

PENGUJIAN KESELAMATAN THERMAL PADA BATTERY PACK SEPEDA MOTOR LISTRIK BERDASARKAN REGULASI UN R- 136

Alief Wikarta

Tenaga Pengajar (Dosen)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Departemen Teknik Mesin
wikarta@me.its.ac.id

M. Nur Yuniarto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Departemen Teknik Mesin
mnur@me.its.ac.id

Indra Sidharta

Tenaga Pengajar (Dosen)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Departemen Teknik Mesin
sidarta@me.its.ac.id

The electric-motorcycle is one of the promising technology that can improve environmental quality as well as reduce dependency on oil imports in Indonesia. The major challenge of electric-motorcycle implementation is the safety of the lithium-ion battery pack. This research aims to ascertain the over-temperature protection, and also to carry out shock & cycling test for the battery thermal safety. The testing procedures and apparatus comply with the United Nations Regulation No 136 (UN R-136), namely a temperature humidity chamber, a battery load unit, a blower, and a charger. The first step is the designing and prototyping of the battery pack with 100 V and 30 Ah, which contains a module of cells, Battery Management System (BMS), wiring, isolator, socket, and aluminum casing. The second step is the battery thermal safety test. The results showed that the battery pack satisfied the acceptance criteria, with evidence of no electrolyte leakage, rupture, fire, and explosion during and after testing. Result of over-temperature protection, BMS can cut-off the discharge rate at a temperature of 45.89°C. Meanwhile, for thermal shock & cycling tests, the battery pack did not fail when the temperature changes from 59.72°C and -40.25°C for 60 hours.

Keywords: Battery Pack, Electric Motorcycle, Thermal Shock & Cycling, Over-Temperature Protection.

1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk negara *net-importer oil*, yakni untuk memenuhi kebutuhan minyak dalam negeri harus dengan mengimpor dari luar negeri. Hal ini dikarenakan produksi minyak dalam negeri nya sendiri tidak mencukupi. Kondisi seperti itu sudah terjadi semenjak 10 tahun lalu dan akan terus berlanjut. Ini memposisikan Indonesia pada kondisi yang lemah dari sisi ketahanan energi [1–3]. Beberapa upaya untuk mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap minyak telah dilakukan, seperti kendaraan berbahan bakar LPG [4] maupun sepeda motor listrik [5].

Sejak tahun 2015, peneliti di ITS telah melakukan riset, pengembangan, dan demonstrasi sepeda motor listrik yang kemampuannya setara dengan sepeda motor konvensional 110 cc. Kegiatan riset dan pengembangan meliputi desain dan fabrikasi dari beberapa komponen utama kendaraan listrik seperti: motor listrik BLDC, kontroller, dan *Battery Management System* (BMS). Setelah sepeda motor dirakit kemudian dilakukan demonstrasi pengujian performa di *dynamometer* maupun kondisi jalan.

Sumber energi dari sepeda motor listrik berasal dari *battery pack* yang terdiri dari *Li-Ion battery cell* dengan spesifikasi tiap *cell* 3,6 V dan 3400 mAh [6]. *Battery cell* ini disusun secara seri dan paralel sehingga menghasilkan tegangan 100 V dan 300 Ah atau 3 kWh. Pada *battery pack* tersebut akan dipasang BMS *onboard* sehingga tidak perlu menghubungkan kabel BMS saat beroperasi, baik dengan metode *battery swap* (tukar baterai) maupun metode *onboard charger*. Hal ini dilakukan agar nantinya konsumen pemakai sepeda motor listrik memiliki fleksibilitas dalam pemakaian saat mengalami kehabisan energi. Ini sekaligus untuk menjawab tantangan belum tersedianya infrastruktur *charging battery* di Indonesia.

