ANTHOR
Education and Learning Journal
https://anthor.org/index.php/anthor
Email. anthor.Jurnal@gmail.com
E-ISSN: 2963 –198X P-ISSN: 2963–2498 | Halaman: 1658 - 1663 | Volume 5 Nomor 5 Tahun 2026

# Evaluasi Kinerja dan Optimalisasi Pemeliharaan Baterai pada Sistem PLTS Off-Grid untuk Penerangan Koridor Politeknik Negeri Manado

**Informasi Naskah**

**Vardianto Kuvara**[1]
**Willy Sihite**[2]
**Yanuar Bayu Nugraha**[3]
**Yongki Andre Jocom**[4]
**Sukandar Sawidin**[5]
**Meidy P. Y. Kawulur**[6]

Program Studi Alih Jenjang D-IV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Konsentrasi Keahlian Energi Baru Terbarukan, Politeknik Negeri Manado, Indonesia

vardiantokuvara01@gmail.com[1]
willysihite20@gmail.com[2]
yanuarbayu668@gmail.com[3]
yongkiandrejocom@gmail.com[4]

**Abstrak**

Fasilitas Power Plant Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado memiliki sistem baterai PLTS yang memerlukan pemeliharaan terjadwal dan terdokumentasi. Proyek ini mengevaluasi kecukupan energi baterai untuk penerangan Koridor 1 dan menyusun prosedur pemeliharaan berbasis pemeriksaan lapangan. Metode meliputi survei, pengukuran kelistrikan, perhitungan kebutuhan energi, pengujian beban, pemeriksaan baterai, dan analisis ekonomi. Sistem penerangan dirancang dengan beban 200 W dan kebutuhan energi 2 kWh/hari. Baterai 48 V 100 Ah memiliki energi usable teoritis 3,84 kWh pada asumsi DoD 80%. Pengujian mencatat keluaran inverter 220 V, daya beban 200 W, dan tegangan baterai berbeban 48,1 V. Pemeliharaan meliputi pembersihan dan pengencangan terminal, sedangkan SOP/checklist disusun untuk membantu konsistensi inspeksi. Analisis ekonomi dari data proyek menghasilkan LCC Rp25.460.000 dan payback sederhana 16,22 tahun. Kontribusi utama proyek adalah integrasi evaluasi kebutuhan energi dengan prosedur pemeliharaan terdokumentasi; penilaian SoC, SoH, temperatur, dan peningkatan umur baterai belum dapat dilakukan karena data jangka panjang tidak tersedia.

**Kata Kunci**:
*PLTS Off-Grid, Baterai, Pemeliharaan, Penerangan Koridor, Kapasitas Energi.*

***Abstract***

*The Power Plant facility of the Mechanical Engineering Department at Politeknik Negeri Manado uses a PV battery system that requires scheduled and documented maintenance. This project evaluates the battery energy adequacy for Corridor 1 lighting and develops a field-based maintenance procedure. The method includes site surveying, electrical measurements, energy-demand calculations, load testing, battery inspection, and economic analysis. The lighting load is 200 W with a daily energy demand of 2 kWh. A 48 V, 100 Ah battery provides a theoretical usable energy of 3.84 kWh at an assumed 80% depth of discharge. Testing recorded a 220 V inverter output, a 200 W load, and a battery voltage of 48.1 V under load. Maintenance involved cleaning and tightening terminals, while an SOP/checklist was prepared to improve inspection consistency. Based on the project data, the life-cycle cost is Rp25,460,000 and the simple payback period is 16.22 years. The main contribution is the integration of energy-demand evaluation and documented maintenance procedures. Long-term state-of-charge, state-of-health, temperature, and battery-life improvements could not be quantified because longitudinal data were unavailable.*

***Keyword***:
*Off-Grid PV, Battery, Maintenance, Corridor Lighting, Energy Capacity*.

**Information Production:**
© 2026 *by the authors of this article. This work is licensed under an Attribution-ShareAlike* 4.0 *International* (CC BY-SA 4.0)

## PENDAHULUAN

Politeknik Negeri Manado memiliki fasilitas pembelajaran, praktikum, dan Power Plant untuk mendukung kegiatan akademik. Proyek ini berfokus pada Koridor 1 Jurusan Teknik Mesin dan sistem baterai PLTS yang mendukung penerangan. Observasi awal menunjukkan pencahayaan koridor pada sore hingga malam hari perlu ditingkatkan, sementara pemeliharaan baterai belum sepenuhnya terjadwal dan terdokumentasi. Kondisi tersebut penting ditangani karena keandalan baterai memengaruhi kontinuitas suplai energi dan kesiapan fasilitas.

