didapatkan bahwa golongan listrik rumah tegangan rendah (R-1/TR) yaitu sebesar 450 VA. Data tersebut bertujuan sebagai acuan penentuan kapasitas baterai yang akan digunakan pada kebutuhan minimum rumah. Mari kita

asumsikan bahwa penggunaan listrik selama sehari yaitu selama 12 jam, didapatkan bahwa daya yang dibutuhkan yaitu sebesar 3600 Watt perhari untuk setiap rumah tangga, ini masih hitungan kotor, anggap 5 lampu berdaya 10 Watt dinyalakan selama 11 jam (mulai pukul 18.00 sampai 05.00). Maka, total pemakaian listrik dari lampu tersebut per harinya $(10\text{Watt}\times 5)\times 11\text{jam}=550\text{Watt}$. Kemudian, pompa air 125Watt menyala selama satu jam. Dan yang terakhir adalah setrika 300Watt menyala selama 1 jam dalam sehari. Maka daya yang dibutuhkan dalam sehari untuk memenuhi kebutuhan primer yaitu sekitar 975Wh. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan energi sebesar 975Wh untuk memenuhi kebutuhan primer rumah tangga dalam sehari

B. Jenis Baterai yang Digunakan

Dari jenis baterai yang dipilih adalah baterai lithium-iron phosphate atau disingkat LiFePO₄ (LFP). Dikutip dari *website solar-led-lights.com* yang berjudul Kelebihan Baterai LiFePO₄ menurut Antony John, Co-Founder Freedom Won Pty Ltd dalam bahasa inggris paket baterai dapat berukuran sampai dengan 60% dari kapasitas (rated) dari paket baterai asam timbal karena efisiensinya hingga 96% dan kemampuan untuk melepaskan pada kesempatan rutin ke 80% DoD dengan efek yang jauh lebih rendah pada pengurangan umur.

C. State of Charge (SoC)

State of Charge atau di singkat SoC adalah rasio antara kapasitas energi yang tersedia dan kapasitas energi maksimum pada baterai dapat digambarkan dengan menggunakan tingkat *State of Charge* (SOC) baterai. SOC baterai ini biasanya dinyatakan dalam persentase dan dapat ditentukan berdasarkan tegangan baterai pada rangkaian terbuka [1].

Estimasi *State of charge* (SoC) adalah salah satu hal yang penting dalam penerapan baterai. Estimasi nilai *state of charge* yang akurat sangat diperlukan untuk menghindari dari kerusakan sistem, mencegah baterai dari keadaan *overcharge* dan *over discharge* yang dapat menyebabkan berkurangnya siklus hidup baterai bahkan menyebabkan kerusakan yang permanen pada baterai.

D. Depth of Discharge (DoD)

Depth of discharge merupakan nilai yang digunakan untuk menggambarkan jumlah kapasitas baterai yang sudah digunakan. Ketentuan Depth of Discharge (DOD) merupakan batasan yang menentukan tingkat maksimum kedalaman discharge yang dapat diterapkan pada baterai. Pengaturan DOD berperan penting dalam menjaga masa pakai baterai tersebut. Semakin dalam DOD yang diterapkan pada baterai, maka semakin singkat pula masa pakai baterai tersebut. Apabila suatu baterai memiliki nilai SoC sebesar 100%, maka DoD baterai sebesar 0%. Apabila suatu baterai memiliki nilai SoC sebesar 60% maka, baterai tersebut memiliki DoD sebesar 40%. Secara sederhananya dapat dikatakan DoD merupakan kebalikan dari SoC. Apabila SoC menyatakan kapasitas baterai yang tersimpan, maka DoD menyatakan banyaknya kapasitas baterai yang sudah digunakan [6].

E. Battery Management System (BMS)

Battery Management System atau disingkat BMS memiliki peran yang sangat penting dalam pemantauan dan

pengendalian operasi baterai. BMS akan memastikan penggunaan baterai yang aman dan efisien dengan melaksanakan berbagai fungsi. BMS berfungsi sangat krusial untuk pemantauan kondisi baterai secara terus-menerus, pengaturan proses pengisian dan pengosongan, serta perlindungan terhadap kondisi yang tidak aman. Selain itu, BMS juga berfungsi sebagai penyeimbang (*balancing*) tegangan antar sel-sel baterai dalam proses *charging* dan *discharging*.

