



Studi Komparatif Efisiensi CC-CV pada BESS Skala Rumah Tangga dan Grid

Comparative Study of CC-CV Efficiency in Residential- and Grid-Scale Battery Energy Storage Systems

Muhammad Ikhsan Satria Yasin^{1*}, Muhammad Raka Riskia Putera²,
Andika Putra Pratama³, Yoga Yudi Pratama⁴

Universitas Pendidikan Indonesia

Email : ikhsanyasin455@student.upi.edu^{1*}, rakarisekiya@student.upi.edu², andikaputrapratama@student.upi.edu³, yogayudipratama07@student.upi.edu⁴

Article Info

Article history:

Received : 09-05-2026

Revised : 11-05-2026

Accepted : 13-05-2026

Published : 15-05-2026

Abstract

Battery Energy Storage Systems (BESS) play an important role in improving energy storage efficiency and operational stability in both residential- and grid-scale applications. Among various charging strategies, the Constant Current–Constant Voltage (CC-CV) method is widely implemented; however, its efficiency characteristics vary depending on system scale and operational complexity. A comparative analysis was conducted to evaluate the efficiency performance of the CC-CV method in residential- and grid-scale BESS using a semi-quantitative literature review approach. The analysis focused on the characteristics of the constant current (CC) and constant voltage (CV) phases, charging efficiency distribution, and the operational factors influencing system performance at each implementation scale. The results indicate that the CC phase exhibits relatively higher charging efficiency due to stable energy transfer, whereas the CV phase becomes a critical point of efficiency degradation because of longer charging duration and increased energy losses. Residential-scale BESS generally demonstrates more stable efficiency due to lower system complexity and moderate operating conditions, while grid-scale BESS faces greater efficiency challenges caused by dynamic load variation, multi-stage converter complexity, and higher thermal management requirements. These findings indicate that CC-CV optimization should be adapted to the operational characteristics of each system scale to improve charging efficiency and overall BESS reliability.

Keywords : *Battery Energy Storage System, CC-CV, charging efficiency*

Abstrak

Battery Energy Storage System (BESS) berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyimpanan energi dan stabilitas operasional pada aplikasi skala rumah tangga maupun skala grid. Di antara berbagai strategi pengisian, metode Constant Current–Constant Voltage (CC-CV) banyak digunakan, namun karakteristik efisiensinya berbeda bergantung pada skala sistem dan kompleksitas operasionalnya. Analisis komparatif dilakukan untuk mengevaluasi performa efisiensi metode CC-CV pada BESS skala rumah tangga dan skala grid menggunakan pendekatan studi literatur semi-kuantitatif. Analisis difokuskan pada karakteristik fase constant current (CC) dan constant voltage (CV), distribusi efisiensi pengisian, serta faktor operasional yang memengaruhi kinerja sistem pada masing-masing skala implementasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa fase CC memiliki efisiensi pengisian yang relatif lebih tinggi karena transfer energi berlangsung stabil, sedangkan fase CV menjadi titik kritis penurunan efisiensi akibat durasi pengisian yang lebih panjang dan meningkatnya rugi-rugi energi. BESS skala rumah tangga umumnya menunjukkan efisiensi yang lebih stabil karena kompleksitas sistem yang lebih rendah dan kondisi operasi yang moderat, sedangkan BESS skala grid menghadapi tantangan efisiensi yang lebih besar akibat variasi beban dinamis, kompleksitas konverter multi-tahap, serta kebutuhan manajemen termal yang lebih tinggi. Hasil kajian mengindikasikan bahwa optimasi



metode CC-CV perlu disesuaikan dengan karakteristik operasional pada masing-masing skala sistem guna meningkatkan efisiensi pengisian dan keandalan BESS secara keseluruhan.

Kata Kunci : Battery Energy Storage System, CC-CV, efisiensi pengisian

PENDAHULUAN

Perkembangan sistem energi modern yang semakin mengarah pada integrasi sumber energi terbarukan menuntut keberadaan sistem penyimpanan energi yang andal dan efisien. *Battery Energy Storage System* (BESS) berbasis baterai lithium-ion menjadi salah satu solusi utama karena kemampuannya dalam menyimpan energi, meredam fluktuasi daya, serta meningkatkan stabilitas dan fleksibilitas operasi sistem tenaga listrik (Hesse, Schimpe, Kucevic, & Jossen, 2017). Selain berfungsi sebagai penyimpan energi, BESS juga berperan dalam mendukung kualitas daya dan keandalan sistem, khususnya pada aplikasi dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi.