Pada sistem PLTS off-grid, energi dari modul fotovoltaik dikelola oleh solar charge controller (SCC), disimpan dalam baterai, lalu disalurkan melalui inverter ke beban AC. Kinerja baterai dipengaruhi oleh pola pengisian dan pengosongan, temperatur, serta penuaan. Literatur terbaru menekankan pentingnya pemantauan state of charge (SoC) dan state of health (SoH) untuk memahami kondisi baterai dan mendukung pengelolaan umur pakai (Pradhan & Chakraborty, 2022; Nuroldayeva et al., 2023; Hussein et al., 2024).

Penelitian terdahulu membahas pengembangan BMS untuk sistem fotovoltaik, estimasi SoH, dan pengelolaan SoC pada PLTS off-grid (Okay et al., 2022; von Bülow & Meisen, 2023; Jamroen & Vongkoon,

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

2023). Namun, data proyek di Koridor 1 terutama berupa pengukuran kelistrikan sesaat dan pemeriksaan fisik, belum mencakup pencatatan SoC, SoH, temperatur, maupun siklus charge-discharge jangka panjang. Kesenjangan praktis ini menjadi dasar proyek: menghubungkan evaluasi kebutuhan energi dengan hasil pengujian dan SOP pemeliharaan yang dapat diterapkan menggunakan data lapangan yang tersedia. Kontribusi naskah ini adalah dokumentasi terpadu antara evaluasi kapasitas, pengujian beban, dan prosedur pemeliharaan; bukan pengembangan algoritma BMS atau pengukuran SoH.

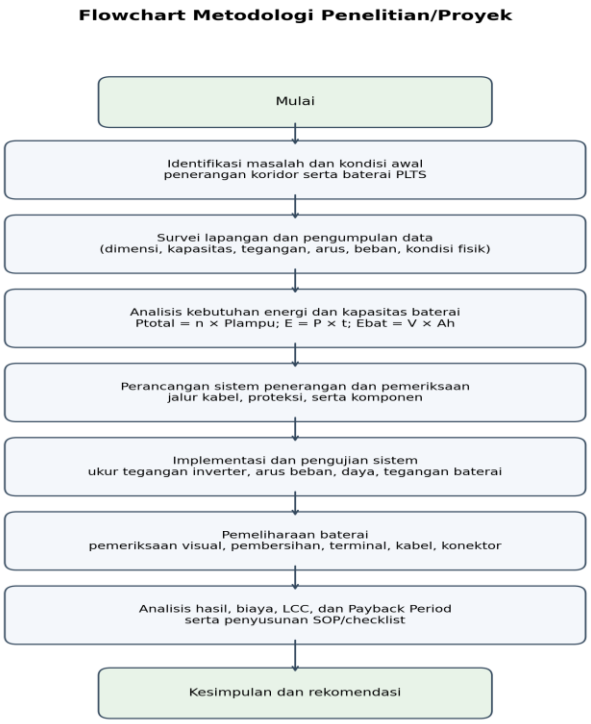
PLTS mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik. Pada konfigurasi off-grid, SCC mengatur proses pengisian, baterai menyimpan energi, dan inverter mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik untuk beban. Perangkat penghantar dan proteksi, seperti MCB dan SPD apabila terpasang, perlu diperiksa untuk menjaga keselamatan instalasi. Pengembangan BMS pada sistem PV dapat membantu mengatur aliran energi dan memantau parameter baterai, tetapi kemampuan tersebut bergantung pada perangkat dan data yang tersedia (Okay et al., 2022).