Li-Ion battery pack harus bekerja pada kisaran temperatur tertentu yang optimal, supaya usianya bisa maksimum sekaligus efisien [7]. Jika baterai bekerja pada temperatur tinggi melebihi batas temperatur, maka

akan menyebabkan kapasitasnya berkurang. Sedangkan jika bekerja pada temperatur yang rendah di bawah 0 ° C akan meningkatkan resistansi hingga tidak dapat berfungsi. Kegagalan yang berat pada *Li-Ion battery pack* bahkan bisa menyebabkan kebakaran dan ledakan [8].

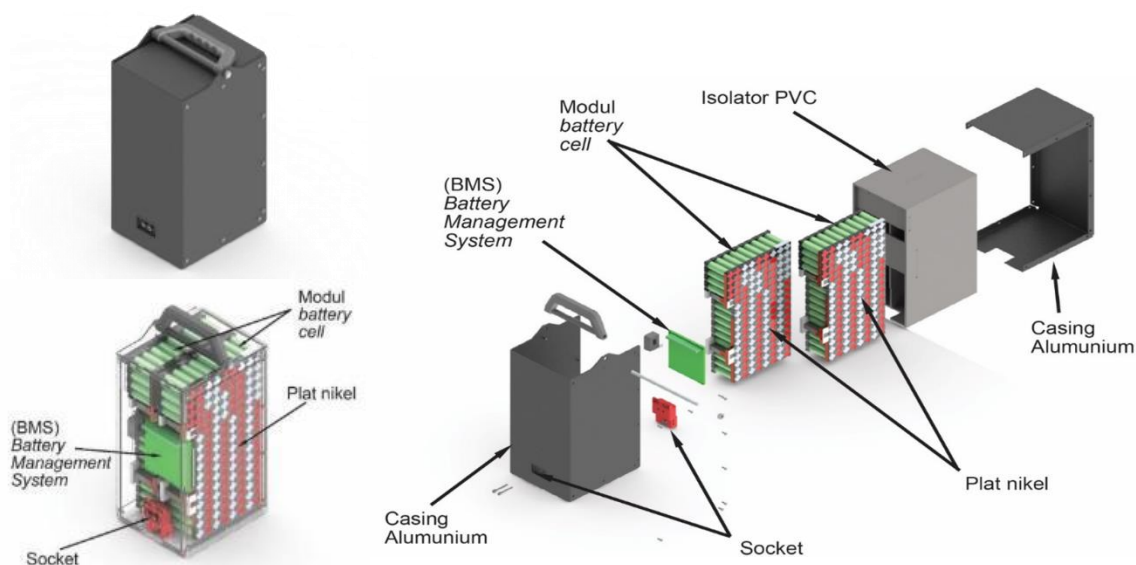
Untuk itu, ketika implementasi kendaraan listrik semakin massif, maka dituntut adanya pengujian keselamatan yang memenuhi regulasi dan standart tertentu, terutama aspek keselamatan dari *battery pack*. Beberapa penelitian tentang pengujian keselamatan *battery pack* untuk kendaraan listrik telah dilakukan dalam 5 tahun terakhir [7–14]. Salah satu diantaranya yang diadopsi di Indonesia adalah pengujian keselamatan mekanis yang dilakukan berdasarkan pada *United Nations Regulations* number 136 (UN R-136) [15-16]. Namun demikian, hingga saat ini, belum ada penelitian di Indonesia yang melakukan pengujian keselamatan *Li-ion battery pack* yang digunakan sebagai sumber energi sepeda motor listrik. Pengujian keselamatan yang pernah dilakukan masih sebatas untuk baterai jenis *lead-acid* [17].

Pada penelitian ini dilakukan pengujian keselamatan thermal *battery pack*, yakni pengujian proteksi saat kondisi *over-temperature*, dan pengujian saat kondisi *thermal shock & cycling*, sesuai dengan regulasi UN R-136. *Battery pack* dapat memenuhi regulasi UN R-136 jika setelah pengujian sesuai dengan metode yang disyaratkan, *battery pack* tidak mengalami kebocoran elektrolit, kerusakan, dan dapat digunakan seperti kondisi sebelum pengujian. Untuk melaksanakan pengujian tersebut, peneliti melakukan desain dan fabrikasi *battery pack*, serta mempersiapkan peralatan *temperature humidity chamber* dan *battery load unit*.