Menurut Lindfeldt et al. (2018), BMS bertanggung jawab dalam memantau tingkat tegangan dan arus, mengatur proses pengisian dan pengosongan, serta melindungi baterai dari kondisi yang tidak aman. BMS akan terus memantau tegangan dan arus yang masuk dan keluar dari baterai, mengidentifikasi kondisi yang tidak normal seperti tegangan terlalu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, arus berlebih, dan kebocoran arus. BMS mengendalikan proses pengisian dan pengosongan berdasarkan tingkat *State of Charge* (SOC) untuk meningkatkan siklus hidup baterai dan mencegah dari kerusakan. Selain itu, BMS melindungi baterai dengan memantau dan merespon kondisi yang tidak aman, termasuk suhu berlebih, tegangan yang tidak stabil, dan arus yang berlebih. BMS memastikan baterai beroperasi dalam parameter yang aman dengan membatasi arus atau mengambil tindakan lain yang diperlukan. Pada paket baterai dengan beberapa sel, BMS menjaga keseimbangan tegangan dengan mendistribusikan arus di antara sel-sel baterai untuk mencegah pengisian berlebih atau pengosongan berlebih yang dapat menyebabkan kerusakan pada baterai[4].

III. PERANCANGAN

A. Diagram Alir Perancangan Sistem



FIGURE 1
Diagram alir perancangan sistem

Pengimplementasian baterai pada alat penyalur daya listrik portable ini mengacu pada peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor 22 tahun 2021 tentang penyediaan stasiun pengisian energi listrik dan alat penyalur daya listrik bagi masyarakat di daerah sulit dijangkau dengan

jaringan listrik. Tahapan untuk pengimplementasian baterai LiFePO4 pada alat penyalur daya listrik portable dimulai dari pengumpulan informasi mengenai cara pengimplementasian baterai, selanjutnya pendataan untuk kebutuhan pengimplementasian baterai, ada dua hal yang dibutuhkan dalam pengimplemntasian ini, yaitu pengubah arus DC ke arus AC dan modul *battery charger*. Selanjutnya dilakukan pengujian efisiensi baterai terhadap beban dengan daya terkecil hingga terbesar. Saat dilakukan pengujian, pengambilan data serta dokumentasi juga perlu dilakukan. Langkah terakhir adalah pembuatan analisis untuk merangkum hasil pengujian baterai.

B. Wiring

Sistem baterai adalah antarmuka antara pak baterai, beban, dan sistem daya yang berfungsi untuk kendali hubungan pak baterai ke beban dan hubungan pak baterai ke *charger*. Sistem baterai dilengkapi tampilan (displai), indikator, dan saklar kendali. Sistem baterai dapat terintegrasi dalam BMS.

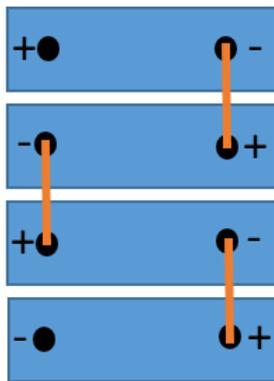


FIGURE 2 Rangkaian baterai 4 seri

Pada pengimplementasian system, diawali dengan membuat wiring antara baterai dan BMS untuk memenuhi pengujian atau kalibrasi pada sub-sistem ini. Untuk baterai dengan tegangan 3,2 Volt dirangkai empat seri seperti pada gambar 1 agar mendapat tegangan yang diinginkan yaitu 12.8 Volt.

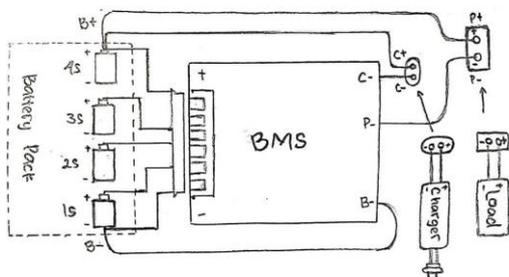


FIGURE 3 Wiring Baterai dengan BMS

IV. PENGUJIAN

A. Langkah pengujian

1. Tentukan daya yang dibutuhkan: Tentukan total daya (dalam watt) dari peralatan atau beban yang akan dioperasikan dengan menggunakan baterai. Pastikan untuk memperhitungkan semua peralatan yang akan dijalankan secara bersamaan dan jumlah waktu yang diinginkan untuk menjalankannya.
2. Hitung energi yang dibutuhkan: Gunakan rumus berikut untuk menghitung energi yang dibutuhkan (dalam watt-hour atau Wh).
3. Tambahkan faktor efisiensi untuk memperhitungkan kerugian daya dalam sistem.
4. Pertimbangkan DoD (depth of discharge) baterai: DoD adalah persentase kapasitas baterai yang dapat digunakan sebelum perlu diisi ulang. Tentukan persentase DoD yang diinginkan dan gunakan dalam perhitungan selanjutnya.
5. Hitung kapasitas baterai: Bagi energi yang dibutuhkan (dalam Wh) dengan persentase DoD yang diinginkan untuk mendapatkan kapasitas baterai yang dibutuhkan (dalam Wh).
6. Konversi ke Ah: Kapasitas baterai sering diukur dalam Ampere-hour (Ah). Untuk mengkonversi dari Wh ke Ah, bagi kapasitas baterai (Wh) dengan tegangan baterai (V).