Berdasarkan data nominal, energi baterai 48 V 100 Ah adalah $E_{bat} = V \times Ah = 48 \times 100 = 4.800$ Wh. Dengan asumsi DoD perencanaan 80%, energi usable adalah $E_{usable} = E_{bat} \times DoD = 4.800 \times 0{,}80 = 3.840$ Wh. Untuk beban 200 W selama 10 jam, kebutuhan energi harian $E_{load} = P \times t = 200 \times 10 = 2.000$ Wh/hari. Kebutuhan tersebut setara dengan 41,67% energi nominal atau 52,08% energi usable. Nilai ini merupakan perhitungan teoritis dan belum memperhitungkan rugi-rugi inverter, kabel, serta variasi produksi PV.

Preventive maintenance dilakukan secara terjadwal melalui pemeriksaan visual, kebersihan, terminal, kabel, konektor, dan parameter kelistrikan. Predictive maintenance memerlukan tren data seperti tegangan, arus, temperatur, SoC, dan SoH untuk mendeteksi perubahan kondisi; SoH tidak dapat ditentukan hanya dari satu pengukuran tegangan (Nuroldayeva et al., 2023; Yang et al., 2024). Corrective maintenance dilakukan ketika ditemukan kondisi yang memerlukan perbaikan. Pada proyek ini, data SoC, SoH, dan temperatur tidak tersedia, sehingga pembahasan pemeliharaan prediktif dibatasi pada rekomendasi parameter yang sebaiknya dicatat.

## METODE PENELITIAN

Proyek dilakukan melalui identifikasi kondisi awal, survei lapangan, pengumpulan data dimensi dan kelistrikan, perhitungan kebutuhan energi dan kapasitas baterai, perancangan penerangan, implementasi, pengujian, pemeliharaan baterai, penyusunan SOP/checklist, serta evaluasi ekonomi. Analisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif: hasil pengukuran dibandingkan dengan kebutuhan beban, sedangkan kapasitas energi dan indikator ekonomi dihitung dari data proyek. Tidak dilakukan pemodelan BMS atau pengujian kapasitas baterai melalui siklus charge-discharge.




Gambar 1. Flowchart metodologi pelaksanaan proyek

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

**Pengumpulan Data dan Pengukuran**

Data yang digunakan meliputi dimensi koridor, jumlah dan daya lampu, kapasitas PLTS, kapasitas baterai, tegangan bank baterai, arus saat pengukuran, tegangan keluaran inverter, daya beban, serta kondisi casing, terminal, kabel, konektor, kebersihan, korosi, dan kebocoran. Dokumentasi proyek tidak mencantumkan merek, model, nomor seri, maupun akurasi alat ukur. Oleh karena itu, instrumen dicatat secara transparan sebagai alat ukur kelistrikan yang digunakan saat pengukuran, dengan spesifikasi teknis yang belum dapat diverifikasi. Untuk replikasi pengujian, penulis perlu melengkapi jenis/merek/model multimeter atau clamp meter, rentang ukur, akurasi sesuai datasheet, tanggal kalibrasi, serta metode pengukuran arus dan tegangan.

**Perancangan dan Perhitungan**

Beban penerangan terdiri atas 20 lampu LED dengan daya nominal 10 W per unit. Total daya dihitung dengan $P_{total} = n \times P_{lampu} = 20 \times 10 = 200$ W. Kebutuhan energi harian dihitung dengan $E_{load} = P_{total} \times t = 200 \times 10 = 2.000$ Wh/hari. Energi nominal baterai dihitung dengan $E_{bat} = V \times Ah = 48 \times 100 = 4.800$ Wh. Energi usable berdasarkan DoD 80% adalah $E_{usable} = 4.800 \times 0{,}80 = 3.840$ Wh. Persentase pemakaian energi usable = $(E_{load} / E_{usable}) \times 100\% = (2.000 / 3.840) \times 100\% = 52{,}08\%$.

**Pengujian dan Pemeliharaan**

Pengujian dilakukan dengan mencatat tegangan keluaran inverter, arus total beban, daya aktual, dan tegangan baterai saat berbeban. Pemeliharaan meliputi pembersihan permukaan baterai, pemeriksaan dan pengencangan terminal, pemeriksaan isolasi serta jalur kabel, pemeriksaan konektor, dan pencatatan parameter. Karena merek/model serta akurasi instrumen tidak tersedia dalam dokumen sumber, hasil pengukuran dilaporkan sebagaimana tercatat dan tidak disertai estimasi ketidakpastian alat.



