



SISTEM PENYETIMBANG BATERAI UNTUK KENDARAAN LISTRIK DENGAN TOPOLOGI INDUKTOR MULTI LAPIS MENGGUNAKAN ALGORITMA PEMBELAJARAN TERARAH DAN SISTEM LOGIKA FUZZY TIPE-2

Disusun oleh:
Hartono [23821301]

Pembimbing:
Prof. Ir. Edi Leksono, M. Eng., Ph.D.
Prof. Ir. Endra Joelianto, Ph.D.

Program Studi Magister Instrumentasi dan Kontrol

Latar Belakang

Paket baterai pada kendaraan listrik tersusun atas ratusan hingga ribuan sel yang disusun secara seri dan paralel. Penggunaan baterai secara seri dalam jumlah besar dapat berpotensi menimbulkan masalah akibat perbedaan kapasitas sel, laju pengosongan, resistansi internal, serta masa pakai yang disebabkan adanya variasi simpangan saat proses manufaktur dan reaksi kimia pada masing-masing sel baterai sehingga mengakibatkan ketidaksetimbangan muatan sel baterai yang berlebihan. Ketidaksetimbangan muatan sel menyebabkan proses pengisian dan pengosongan baterai berhenti lebih awal dari yang seharusnya sehingga mengurangi kapasitas total, menurunkan performa, serta mempengaruhi usia pakai paket baterai [1]. Untuk menanggulangi masalah ini, diperlukan upaya melalui pengembangan sistem penyetimbang baterai.

Tujuan dan Sasaran

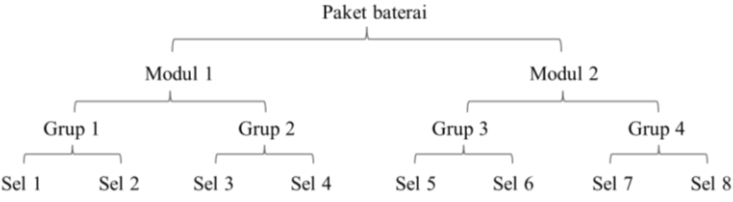
Tujuan: Mengembangkan sistem penyetimbang aktif baterai litium-ion berbasis topologi induktor multi lapis dengan strategi kontrol menggunakan algoritma pembelajaran terarah dan sistem logika fuzzy tipe-2.

Sasaran:

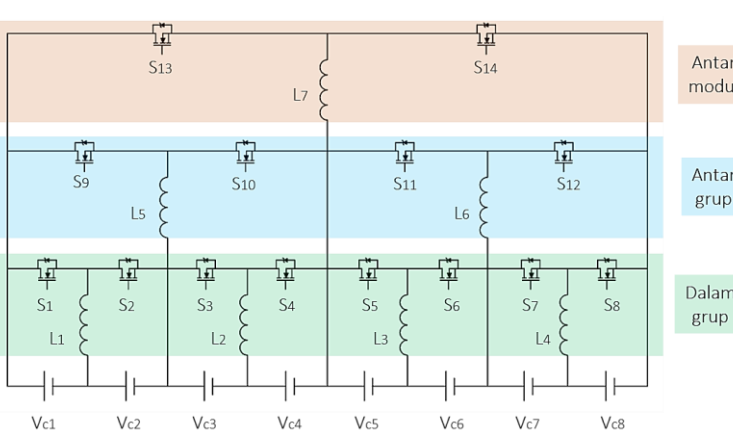
1. Merancang strategi kontrol untuk sistem penyetimbang baterai berbasis induktor multi lapis menggunakan algoritma pembelajaran terarah dan sistem logika fuzzy tipe 2.
2. Mendapatkan hasil eksperimen pada purwarupa sistem penyetimbang.
3. Mengamati kecepatan dan efisiensi penyetimbangan dengan metode kontrol yang telah dirancang.

Perancangan Sistem Penyetimbang

Konfigurasi Sel Baterai



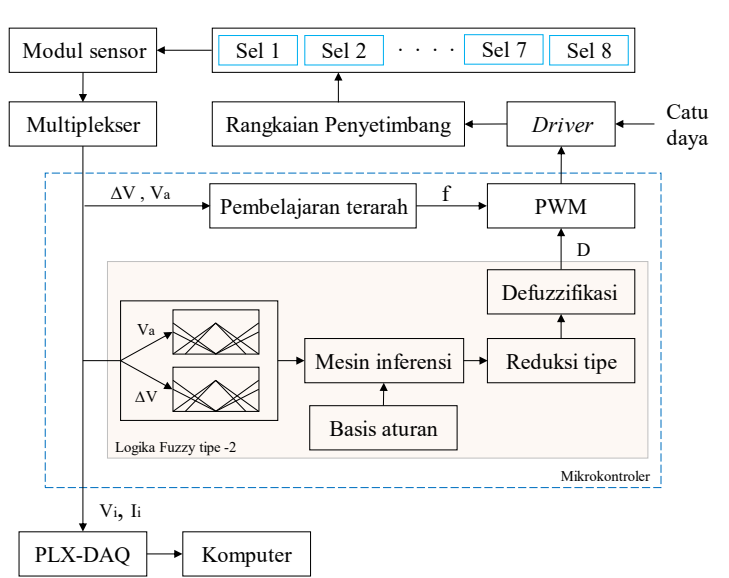
Rangkaian Penyetimbang



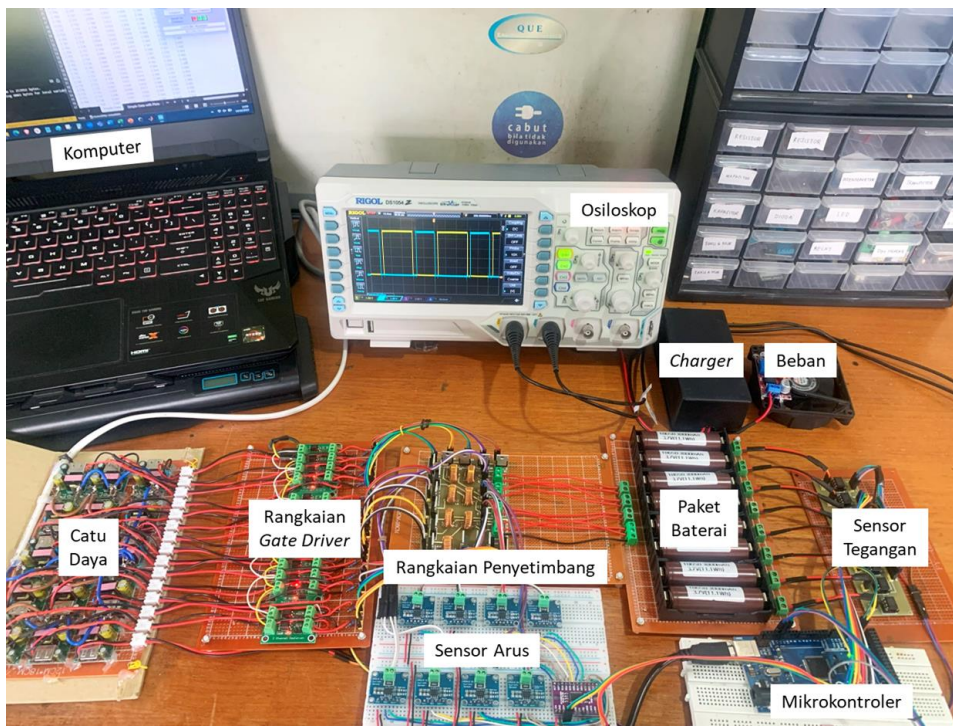
Rangkaian penyetimbang yang digunakan berbasis induktor multi lapis dengan konfigurasi baterai 8 sel disusun seri, 7 induktor ferit, dan 14 MOSFET sebagai saklar. Rangkaian pada lapisan pertama berfungsi mengalirkan energi antar sel dalam satu grup. Lapisan kedua berfungsi mengalirkan energi dari satu grup ke grup yang lain dalam satu modul. Sedangkan, lapisan ketiga mengalirkan energi antar modul di dalam paket baterai. Sinyal kontrol PWM komplementar dengan deadtime 5% digunakan untuk menyalakan dan mematikan MOSFET secara bergantian.

PWM+ mengatur nyala/mati MOSFET dengan nomor ganjil, PWM- mengatur nyala/mati MOSFET dengan nomor genap. Frekuensi dan *duty cycle* sinyal PWM diatur oleh kontroler sesuai dengan kondisi selisih tegangan (ΔV) sel dan tegangan rata-rata (V_a) paket baterai.

Diagram Blok Sistem Penyetimbang

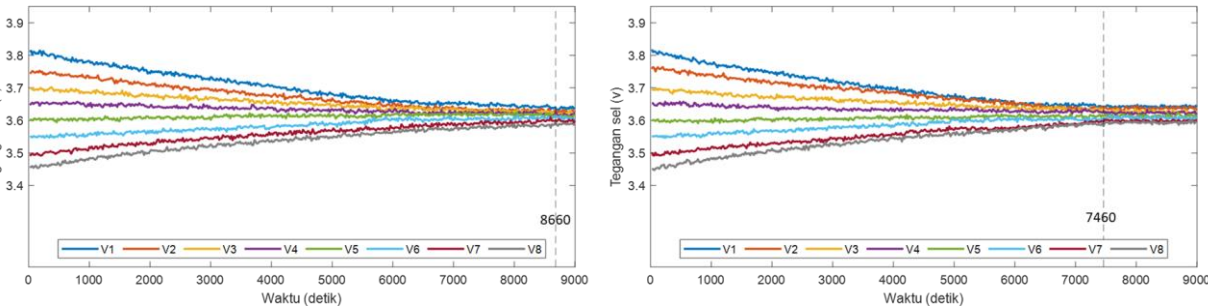


Rancangan Eksperimen



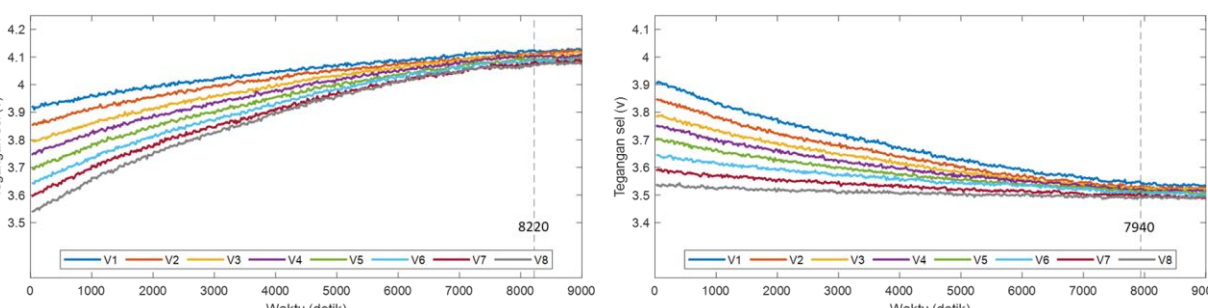
Untuk mengukur kinerja sistem, dilakukan pengujian secara eksperimen menggunakan purwarupa sistem penyetimbang yang telah dirancang. Mula-mula tegangan tiap sel baterai dikondisikan dengan nilai yang berbeda-beda menggunakan skenario *top-down* untuk menyederhanakan skema penyetimbangan. Pengujian dilakukan pada kondisi statis (*idle*) dan pada kondisi dinamis (*charging & discharging*). Pengujian untuk masing-masing skenario dilakukan selama 9000 detik.

Hasil dan Analisis



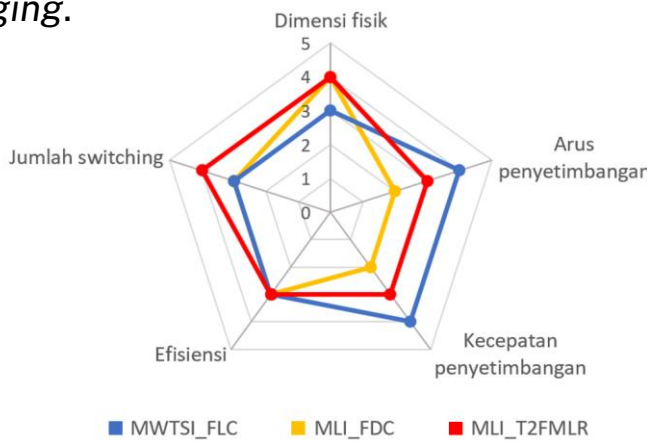
Grafik penyetimbangan pada kondisi statis dengan:
(a) metode konvensional, (b) metode yang diajukan

Waktu penyetimbangan dengan metode konvensional sebesar 8660 detik. Sedangkan dengan menggunakan metode yang diajukan, sistem mencapai titik setimbang pada 7460 detik. Metode yang diajukan meningkatkan kecepatan penyetimbang sebesar 17,3%.



Grafik penyetimbangan pada kondisi dinamis dengan metode yang diajukan pada skenario: (c) *charging*, (d) *discharging*

Grafik hasil eksperimen pada kondisi dinamis menunjukkan bahwa sistem penyetimbang mampu menurunkan selisih tegangan sel pada paket baterai sehingga menjaga tegangan baterai tetap setimbang baik pada kondisi *charging* maupun *discharging*.



MWTSI_FLC = Multiwinding Transformer & Single Inductor; Fuzzy Logic Control
MLI_FDC = Multi Layer Inductor; Fixed Duty Cycle
MLI_T2FMLR = Multi Layer Inductor; Type-2 Fuzzy Multiple Linear Regression

Sistem penyetimbang baterai MLI_T2FMLR yang dikembangkan memiliki arus penyetimbang dan kecepatan penyetimbangan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan metode FDC konvensional, tetapi masih lebih kecil dari MWTSI_FLC [2]. Namun, sistem MWTSI_FLC memiliki dimensi fisik dan bobot rangkaian yang relatif besar. Sistem MLI_T2FMLR yang dikembangkan juga mampu menurunkan jumlah switching sehingga dapat mengurangi efek degradasi komponen akibat siklus pemakaian.

Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan sistem penyetimbang aktif untuk delapan sel baterai li-ion berbasis topologi induktor multi lapis dengan strategi kontrol menggunakan kombinasi algoritma pembelajaran terarah dan sistem logika fuzzy tipe-2 dengan beberapa capaian sebagai berikut:

1. Metode kontrol penyetimbang yang diajukan dapat meningkatkan kecepatan penyetimbang sebesar 17,3% dibandingkan dengan metode kontrol konvensional.
2. Metode yang diajukan juga mampu menurunkan jumlah switching sebesar 6,2% sehingga mengurangi efek degradasi komponen.
3. Arus penyetimbangan dengan metode kontrol yang diajukan mencapai 257,21 mA.
4. Efisiensi sistem penyetimbang dengan metode yang diajukan mencapai 87,07%.

Referensi

[1] A. Amin, A. C. Budiman, S. Kaleg, Sudirja, and A. Hapid, "Active battery balancing system for electric vehicles based on cell charger," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 385-392, 2021.
[2] Y. Yusiran, T. P. Wijaya, E. Leksono, and I. N. Haq, "A Modular Cell Balancer Based on Multiwinding Transformer and Single Inductor Circuit for a Series-Connected Battery String", *IGSC*, vol. 1, no. 1, pp. 403-412, Oct. 2022.