B. Pengujian

Untuk dapat memenuhi kebutuhan rumah tangga, diperlukan adanya verifikasi kapasitas baterai dalam satuan *Watt-hour* agar dapat dipastikan bahwa tidak ada perbedaan yang jauh dari spesifikasi baterai yang tertera pada *data sheet* dan spesifikasi *realnya*.

TABLE 1 Pengujian baterai menggunakan beban konstan

Pengujian menggunakan beban konstan 200 Watt (2 lampu sorot masing-masing berdaya 100 Watt)		
Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
Energi = Daya (Watt) × Waktu (Jam) = 200 W × 5,5 Jam (5 jam 34 menit) = 1100 Wh	Energi = Daya (Watt) × Waktu (Jam) = 200 W × 5,2 Jam (5 jam 15 menit) = 1040 Wh	Energi = Daya (Watt) × Waktu (Jam) = 200 W × 5,3 Jam (5 jam 20 menit) = 1060 Wh

Dari tabel pengujian 2.1 didapatkan rata-rata energi yang dihasilkan oleh baterai adalah 1066 Wh, ini menunjukkan spesifikasi baterai sudah memenuhi target yang ditentukan pada dokumen capstone design 2 yaitu sebesar 500 Wh.

Berikutnya adalah estimasi State of charge (SoC), SoC adalah salah satu hal yang penting dalam penerapan baterai. Estimasi nilai state of charge yang akurat sangat diperlukan untuk menghindari dari kerusakan sistem, mencegah baterai dari keadaan overcharge dan over discharge yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai.

Sedangkan Depth of discharge merupakan nilai yang digunakan untuk menggambarkan jumlah kapasitas baterai yang sudah digunakan. Apabila suatu baterai memiliki nilai

SoC sebesar 100%, maka DoD baterai sebesar 0%. Apabila suatu baterai memiliki nilai SoC sebesar 60% maka, baterai tersebut memiliki DoD sebesar 40%. Secara sederhananya dapat dikatakan DoD merupakan kebalikan dari SoC. Apabila SoC menyatakan kapasitas baterai yang tersimpan, maka DoD menyatakan banyaknya kapasitas baterai yang sudah digunakan.

TABLE 2
Pengujian efisiensi baterai

Pengujian Efisiensi Baterai		
Discharge current	Charge current	Efisiensi
16,6 A	7,5A	
Kapasitas		
80 Ah	80 Ah	100%
Energi		
1024 Wh	1066 Wh	96.09%

TABLE 3
Pengujian pada beban

Beban	Nama Beban	Daya
Tertinggi	Heater dan sterika	1140 Watt
Terendah	Lampu sorot	100 Watt

Pada table 2 pengurasan baterai berhasil diuji maksimal pengosongan yaitu sebesar 100% (80 Ah terpakai). Tetapi untuk menjaga umur pakai baterai yang optimal dan menjaga kinerja yang baik perlu adanya batasan DoD. Depth of Discharge (DoD) atau kedalaman pembongkaran rata-rata yang umum digunakan untuk baterai LiFePO4 adalah sebesar 80%. dari kapasitas baterai, yang berarti 64 Ah pada kondisi *discharge*. ini bertujuan untuk menjaga umur pakai baterai yang optimal dan menjaga kinerja yang baik.

Dan berikut adalah table SoC dan DoD baterai yang didapatkan setelah melakukan pengujian efisiensi pada baterai LiFePO4.

TABLE 4
SoC dan DoD

Depth of Charge (DoD)	State of Charge (SoC)	Voltage (12V Sytem)	Discharge Capacity (Ah)
0,00%	100,00% (Charging)	14	0,182
0,00%	100,00% (Rest)	13,80	0,203
10,00%	90,00%	13,40	8
20,00%	80,00%	12,80	16
30,00%	70,00%	12,20	24
40,00%	60,00%	11,60	32
50,00%	50,00%	11,00	40

60,00%	40,00%	10,40	48
70,00%	30,00%	9,80	56
80,00%	20,00%	9,20	64
90,00%	10,00%	8,60	72
100,00%	0,00%	8	80

Setelah dilakukan pengujian pada baterai yaitu didapatkan data berikut:

Kondisi Charge:80 Ah

Kondisi Discharge: 80 Ah

DoD (%) = (Kapasitas Awal - Kapasitas Akhir) / Kapasitas Awal x 100%

Di mana:

Kapasitas Awal adalah kapasitas awal baterai, yang merupakan total kapasitas baterai saat sepenuhnya terisi. Kapasitas Akhir adalah kapasitas baterai saat ini setelah digunakan. Untuk menggambarkan rumus ini dalam konteks baterai LiFePO4 12V 80Ah, kapasitas awal baterai adalah 80Ah dan saat ini tersisa 10 Ah setelah digunakan. Maka rumus untuk menghitung DoD-nya:

DoD (%) = (80 Ah - 10 Ah) / 80 Ah x 100%

DoD (%) = 70 Ah / 80 Ah x 100%

DoD (%) = 87,5%

Jadi, kedalaman pembongkaran baterai LiFePO4 12V 80Ah adalah 87,5%. Ini berarti telah menggunakan sekitar 87,5% dari kapasitas total baterai.

Data pada tabel 2 dan 3 bertujuan untuk mendapatkan SoC dan DoD dengan akurat agar dapat menentukan batas *charge* dan *discharge* pada baterai yang digunakan. Dari data yang didapatkan dari produsen baterai yaitu menyarankan penggunaan DoD atau kedalaman pembongkaran rata-rata yang digunakan untuk baterai LiFePO4 12V dengan kapasitas 80Ah adalah 80%.

Ini berarti pada setiap siklus pengisian dan pembongkaran baterai, sekitar 80% dari kapasitas total 80Ah, yaitu sekitar 64Ah, dapat digunakan sebelum baterai perlu diisi ulang. Menggunakan DoD sekitar 80% ini bertujuan untuk menjaga umur pakai baterai yang optimal dan menjaga kinerja yang baik.

Selanjutnya yaitu menghitung kapasitas baterai menggunakan rumus berikut:

Kapasitas Baterai = Energi dibutuhkan (Wh) / Persentase DoD

= 850,5 Wh / 0,8

= 1063,125 Wh

Setelah mendapatkan kapasitas baterai yang dibutuhkan dalam Wh, kemudian dapat dikonversikan ke Ah dengan membaginya dengan tegangan baterai (V) menggunakan rumus berikut:

Ah = Wh / V

= 1063,125 / 12,8

≈ 83,05 Ah

Dapat disimpulkan bahwa kesesuaian nominal kapasitas baterai dengan tabel 2.1 adalah 96,32%.

Table 5
Data Sheet Baterai

#	Item	Rated performance	Remark
1	Nominal capacity	80Ah±5%	Standard discharge after standard charge
2	Nominal voltage	12.8V	Mean operation voltage during standard discharge after standard charge
3	Equivalent Lithium Content (ELC)	96g	
4	Voltage at end of discharge	8.0V	Discharge cut-off voltage
5	Charging voltage	14.0-14.6V	
6	Impedance	< 40mΩ	
7	Standard charge	Constant current: 10A Constant voltage: 14.0V Cut-off current: ≤ 0.02C ₀ A	
8	Standard discharge	Constant current: 10A End voltage: 8.0V	
9	Maximum charge	Constant current: 20A	
10	Maximum continuous discharge current	10A*	

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa baterai LiFePO₄ dengan masing-masing sel baterai bertegangan nominal 3,2 Volt yang di rangkai seri menjadi tegangan 12,8V dan berkapasitas 80Ah (1066Wh) dapat menghidupkan lampu 200Watt, *water heater*, dan peralatan rumah tangga lainnya hingga dapat menghidupkan daya paling rendah dari alat pengujian yaitu lampu berdaya 100Watt hingga peralatan berdaya paling tinggi 1kW.

REFERENSI

- [1] N. Sharma, A. Arora, and M. A. Ali, "A review on Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) based battery technology in electric vehicles," in *Proceedings of Materials Today*, vol. 17, pp. 1365-1370, 2019.
- [2] H. Zhang, D. Zhang, T. Zhang, C. Zhang, and Z. Li, "Performance analysis of a LiFePO₄ battery energy storage system for residential applications," *Energies*, vol. 13, no. 8, article 1909, 2020.
- [3] B. J. Hwang and I. W. Sun (Eds.), *Lithium batteries: Science and technology*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [4] D. Lindfeldt et al., "Battery Management Systems for Electric Vehicles: An Overview of BMS Architectures, Functions, and Algorithms," *Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 11, hal. 8904-8917, Nov. 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2876401
- [5] Rijeng Firanda and Muldi Yuhendri, "Monitoring State Of Charge Accumulator Berbasis Graphical User Interface Menggunakan Arduino," vol. 2, 2021.
- [6] Samsurizal and Sulthon Adi Jaya, "Study of Battery Lifetime in Solar Panels," Nov. 2021.