Gambar 2. Dokumentasi komponen/instalasi proyek.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Eksisting dan Hasil Pengukuran

Tabel 1. Data kondisi awal dan parameter system

| Parameter | Hasil |
|---|---|
| Panjang koridor | 160 m |
| Lebar koridor | 2,50 m |
| Luas koridor | ±400 m² |
| Tinggi pemasangan lampu | 3,50 m |
| Kapasitas PLTS | 3.000 Wp (8 × 375 Wp) |
| Baterai | 48 V, 100 Ah |
| Tegangan bank baterai | 50,8 V |
| Arus baterai saat pengukuran | 4,6 A |
| Tegangan inverter | 220 V |
| Daya keluaran inverter | 200 W |

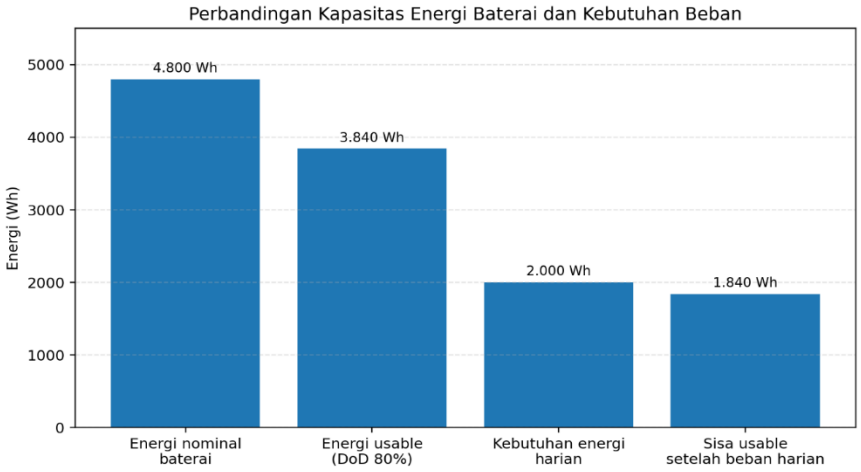
**Perancangan Sistem Penerangan**

Hasil survei menghasilkan rancangan 20 titik lampu LED 10 W yang dipasang secara merata sepanjang Koridor 1.

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

Total daya nominal adalah 200 W. Lampu dirancang terhubung paralel sehingga gangguan pada satu titik tidak langsung memadamkan titik lainnya. Jalur instalasi menggunakan kabel NYM 2 × 1,5 mm² serta MCB dan saklar manual sebagaimana tercatat pada dokumen proyek. Aliran energi sistem adalah panel surya → SCC → baterai → inverter → panel distribusi/MCB → saklar → lampu LED. → saklar → lampu LED.

## Kecukupan Kapasitas Baterai




Gambar 3. Grafik perbandingan kapasitas energi baterai dan kebutuhan energi harian.

Tabel 2. Analisis kapasitas baterai.

| Parameter | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| Energi nominal baterai | 4.800 Wh | 48 V × 100 Ah |
| DoD perencanaan | 80% | Batas penggunaan |
| Energi usable | 3.840 Wh | 4.800 × 80% |
| Kebutuhan penerangan | 2.000 Wh/hari | 200 W × 10 jam |
| Pemakaian dari energi usable | 52,08% | 2.000 / 3.840 |
| Sisa energi usable | 1.840 Wh | Secara teoritis |
| Estimasi operasi maksimum | ±19,2 jam | Pada 200 W dan DoD 80% |

## Hasil Implementasi dan Pengujian

Tabel 3. Hasil pengukuran kelistrikan setelah instalasi

| Parameter pengujian | Hasil |
|---|---|
| Tegangan output inverter | 220 V |
| Arus total beban | 0,91 A |
| Daya aktual | 200 W |
| Tegangan baterai saat berbeban | 48,1 V |

Hasil pengujian menunjukkan beban penerangan dapat beroperasi sesuai rancangan pada saat pengujian. Tegangan inverter tercatat 220 V, arus beban 0,91 A, daya aktual 200 W, dan tegangan baterai saat berbeban 48,1 V. Data ini mendukung kesimpulan bahwa sistem menyuplai beban pada kondisi uji, tetapi belum membuktikan kapasitas aktual baterai, efisiensi pengisian, ataupun umur pakainya. Penilaian tersebut membutuhkan pengukuran berulang dan pencatatan energi masuk/keluar.

