Studi Eksperimental Immersion Cooling dengan Fluida Dielektrik untuk Manajemen Termal Battery Pack
Lithium-ion NMC Tipe 18650
Abyan Kinayungan, Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA i
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI v
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR vi
LEMBAR PERSEMBAHAN vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xvii
DAFTAR LAMPIRAN xix
DAFTAR NOTASI DAN AKRONIM xx
INTISARI xxiii
ABSTRACT xxiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 6
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah 7
1.4 Tujuan Penelitian 7
1.5 Manfaat Penelitian 8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 BTMS (*Battery Thermal Management System*) 9
2.2 *Immersion Cooling* 12
2.3 Perkembangan Studi *Immersion Cooling* 14
2.3.1 Perkembangan *Immersion Cooling* pada Baterai Tunggal 14
2.3.2 Perkembangan *Immersion Cooling* pada *Battery Pack* 19
2.4 Rangkuman Penelitian BTMS *Immersion Cooling* 24
2.5 *Research Gap* 27

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Eksperimental Immersion Cooling dengan Fluida Dielektrik untuk Manajemen Termal Battery Pack
Lithium-ion NMC Tipe 18650**
Abyan Kinayungan, Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III DASAR TEORI **28**
3.1 Baterai 28
3.2 Parameter Baterai 31
3.2.1 Rangkaian Modul *Battery Pack* 31
3.2.2 *State of Charge* (SoC) 32
3.2.3 *Depth of Discharge* (DoD) 33
3.2.4 *C-rate* 33
3.2.5 *E-rate* 33
3.3 *Heat Generation* Baterai 34
3.4 Fluida Kerja 36
3.5 Mekanisme Perpindahan Kalor 37
3.6 Laju Perpindahan Kalor pada Fluida 39
3.7 Parameter Perpindahan Kalor 41
3.7.1 Kecepatan dan Temperatur Rata-Rata Fluida 41
3.7.2 Kondisi Aliran 41
3.7.3 Aliran Melintasi Silinder 43
3.7.4 Aliran Melintasi *Tube Banks* 43
3.7.5 *Heat Flux* Baterai 45
3.7.6 *Pressure Drop* 46
3.8 Bilangan Reynolds 46
3.9 Bilangan Nusselt 48
3.10 Rasio Perubahan *Heat Transfer Coefficient* terhadap *Pressure Drop* 48
3.11 Rasio *Absorbed Heat* terhadap Kerja Pompa 48
3.12 *Uncertainty Analysis* 49
BAB IV METODE PENELITIAN **51**
4.1 Lokasi Penelitian 51
4.2 Fasilitas Eksperimen *Battery Immersion Cooling Test* 51
4.3 Alat Penelitian *Battery Immersion Cooling Test* 52
4.3.1 Kontainer Pengujian 52
4.3.2 DC *Constant Current Supply* 53
4.3.3 DC *Electronic Load Test* 54

Studi Eksperimental Immersion Cooling dengan Fluida Dielektrik untuk Manajemen Termal Battery Pack
Lithium-ion NMC Tipe 18650
Abyan Kinayungan, Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.4 *Data Logger* 54
4.3.5 *Heat Exchanger* 55
4.3.6 Pompa 55
4.3.7 *Reservoir* 56
4.3.8 Potensiometer 56
4.3.9 *Flowmeter* 57
4.3.10 Termostat 57
4.3.11 Termokopel 58
4.3.12 *Pressure Gauge* 59
4.3.13 Laptop 59
4.3.14 *Battery Management System* (BMS) 60
4.4 Bahan Penelitian 61
4.4.1 Baterai Lithium-ion 61
4.4.2 Fluida Kerja 61
4.5 Variabel dan Matriks Penelitian 62
4.6 Prosedur Penelitian 64
4.6.1 Diagram Alir Penelitian 64
4.6.2 Pengujian Kebocoran Peralatan Penelitian 66
4.6.3 Kalibrasi Instrumen Penelitian 66
4.6.4 Pengambilan Data 67
4.6.5 Pengolahan dan Analisis Data 68
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 70
5.1 Pengaruh Parameter Operasi terhadap Kinerja Termal Baterai 71
5.1.1 Pengaruh *C-rate* terhadap Temperatur Baterai 73
5.1.2 Pengaruh Laju Aliran Fluida terhadap Temperatur Baterai 76
5.1.3 Analisis Hubungan *C-rate* dan Laju Aliran Fluida 77
5.2 Perhitungan Kalor pada Baterai 79
5.2.1 Perhitungan *Heat Generation* 80
5.2.2 Perhitungan *Absorbed Heat* 88
5.2.3 Perhitungan *Heat Loss* 89
5.2.4 Perhitungan *Heat Unaccounted* 90

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Eksperimental Immersion Cooling dengan Fluida Dielektrik untuk Manajemen Termal Battery Pack
Lithium-ion NMC Tipe 18650**
Abyan Kinayungan, Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2.5 Evaluasi Kalor Sistem 92
5.3 Analisis Perpindahan Panas dan Karakteristik Aliran Fluida 93
5.3.1 Perhitungan *Heat Flux* Baterai 93
5.3.2 Perhitungan *Heat Transfer Coefficient* 97
5.3.3 Perhitungan Bilangan Tak Berdimensi 101
5.3.4 Hubungan *Heat Transfer Coefficient* dengan *Pressure Drop* 104
5.3.5 Evaluasi Efektivitas Perpindahan Panas Fluida 105
5.4 Evaluasi Performa dan Perbandingan Metode Sistem Pendingin 106
5.4.1 Rasio *Absorbed Heat* terhadap Kerja Pompa 107
5.4.2 Perbandingan Kinerja Metode Sistem Pendingin 109
BAB VI PENUTUP 111
6.1 Kesimpulan 111
6.2 Saran 112
DAFTAR PUSTAKA 113
LAMPIRAN 117