2. METODE DAN BAHAN

Battery pack yang digunakan dalam pengujian ini merupakan hasil desain dan fabrikasi dari peneliti di ITS sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Jenis sel baterai yang dipilih adalah Li-ion dengan spesifikasi teknis NCA 18650. Sejumlah sel baterai tersebut kemudian dirangkai secara seri dan paralel menjadi kesatuan modul sebesar 100 Volt. Selanjutnya modul tersebut dihubungkan dengan plat nikel menggunakan mesin *spot welding*. *Casing* yang digunakan adalah plat aluminium yang bagian dalamnya dilengkapi dengan *nomex* sebagai isolator. Sementara *handle battery pack* berbahan *filament* yang difabrikasi menggunakan mesin *3d printer*. Hasil fabrikasi sebanyak 20 (dua puluh) unit *battery pack* ditunjukkan pada Gambar 2, yang nantinya akan digunakan untuk pengujian keselamatan thermal dari *battery pack*.

Metode pengujian keselamatan *thermal battery pack* untuk kondisi proteksi *over-temperature* maupun *thermal shock & cycling* mengikuti regulasi Internasional UN-R136 [15 - 16]. Pengujian ini harus dilakukan pada satu kesatuan sistem *battery pack* termasuk *cell* dan koneksi elektriknya. Jika manufaktur memilih untuk menguji beberapa sub-sistem, maka harus mendemonstrasikan bahwa hasil pengujian dapat merepresentasikan performa dari satu kesatuan *battery pack* yang utuh, berdasarkan keamaman performa dalam kondisi yang sama. Kriteria pengujian dikatakan berhasil jika selama pengujian pada *battery pack* tidak ditemukan adanya kebocoran elektrolit, kerusakan, kebakaran, maupun ledakan.



Gambar 1. Desain dan komponen *battery pack* yang dibuat peneliti ITS.



Gambar 2. Hasil fabrikasi sebanyak 20 unit *battery pack* untuk pengujian keselamatan

Peralatan yang digunakan untuk pengujian keselamatan *thermal battery pack* ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk pengujian over-temperature diperlukan *blower* dan *battery load unit* [18]. Sementara untuk pengujian *thermal shock & cycling* menggunakan *charger* dan *temperature humidity chamber* [19].

Spesifikasi dari peralatan *battery load unit* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Mains voltage	: 100 – 240 V AC, 50 / 60 Hz
Power consumption (max)	: 150 W
Protection Thermal	: cut-outs, automatic overload protection
Dimensions Instrument	: 210 x 353 x 700 mm (8.3” x 13.9” x 27.6”)
Transport case	: 265 x 460 x 750 mm (10.4” x 18.1” x 29.5”)
Weight	: 21.5 kg (47.4 lbs) 38 kg (83.8 lbs) with accessories and transport case.
Display	: LCD
Load Section	
Max. battery voltage	: 480 V DC (TORCEL 860)
Max. current	: 110 A
Max. power	: 15 kW
Load patterns	: Constant current, constant power, constant resistance, current or power profile
Current setting	: 0-110.0 A (2999.9 A)
Power setting	: 0-15.00 kW (299.99 kW)
Resistance setting	: 0.1-2999.8 Ω



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Peralatan yang dipakai untuk pengujian *thermal shock and cycling*: (a) *temperature humidity chamber*, (b) *battery load unit*, (c) *charger*