## Hasil Pemeliharaan Baterai dan SOP

Tabel 4. Kondisi sebelum dan sesudah maintenance.

| Parameter | Sebelum | Tindakan | Sesudah |
|---|---|---|---|
| Kebersihan | Cukup bersih | Pembersihan | Bersih |
| Terminal | Baik, perlu pengencangan | Dibersihkan & dikencangkan | Baik dan kencang |
| Kabel | Baik | Periksa isolasi & jalur | Baik |
| Tegangan bank | 50,8 V | Monitoring | 50,8 V |
| Kondisi keseluruhan | Baik | Inspeksi & maintenance | Baik dan siap operasi |

SOP yang disusun mencakup preventive maintenance melalui pemeriksaan visual, kebersihan, terminal, kabel, konektor, dan pengukuran parameter. Untuk predictive maintenance, catatan berkala sebaiknya meliputi tegangan, arus pengisian/pengosongan, temperatur, serta SoC dan SoH jika tersedia dari sistem pemantauan.

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

SoC menunjukkan perkiraan tingkat energi yang tersisa, sedangkan SoH menggambarkan kondisi kapasitas/kinerja baterai relatif terhadap kondisi acuan. Temperatur perlu dipantau karena kondisi termal yang tidak sesuai dapat mempercepat degradasi atau memicu proteksi baterai; ambang batas harus mengikuti spesifikasi pabrikan. Corrective maintenance dilakukan berdasarkan temuan inspeksi dan prosedur keselamatan.

**Analisis Ekonomi**

Tabel 5. Ringkasan biaya dan indikator ekonomi proyek.

| Komponen | Nilai |
|---|---|
| Biaya material | Rp3.460.000 |
| Biaya instalasi | Rp2.500.000 |
| Biaya maintenance baterai | Rp650.000 |
| Investasi awal aktual | Rp17.760.000 |
| Biaya O&M | Rp650.000/tahun |
| Biaya penggantian komponen | Rp1.200.000 |
| Periode analisis LCC | 10 tahun |
| Life Cycle Cost | Rp25.460.000 |
| Penghematan tahunan | Rp1.095.000/tahun |
| Payback Period | 16,22 tahun |

Biaya material penerangan tercatat Rp3.460.000, biaya instalasi Rp2.500.000, dan biaya pemeliharaan baterai Rp650.000. Berdasarkan rekapitulasi dokumen proyek, investasi awal aktual sebesar Rp17.760.000 dan LCC selama 10 tahun sebesar Rp25.460.000. Dengan asumsi konsumsi energi penerangan 730 kWh/tahun dan tarif pembanding Rp1.500/kWh, nilai energi yang tergantikan dihitung sebesar 730 × Rp1.500 = Rp1.095.000/tahun. Payback Period sederhana = investasi awal / penghematan tahunan = Rp17.760.000 / Rp1.095.000 = 16,22 tahun. Perhitungan ini bersifat indikatif karena rincian komponen investasi dan dasar penghematan perlu diverifikasi terhadap bukti biaya serta skenario pembanding listrik.

**Pembahasan**

Hasil proyek mengaitkan kebutuhan beban, kapasitas energi nominal, pengujian kelistrikan, dan pemeliharaan fisik. Beban 200 W selama 10 jam memerlukan 2 kWh/hari, sedangkan energi usable teoritis baterai 48 V 100 Ah pada DoD 80% adalah 3,84 kWh. Perbandingan tersebut menunjukkan kecukupan secara teoritis untuk satu hari operasi, tetapi bukan jaminan otonomi aktual karena efisiensi inverter, rugi-rugi, kondisi baterai, dan produksi PV belum diukur secara berkelanjutan. Pengelolaan SoC dapat membantu menjaga batas pengisian/pengosongan dan memengaruhi kebutuhan kapasitas sistem off-grid (Jamroen & Vongkoon, 2023).

Pembersihan dan pengencangan terminal menghasilkan kondisi fisik yang lebih siap operasi berdasarkan pemeriksaan yang dicatat, sementara tegangan bank tetap 50,8 V. Namun, tegangan sesaat tidak cukup untuk menilai SoH atau kapasitas sisa baterai. Literatur menunjukkan estimasi SoH memerlukan metode dan data yang sesuai, misalnya tren operasi atau pengujian khusus (Pradhan & Chakraborty, 2022; Yang et al., 2024). Karena itu, SOP dan checklist dalam proyek ini merupakan fondasi pemeliharaan terstruktur; evaluasi prediktif kuantitatif baru dapat dilakukan setelah data berkala tersedia.

## KESIMPULAN

Sistem penerangan Koridor 1 berhasil dirancang dan diuji, dan hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menyuplai beban sesuai rancangan pada kondisi pengujian. Perhitungan menunjukkan kapasitas baterai secara teoritis mencukupi untuk kebutuhan energi penerangan harian pada asumsi DoD yang digunakan, dengan catatan rugi-rugi dan kondisi aktual baterai belum diukur secara berkelanjutan. Pemeriksaan dan pengujian mencatat parameter kelistrikan yang konsisten dengan operasi beban, tetapi data satu kali pengujian belum cukup untuk menyimpulkan kapasitas aktual, SoH, atau umur baterai. Pembersihan, pemeriksaan kabel, dan pengencangan terminal mendukung kesiapan operasi. SOP dan checklist memberikan dasar untuk pemeliharaan yang lebih konsisten dan terdokumentasi. Analisis ekonomi menunjukkan payback sederhana lebih panjang daripada periode LCC yang dianalisis, sehingga keputusan investasi perlu mempertimbangkan kembali rincian biaya, asumsi penghematan, dan manfaat operasional nonfinansial.

**Rekomendasi**

Melaksanakan inspeksi baterai dan instalasi secara berkala menggunakan SOP/checklist yang konsisten. Mencatat tegangan, arus pengisian/pengosongan, temperatur, waktu pengukuran, kondisi beban, serta tindakan pemeliharaan pada setiap inspeksi. Mengonfirmasi tipe baterai dan ketersediaan fitur monitoring; apabila

e-ISSN: 2963 – 198X
p-ISSN: 2963 – 2498

tersedia, gunakan data SoC dan SoH sesuai panduan pabrikan. Jangan menyimpulkan SoH dari tegangan sesaat saja. Mencatat merek/model, rentang, akurasi, dan status kalibrasi alat ukur pada laporan pengujian berikutnya. Memverifikasi kembali rincian investasi, biaya operasi, biaya penggantian, dan dasar penghematan sebelum menggunakan indikator ekonomi untuk keputusan investasi.

**REFERENSI**

Hussein, H. M., Aghmadi, A., Abdelrahman, M. S., Rafin, S. M. S. H., & Mohammed, O. (2024). A review of battery state of charge estimation and management systems: Models and future prospective. WIREs Energy and Environment, 13(1), e507. https://doi.org/10.1002/wene.507

Jamroen, C., & Vongkoon, P. (2023). The role of state-of-charge management in optimal techno-economic battery energy storage sizing for off-grid residential photovoltaic systems. Journal of Energy Storage, 72, 108246. https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108246

Nuroldayeva, G., Serik, Y., Adair, D., Uzakbaiuly, B., & Bakenov, Z. (2023). State of health estimation methods for lithium-ion batteries. International Journal of Energy Research, 2023, Article 4297545. https://doi.org/10.1155/2023/4297545

Okay, K., Eray, S., & Eray, A. (2022). Development of prototype battery management system for PV system. Renewable Energy, 181, 1294–1304. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.118

Pradhan, S. K., & Chakraborty, B. (2022). Battery management strategies: An essential review of battery state-of-health monitoring techniques. Journal of Energy Storage, 51, 104427. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104427

von Bülow, F., & Meisen, T. (2023). A review on methods for state of health forecasting of lithium-ion batteries applicable in real-world operational conditions. Journal of Energy Storage, 57, 105978. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105978

Yang, B., Qian, Y., Li, Q., Chen, Q., Wu, J., Luo, E., Xie, R., Zheng, R., Yan, Y., Su, S., & Wang, J. (2024). Critical summary and perspectives on state-of-health of lithium-ion battery. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 190, 114077. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114077