Kinerja BESS sangat dipengaruhi oleh metode pengisian baterai yang digunakan. Metode *Constant Current–Constant Voltage* (CC-CV) merupakan pendekatan yang paling umum diterapkan pada baterai lithium-ion karena kesederhanaan implementasi dan keandalannya dalam menjaga batas operasi baterai. Metode ini terdiri dari dua fase utama, yaitu fase arus konstan pada tahap awal pengisian dan fase tegangan konstan pada tahap akhir hingga kondisi penuh tercapai. Perbedaan karakteristik pada kedua fase tersebut berdampak langsung terhadap profil arus, tegangan, serta distribusi energi selama proses pengisian.

Efisiensi proses pengisian menjadi parameter penting dalam mengevaluasi performa sistem BESS. Rugi-rugi energi dapat timbul akibat resistansi internal baterai, proses konversi daya pada sistem *power electronics*, serta efek termal selama pengisian berlangsung. Karakteristik listrik baterai dan kondisi operasional memiliki pengaruh signifikan terhadap performa dan efisiensi sistem secara keseluruhan (M. Chen & Rincon-Mora, 2006). Dengan demikian, analisis efisiensi tidak hanya berkaitan dengan metode pengisian, tetapi juga mencakup interaksi antara komponen dalam sistem.

Selain faktor metode dan kondisi operasional, skala implementasi BESS turut mempengaruhi karakteristik sistem secara signifikan. BESS skala rumah tangga umumnya beroperasi pada tingkat daya yang lebih rendah dengan konfigurasi sistem yang relatif sederhana, sedangkan BESS skala grid melibatkan daya yang jauh lebih besar, kompleksitas konverter yang lebih tinggi, serta kebutuhan manajemen energi yang lebih canggih. Perbedaan tersebut berimplikasi pada variasi efisiensi konversi daya dan distribusi rugi-rugi energi dalam sistem.

Kajian yang secara langsung mengaitkan efisiensi metode CC-CV dengan perbedaan skala implementasi sistem masih terbatas, khususnya dalam menganalisis kontribusi fase arus konstan dan tegangan konstan terhadap efisiensi total pada masing-masing skala. Selain itu, pendekatan komparatif yang secara sistematis membandingkan performa metode CC-CV antara BESS skala rumah tangga dan skala grid belum banyak dilaporkan. Keterbatasan ini menunjukkan perlunya analisis yang lebih terintegrasi untuk memahami perbedaan karakteristik efisiensi serta faktor-faktor yang mempengaruhinya dalam konteks skala sistem yang berbeda.



METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif semi-kuantitatif dengan metode studi literatur komparatif untuk menganalisis efisiensi metode *Constant Current–Constant Voltage* (CC-CV) pada *Battery Energy Storage System* (BESS) dalam skala rumah tangga dan skala grid. Data diperoleh dari artikel jurnal dan publikasi open-access yang relevan, kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik dan ketersediaan informasi terkait efisiensi serta karakteristik sistem. Analisis dilakukan dengan mengklasifikasikan data berdasarkan parameter utama seperti skala sistem, metode pengisian, dan nilai efisiensi, serta membandingkan hasil yang dilaporkan untuk mengidentifikasi pola dan perbedaan performa. Pendekatan studi literatur memungkinkan sintesis berbagai temuan penelitian untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif terhadap suatu topik (Snyder, 2019), sementara analisis komparatif digunakan untuk mengevaluasi perbedaan karakteristik sistem berdasarkan variabel yang diteliti (Page et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Metode CC-CV

Metode *Constant Current–Constant Voltage* (CC-CV) merupakan strategi pengisian yang disesuaikan dengan karakteristik operasional baterai lithium-ion, khususnya dalam menjaga batas tegangan dan arus selama proses pengisian. Pada fase *constant current* (CC), arus dijaga konstan sehingga energi dapat ditransfer dengan laju tinggi hingga tegangan baterai mencapai batas maksimum yang telah ditentukan. Setelah titik tersebut tercapai, sistem beralih ke fase *constant voltage* (CV), di mana tegangan dipertahankan konstan dan arus secara bertahap menurun. Mekanisme ini diperlukan untuk mencegah kondisi tegangan berlebih yang dapat mempercepat degradasi baterai serta menurunkan umur pakai (Dubarry, Truchot, & Liaw, 2012; Li, Murphy, Winnick, & Kohl, 2001).

Perbedaan karakteristik antara fase CC dan CV tidak hanya berkaitan dengan parameter kontrol, tetapi juga mempengaruhi dinamika pengisian secara keseluruhan. Fase CC mendominasi proses awal dengan kontribusi energi yang besar dalam waktu relatif singkat, sedangkan fase CV berlangsung lebih lama dengan laju pengisian yang semakin menurun. Durasi fase CV dapat meningkat secara signifikan tergantung pada kondisi pengisian dan karakteristik baterai, yang pada akhirnya mempengaruhi distribusi energi dan waktu total pengisian (Li et al., 2001). Selain itu, perubahan dari kontrol arus ke kontrol tegangan juga berdampak pada stabilitas proses dan interaksi antara sistem baterai dan konverter daya, yang menjadi salah satu faktor penting dalam performa sistem secara keseluruhan (Hu, Li, & Peng, 2012).

Efisiensi Konversi Daya pada CC-CV

Efisiensi konversi daya dalam proses pengisian baterai merupakan hasil dari interaksi kompleks antara baterai, konverter daya, dan kondisi operasional sistem. Dalam metode CC-CV, variasi arus dan tegangan sepanjang proses pengisian menyebabkan efisiensi tidak bersifat konstan, melainkan berubah sesuai dengan fase pengisian. Pada fase CC, arus yang stabil memungkinkan transfer energi berlangsung lebih efektif, meskipun rugi-rugi konduksi tetap terjadi akibat resistansi internal baterai (Hu et al., 2012). Selain itu, karakteristik internal baterai juga berperan dalam menentukan distribusi rugi-rugi energi selama proses pengisian (Dubarry et al., 2012).



Sebaliknya, pada fase CV, arus yang menurun secara bertahap menyebabkan peningkatan durasi pengisian serta proporsi rugi-rugi energi yang lebih besar relatif terhadap energi yang tersimpan. Kondisi ini menjadikan fase CV sebagai salah satu faktor yang membatasi efisiensi total proses pengisian, terutama pada tahap mendekati kapasitas penuh (Hu et al., 2012; Li et al., 2001). Di sisi lain, efisiensi sistem juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik konverter daya, termasuk rugi-rugi switching dan performa topologi yang digunakan. Oleh karena itu, evaluasi efisiensi pada metode CC-CV perlu mempertimbangkan kontribusi masing-masing fase serta interaksi antar komponen dalam sistem secara menyeluruh (Dubarry et al., 2012).

Analisis Efisiensi Fase CC dan CV

Perbedaan karakteristik antara fase *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV) tidak hanya mempengaruhi dinamika pengisian, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap efisiensi konversi daya secara keseluruhan. Pada fase CC, arus yang dijaga konstan memungkinkan transfer energi berlangsung secara stabil dengan rugi-rugi konduksi yang sebanding dengan resistansi internal baterai. Dalam kondisi ini, sebagian besar energi yang disuplai dapat dikonversi menjadi energi tersimpan dengan efisiensi yang relatif tinggi, terutama pada tahap awal pengisian ketika gradien tegangan masih rendah dan sistem belum memasuki kondisi saturasi (Hu et al., 2012; Waldmann, Wilka, Kasper, Fleischhammer, & Wohlfahrt-Mehrens, 2014).

Sebaliknya, pada fase CV, penurunan arus yang signifikan disertai dengan peningkatan durasi pengisian menyebabkan rasio antara energi yang hilang dan energi yang tersimpan menjadi lebih besar. Meskipun arus yang kecil mengurangi rugi-rugi konduksi secara absolut, waktu pengisian yang lebih panjang justru meningkatkan akumulasi rugi-rugi energi, termasuk efek termal dan kehilangan pada konverter daya. Selain itu, kondisi mendekati kapasitas penuh menyebabkan peningkatan resistansi internal efektif, yang turut menurunkan efisiensi relatif fase ini (Dubarry et al., 2012; Li et al., 2001; Waldmann et al., 2014).

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Fase CC dan CV

Parameter	Fase Constant Current (CC)	Fase Constant Voltage (CV)
Rentang Efisiensi	92–96%	85–92%
Kontribusi Energi	60-80% dari total energi	20-40% dari total energi
Durasi Pengisian	Relatif singkat	Lebih panjang
Profil Arus	Konstan	Menurun secara eksponensial
Dominasi Rugi- Rugi	Resistive (I^2R losses)	Thermal & conversion losses
Kondisi Operasi	Tegangan meningkat	Tegangan konstan, mendekati penuh
Dampak terhadap efisiensi total	Lebih dominan positif	Menjadi bottleneck efisiensi

Tabel tersebut menunjukkan bahwa fase CC tidak hanya memiliki efisiensi relatif yang lebih tinggi, tetapi juga menyumbang porsi energi terbesar dalam proses pengisian. Sebaliknya, fase CV meskipun berkontribusi lebih kecil terhadap total energi, memiliki dampak yang signifikan terhadap efisiensi total karena durasi yang lebih panjang dan meningkatnya proporsi rugi-rugi energi. Temuan ini mengindikasikan bahwa fase CV menjadi titik kritis dalam optimasi efisiensi metode CC-CV, terutama dalam konteks pengisian hingga kapasitas penuh.



Perbandingan Skala Rumah dan Skala Grid

BESS skala rumah tangga umumnya dirancang dengan kapasitas antara 5 hingga 20 kWh, dikonfigurasi dalam modul sederhana yang terintegrasi dengan panel surya rooftop PV. Arsitektur inverter bidireksional yang digunakan memiliki daya nominal antara 3 hingga 10 kW, dengan BMS yang beroperasi pada kompleksitas moderat karena jumlah sel yang dikelola terbatas. Profil pengisian bersifat stabil dan dapat diprediksi, mengikuti siklus irradiansi harian dengan duty cycle yang teratur. Sebaliknya, BESS skala grid dirancang dengan kapasitas mulai dari ratusan kWh hingga puluhan MWh, tersusun dalam hierarki blok, modul, dan rak yang terdiri dari ribuan sel individual, dilengkapi dengan sistem pengelolaan termal dan konverter daya elektronik yang jauh lebih kompleks dibandingkan sistem residensial (Reniers & Howey, 2023).

Dari sisi profil pengisian CC-CV, sistem residensial beroperasi pada C-rate moderat antara 0,5C hingga 1C, menghasilkan transisi fase CC ke CV yang bertahap dengan tekanan elektrokimia minimal pada elektroda. Pada skala grid, profil operasi bersifat lebih dinamis karena sistem merespons sinyal dispatch dari operator jaringan dalam rentang waktu singkat, sehingga C-rate dapat bervariasi secara cepat. Sistem grid juga sering mengalami partial state-of-charge (PSOC) cycling di mana fase CV tidak selalu dicapai secara penuh dalam setiap siklus, dan kerugian energi pada konverter serta sistem auxiliary cenderung mendominasi total losses terutama pada kondisi utilisasi rendah (Reniers & Howey, 2023). Efisiensi round-trip pada sistem residensial berbasis lithium-ion umumnya berada pada rentang 85% hingga 95% bergantung pada C-rate dan suhu operasi (G. J. Chen & Chung, 2023), sedangkan pada skala grid efisiensi dipengaruhi oleh lapisan kerugian yang lebih kompleks mencakup kerugian konverter, beban sistem pendingin aktif, dan balancing antar-sel. Penggunaan metode pengisian yang tidak tepat pada skala grid dapat mengakibatkan peningkatan suhu permukaan sel yang signifikan, menambah beban termal pada sistem pendingin dan menekan efisiensi keseluruhan (Su et al., 2023). Pengendalian suhu dengan metode proportional control terbukti mampu meningkatkan efisiensi sistem sebesar 5 poin persentase sekaligus meningkatkan total energi yang dapat digunakan sebesar 5% setelah 10 tahun operasi (Reniers & Howey, 2023).

Mekanisme degradasi baterai lithium-ion sangat bergantung pada suhu operasi, dengan lithium plating dominan pada suhu rendah dan dekomposisi SEI dominan pada suhu tinggi (Waldmann et al., 2014). Pada sistem residensial, C-rate yang moderat dan kondisi termal yang lebih stabil menghasilkan distribusi lithium yang lebih merata dalam elektroda serta mengurangi gradien konsentrasi yang memicu tegangan mekanik lokal (Li et al., 2001). Pada sistem grid-scale, tekanan termal dan mekanik yang lebih tinggi akibat C-rate besar dan duty cycle yang tidak beraturan mempercepat degradasi, khususnya melalui mekanisme kehilangan lithium aktif, kehilangan material aktif elektroda, dan peningkatan resistansi internal yang secara kumulatif berkontribusi terhadap capacity fade (Dubarry et al., 2012). Optimasi strategi pengisian pada skala grid dengan mempertimbangkan distribusi utilisasi kapasitas terbukti mampu meningkatkan capacity utilization rate dari 75,1% menjadi 79,9%, yang secara tidak langsung berkontribusi pada pengelolaan degradasi yang lebih merata (Gan, Junhui, Gang, & Gangui, n.d.).



Tabel 1. Perbandingan BESS Skala Rumah Tangga dan Grid

Parameter	Skala Rumah Tangga	Skala Grid
Kapasitas system	5–20 kWh	Ratusan kWh – puluhan MWh
C-rate pengisian	0,5C – 1C	1C – 3C (dinamis)
Profil duty cycle	Teratur, harian	Tidak beraturan, PSOC cycling
Efisiensi round-trip	85–95%	78–92%
Sistem pendinginan	Pasif / forced air	Aktif (liquid cooling / HVAC)
Kompleksitas BMS	Moderat	Tinggi
Dominasi kerugian	Resistif internal + inverter	Konverter + auxiliary + balancing
Laju degradasi	Lambat, merata	Lebih cepat, tidak merata antar-sel

Faktor Penyebab Perbedaan Efisiensi CC-CV antara Skala Rumah Tangga dan Skala Grid

Perbedaan efisiensi pengisian CC-CV antara BESS skala rumah tangga dan skala grid tidak bersumber dari satu faktor tunggal, melainkan dari interaksi beberapa variabel teknis yang saling memengaruhi. Faktor pertama adalah perbedaan C-rate operasi. Pada skala rumah tangga, pengisian berlangsung pada C-rate rendah hingga moderat (0,5C–1C), sehingga hambatan internal sel tidak membangkitkan panas yang signifikan dan kerugian resistif tetap minimal. Pada sistem grid-scale, C-rate yang lebih tinggi akibat kebutuhan respons cepat terhadap sinyal jaringan menyebabkan peningkatan voltage drop internal yang lebih besar, yang secara langsung menekan efisiensi fase CC dan memperpendek jendela operasi fase CV (Reniers & Howey, 2023). Adopsi arus pengisian yang lebih tinggi untuk mempersingkat waktu pengisian terbukti berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap keamanan dan efisiensi baterai lithium-ion secara keseluruhan (G. J. Chen & Chung, 2023).

Faktor kedua adalah kompleksitas sistem auxiliary dan kerugian konverter. Pada skala residensial, kerugian sistem bersumber dominan dari inverter tunggal yang bekerja proporsional terhadap beban nyata, sehingga efisiensi konversi relatif terjaga pada kondisi operasi normal. Pada skala grid, sistem mencakup multiple stage konverter, transformator, sistem balancing antar-sel, dan infrastruktur pendingin aktif yang semuanya mengonsumsi daya bahkan ketika baterai tidak sedang diisi secara maksimal. Kerugian pada konverter dan sistem ancillary terbukti mendominasi total losses pada sistem grid-scale, terutama pada kondisi utilisasi rendah yang justru sering terjadi pada operasi grid nyata (Reniers & Howey, 2023).

Faktor ketiga adalah heterogenitas sel dan distribusi arus dalam sistem berskala besar. Pada sistem residensial dengan jumlah sel terbatas, variasi karakteristik antar-sel relatif kecil dan dapat dikelola oleh BMS sederhana. Pada sistem grid-scale yang terdiri dari ribuan sel, variasi kapasitas awal dan resistansi internal antar-sel — meskipun hanya berkisar 0,4% hingga 2,5% pada kondisi baru — menyebabkan distribusi arus pengisian yang tidak merata dalam modul dan rak (Reniers & Howey, 2023). Kondisi ini menurunkan efisiensi CC-CV secara sistemik karena sel-sel dengan resistansi lebih tinggi mencapai batas tegangan CV lebih awal, memaksa sistem mengurangi arus



sebelum sel lainnya terisi penuh. Ketidakmerataan distribusi arus ini berkontribusi pada percepatan capacity fade secara keseluruhan, yang pada jangka panjang semakin memperbesar kesenjangan efisiensi antara kedua skala sistem (Dubarry et al., 2012).

KESIMPULAN

Metode *Constant Current–Constant Voltage* (CC-CV) menunjukkan bahwa fase *constant current* (CC) memiliki efisiensi pengisian yang lebih tinggi dibandingkan fase *constant voltage* (CV), sementara fase CV cenderung menjadi titik kritis penurunan efisiensi akibat durasi pengisian yang lebih panjang dan meningkatnya rugi-rugi energi. Pada implementasinya, BESS skala rumah tangga umumnya menunjukkan efisiensi yang lebih stabil karena kompleksitas sistem yang lebih rendah, sedangkan BESS skala grid menghadapi tantangan efisiensi yang lebih besar akibat variasi beban, kompleksitas konverter, dan kebutuhan manajemen termal yang lebih tinggi. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa optimasi metode CC-CV perlu disesuaikan dengan karakteristik operasional pada masing-masing skala sistem untuk meningkatkan efisiensi pengisian dan keandalan BESS secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, G. J., & Chung, W. H. (2023). Evaluation of Charging Methods for Lithium-Ion Batteries. *Electronics (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/electronics12194095>
- Chen, M., & Rincon-Mora, G. A. (2006). Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 21(2), 504–511. <https://doi.org/10.1109/TEC.2006.874229>
- Dubarry, M., Truchot, C., & Liaw, B. Y. (2012). Synthesize battery degradation modes via a diagnostic and prognostic model. *Journal of Power Sources*, 219, 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.07.016>
- Gan, G., Junhui, L., Gang, M., & Gangui, Y. (n.d.). *Optimized Strategies for Peak Shaving and BESS Efficiency Enhancement through Cycle-Based Control and Cluster-Level Power Allocation*.
- Hesse, H., Schimpe, M., Kucevic, D., & Jossen, A. (2017). Lithium-Ion Battery Storage for the Grid—A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids. *Energies*, 10(12), 2107. <https://doi.org/10.3390/en10122107>
- Hu, X., Li, S., & Peng, H. (2012). A comparative study of equivalent circuit models for Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 198, 359–367. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.10.013>
- Li, J., Murphy, E., Winnick, J., & Kohl, P. A. (2001). The effects of pulse charging on cycling characteristics of commercial lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 102(1–2), 302–309. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(01\)00820-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(01)00820-5)
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Reniers, J. M., & Howey, D. A. (2023). Digital twin of a MWh-scale grid battery system for efficiency and degradation analysis. *Applied Energy*, 336, 120774. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120774>



- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Su, X., Sun, B., Wang, J., Ruan, H., Zhang, W., & Bao, Y. (2023). Experimental study on charging energy efficiency of lithium-ion battery under different charging stress. *Journal of Energy Storage*, 68, 107793. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107793>
- Waldmann, T., Wilka, M., Kasper, M., Fleischhammer, M., & Wohlfahrt-Mehrens, M. (2014). Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries – A Post-Mortem study. *Journal of Power Sources*, 262, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.03.112>