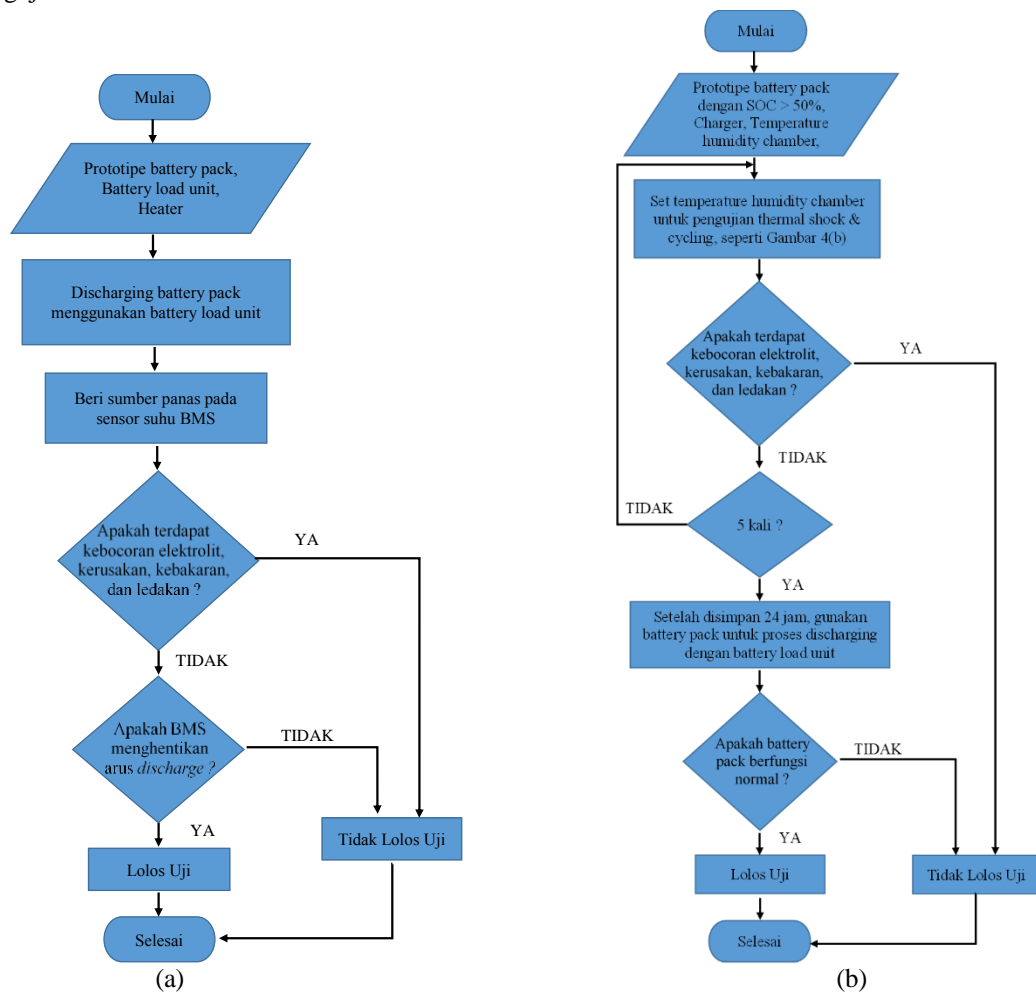
Spesifikasi dari peralatan *temperature humidity chamber* yang digunakan adalah sebagai berikut:

<i>Model</i>	: XB-OTS-80(B-C)
<i>Power</i>	: 1 Phase AC 220V/50Hz
<i>Interior Size (L.W.H)</i>	: 40X40X50 (cm)
<i>Exterior Size (L.W.H)</i>	: 100X88X143 (cm)
<i>Temperature Range</i>	: (-60) - 100°C
<i>Humidity Range</i>	: no
<i>Temperature Control Accuracy</i>	: 1°C
<i>Indication Resolution</i>	: 0.01°C
<i>Temperature Uniformity</i>	: 1.5°C

Proteksi saat kondisi *over-temperature* dilakukan untuk mengetahui kemampuan proteksi dari *battery pack* saat kondisi ekstrim dari *internal temperature* di dalam pack tersebut. Ketika kondisi temperatur tinggi yang disebabkan dari sel baterai, maka BMS di dalam *battery pack* seyogyanya mampu memproteksi *battery pack* dengan cara memutuskan tenaga listrik.

Langkah-langkah pengujian proteksi *over-temperature* ditunjukkan pada Gambar 4(a), dimana penjelasannya adalah sebagai berikut:

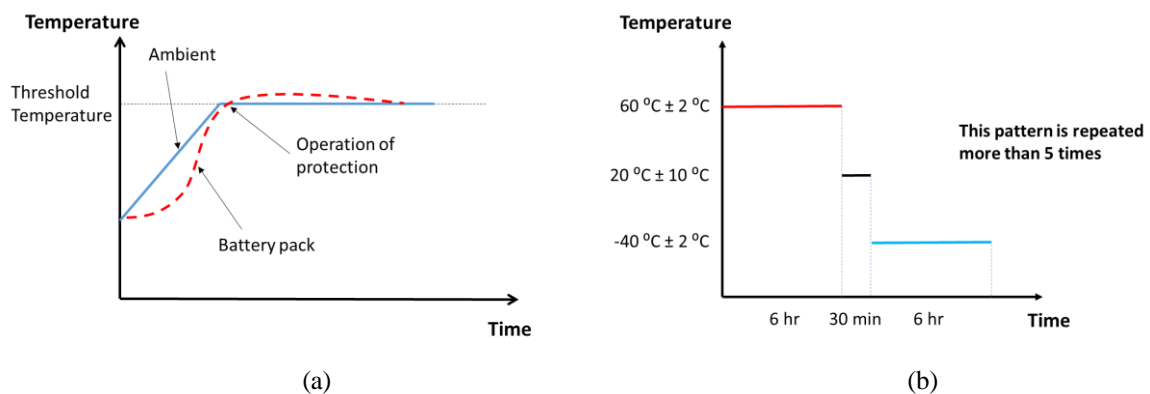
1. Pada awal pengujian, semua perangkat perlindungan yang mempengaruhi fungsi perangkat yang diuji harus dapat dioperasikan, kecuali untuk setiap penonaktifan sistem yang dilaksanakan sesuai dengan catatan pengujian.



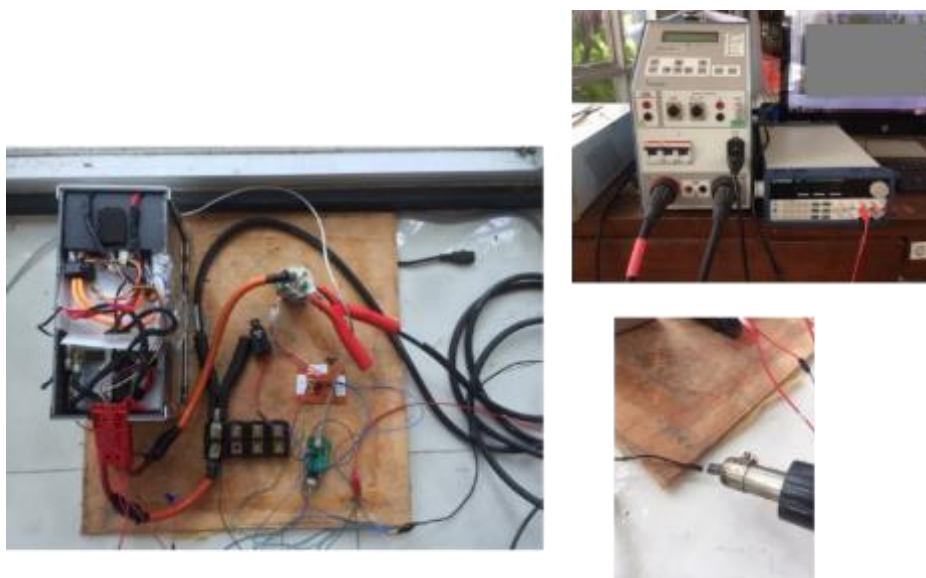
Gambar 4. Langkah-langkah pengujian sesuai regulasi UN R-136, (a) proteksi terhadap *over-temperature*, (b) *thermal shock and cycling*.

2. Selama pengujian, perangkat yang diuji harus terus diisi dan dilepaskan dengan arus stabil yang akan meningkatkan suhu sel secepat mungkin dalam kisaran operasi normal seperti yang ditentukan oleh pabrikan.
3. Perangkat yang diuji harus ditempatkan dalam oven konvektif atau ruang iklim. Suhu ruangan atau oven harus ditingkatkan secara bertahap sampai mencapai suhu yang ditentukan sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 5(a), dan kemudian dipertahankan pada suhu yang sama dengan atau lebih tinggi dari ini, hingga akhir tes.
4. Pengujian akan dinyatakan berhasil jika pada batas temperatur maksimal, BMS mampu memutuskan aliran listrik *discharging*, hingga *battery pack* tidak dapat berfungsi

Sesuai dengan prosedur pengujian di UN R-136, proteksi *battery pack* terhadap *over temperature* dilakukan pada saat kondisi *battery pack* dipergunakan. Untuk itu, seperti terlihat pada Gambar 6, peralatan *battery load unit* Megger torkel 860 dipakai untuk memberikan arus *discharge* pada *battery pack*, sementara *supply* 12 Volt diberikan untuk memberi daya pada komponen proteksi dan BMS. Peralatan berupa *blower quick SMD Rework Station 857D* dipilih untuk sumber panas guna meningkatkan temperatur pada sensor suhu BMS, hingga temperatur maksimal setting dari BMS untuk melakukan *cut-off*.



Gambar 5. Ilustrasi pengujian sesuai regulasi UN R-136, (a) proteksi terhadap *over-temperature*, (b) *thermal shock and cycling* [15].



Gambar 6. Setting peralatan untuk pengujian proteksi terhadap *over-temperature*

Sementara pengujian *thermal shock & cycling* dilakukan untuk menentukan ketahanan baterai terhadap perubahan suhu yang tiba-tiba. Dalam pengujian ini, baterai mengalami sejumlah siklus suhu tertentu, yang dimulai di suhu ruang, diikuti oleh siklus suhu tinggi dan rendah.

Langkah-langkah pengujian *thermal shock & cycling* ditunjukkan pada Gambar 4(b), dengan penjelasan sebagai berikut:

1. *State of charge* (SOC) harus disesuaikan dengan nilai di atas 50% dari kisaran SOC operasi normal
2. Semua perangkat perlindungan, yang akan mempengaruhi fungsi dari perangkat yang diuji dan yang relevan dengan hasil uji harus beroperasi.
3. Perangkat yang diuji harus disimpan setidaknya selama 6 (enam) jam pada suhu uji yang sama dengan $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ atau lebih tinggi jika diminta oleh pabrikan, kemudian diikuti oleh penyimpanan sedikitnya selama 6 (enam) jam pada suhu uji sama dengan $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ atau lebih rendah jika diminta oleh produsen. Interval waktu maksimum antara suhu uji ekstrem harus 30 menit, seperti ditunjukkan Gambar 5(b). Prosedur ini harus diulang hingga minimum 5 siklus total selesai, setelah itu perangkat yang diuji harus disimpan selama 24 jam pada suhu sekitar $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Berdasarkan metode pengujian di UN R-136, pengujian *thermal shock and cycling* dilakukan sebanyak 5 kali dengan masing-masing siklus selama 12-13 jam, sehingga total 60-65 jam yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pengujian *thermal shock and cycling*. Dalam satu siklus terdapat 2 kondisi pengujian, yakni *battery pack* berada pada kondisi dengan temperature 60°C selama 6 jam, dan berikutnya *battery pack* diletakkan pada temperature -40°C selama 6 jam. Kedua kondisi tersebut dipenuhi lewat *setting temperature* pada *temperature humidity chamber*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil dari kedua macam pengujian keselamatan thermal ditunjukkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan tabel tersebut, proteksi *battery pack* terhadap *over temperature* berfungsi dengan baik, yakni saat kondisi BMS melakukan *cut off* arus *discharge* pada temperatur 45.89°C . Selama dan setelah pengujian berlangsung juga tidak ditemukan kondisi dimana *battery pack* mengalami kebocoran elektrolit, kerusakan, kebakaran, maupun ledakan. Kemudian setelah pengujian selesai, *battery pack* masih dapat berfungsi seperti semula. Berdasarkan hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa *battery pack* yang dibuat telah memenuhi keselamatan *thermal* dalam hal proteksi saat kondisi *over-temperature* sesuai dengan regulasi internasional UN R-136.

Selain itu, pada Tabel 1 juga ditunjukkan hasil pengujian *battery pack* dalam kondisi *thermal shock & cycling*. Dimana saat pengujian *thermal shock & cycling*, perubahan temperatur terjadi dari $59,72^{\circ}\text{C}$ dan $-40,25^{\circ}\text{C}$ dalam rentang waktu pelaksanaan pengujian selama 60 jam. Hasil pengamatan visual selama dan setelah pengujian ditunjukkan pada Gambar 8, dimana mulai awal hingga akhir pengujian tidak ditemukan kebocoran elektrolit, kerusakan, kebakaran, maupun ledakan.



Gambar 7. Setting temperatur untuk pengujian *thermal shock & cycling* pada peralatan *temperature humidity chamber*

Tabel 1. Hasil pengujian *over temperature* dan *thermal shock & cycling*.

No	Item	Pengujian <i>Over-temperature</i>	Pengujian <i>Thermal shock & cycling</i>
1	Selama pengujian Apakah ditemukan kebocoran elektrolit, kerusakan, kebakaran, maupun ledakan?	Tidak	Tidak
	Apakah BMS mampu memutuskan aliran <i>discharge</i> ketika sel baterai mencapai temperatur maksimum?	Ya	X
2	Setelah pengujian Apakah ditemukan kebocoran elektrolit, kerusakan, kebakaran, maupun ledakan?	Tidak	Tidak
	Apakah <i>battery pack</i> masih berfungsi?	Berfungsi	Berfungsi
3	Hasil Pengujian	Lolos uji	Lolos uji

Sementara untuk mengetahui apakah *battery pack* yang telah diuji masih bisa berfungsi atau tidak, maka setelah selesai pengujian, *battery pack* dibiarkan selama 24 jam pada suhu kamar, untuk selanjutnya dilakukan proses *discharging* dan *charging* (Gambar 9). Hasil dari proses *discharging* dengan peralatan *battery load unit* dan proses *charging* dengan peralatan *charger*, didapatkan bahwa *battery pack* masih dapat berfungsi normal. Ini menunjukkan bahwa *battery pack* sepeda motor listrik yang didesain dan difabrikasi oleh peneliti di ITS telah lolos pengujian *thermal shock & cycling* berdasarkan regulasi UN R-136.

Selama pengujian *thermal shock & cycling*, ditemukan pula sebuah fenomena bahwa pada temperatur di bawah 0°C, *battery pack* tidak berfungsi. Hal ini dapat diketahui lewat *monitoring* oleh BMS yang terhubung ke tampilan *software* BMS di laptop. Saat temperature dari chamber berada pada kondisi minus, maka pembacaan BMS menjadi 0 V.

**Gambar 8.** Kondisi *battery pack* selama dan setelah pengujian *thermal shock & cycling*.



(a)



(b)

Gambar 9. Proses setelah pengujian *thermal shock & cycling*, (a) *discharging battery pack* dengan *battery load unit*, (b) *charging battery pack* dengan *charger*

Fenomena ini sesuai dengan penjelasan dalam banyak penelitian lain, dimana sel baterai Li-ion tidak dapat bereaksi secara kimia pada temperatur negatif [20–24]. