UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Numerik Perbandingan Performa Immersion Cooling Berbagai Fluida Dielektrik pada Sistem Manajemen Termal Baterai Tunggal 18650 LiFePO4
Saddam Hidayatulloh, Dr. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Perkembangan kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi mendorong peningkatan penggunaan baterai *lithium-ion* yang memiliki densitas energi tinggi, namun sensitif terhadap temperatur operasi. Kenaikan temperatur yang tidak terkendali dapat menurunkan performa, mempercepat degradasi, dan meningkatkan risiko *thermal runaway*. Oleh karena itu, diperlukan *Battery Thermal Management System* (BTMS) yang efektif. Salah satu metode yang menjanjikan adalah *Single-Phase Immersion Cooling* (SPIC), yaitu pendinginan dengan merendam baterai ke dalam fluida dielektrik sehingga perpindahan panas dapat berlangsung secara langsung dan lebih efektif.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jenis fluida dielektrik, laju pengosongan (*C-rate*), dan metode pendinginan terhadap karakteristik termal baterai tunggal $LiFePO_4$ 18650. Simulasi numerik dilakukan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada ANSYS Fluent dengan model baterai MSMD-NTGK. Fluida dielektrik yang digunakan meliputi HFE-7100, HFE-7700, DF7, dan SL 3568 pada metode *immersion cooling* (IC) dan *flow immersion cooling* (FIC) dengan variasi laju pengosongan 2C dan 3C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jenis fluida dielektrik, metode pendinginan, dan laju pengosongan berpengaruh terhadap karakteristik termal baterai. HFE-7100 menghasilkan performa pendinginan terbaik pada seluruh kondisi pengujian. Pada kondisi FIC 3C, temperatur maksimum baterai menggunakan HFE-7100 sebesar 27,98°C, atau 8,35% lebih rendah dibandingkan SL 3568 yang mencapai 30,53°C. Peningkatan laju pengosongan dari 2C menjadi 3C menyebabkan kenaikan temperatur baterai sebesar 5,63–9,31% akibat meningkatnya laju pembangkitan panas. Metode FIC juga menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan IC dengan penurunan temperatur baterai hingga 2,74%. Evaluasi menggunakan *Performance Evaluation Criterion* (PEC) menunjukkan bahwa HFE-7100, DF7, dan HFE-7700 memiliki nilai masing-masing sebesar 10,03; 6,03; dan 5,99, sedangkan SL 3568 digunakan sebagai fluida acuan dengan nilai 1. Pada kondisi IC 3C, HFE-7100 menghasilkan panas sisa terendah sebesar 0,09 W dan mampu menurunkan panas sisa hingga 52,6% dibandingkan SL 3568. Hasil tersebut menunjukkan bahwa HFE-7100 merupakan fluida dielektrik dengan performa pendinginan terbaik pada penelitian ini.

Kata kunci: baterai $LiFePO_4$ 18650, CFD, *flow immersion cooling*, fluida dielektrik, *immersion cooling, Performance Evaluation Criterion*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Numerik Perbandingan Performa Immersion Cooling Berbagai Fluida Dielektrik pada Sistem Manajemen Termal Baterai Tunggal 18650 LiFePO4
Saddam Hidayatulloh, Dr. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The rapid development of electric vehicles and energy storage systems has increased the use of lithium-ion batteries, which offer high energy density but are highly sensitive to operating temperature. Uncontrolled temperature rise can reduce battery performance, accelerate degradation, and increase the risk of thermal runaway. Therefore, an effective Battery Thermal Management System (BTMS) is required. One promising approach is Single-Phase Immersion Cooling (SPIC), where batteries are immersed in dielectric fluids to enhance direct heat transfer.

This study investigates the effects of dielectric fluid type, discharge rate, and cooling method on the thermal characteristics of a single $LiFePO_4$ 18650 battery. Numerical simulations were conducted using Computational Fluid Dynamics (CFD) in ANSYS Fluent with the MSMD-NTGK battery model. Four dielectric fluids were evaluated, namely HFE-7100, HFE-7700, DF7, and SL 3568, under immersion cooling (IC) and flow immersion cooling (FIC) configurations at discharge rates of 2C and 3C.

The results show that dielectric fluid properties, cooling methods, and discharge rates significantly affect battery thermal performance. HFE-7100 consistently provided the best cooling performance under all test conditions. Under the FIC 3C condition, HFE-7100 achieved a maximum battery temperature of 27.98°C, which was 8.35% lower than that of SL 3568 (30.53°C). Increasing the discharge rate from 2C to 3C increased battery temperature by 5.63–9.31% due to higher heat generation. Furthermore, FIC outperformed IC by reducing battery temperature by up to 2.74%. Performance Evaluation Criterion (PEC) analysis yielded values of 10.03, 6.03, and 5.99 for HFE-7100, DF7, and HFE-7700, respectively, while SL 3568 was used as the reference fluid with a value of 1. Under the IC 3C condition, HFE-7100 produced the lowest residual heat of 0.09 W and reduced residual heat by approximately 52.6% compared with SL 3568. These findings demonstrate that HFE-7100 is the most effective dielectric fluid among all tested fluids for immersion-cooled battery thermal management systems.

Keywords: *$LiFePO_4$ 18650 battery, immersion cooling, flow immersion cooling, dielectric fluid, CFD, Performance Evaluation Criterion*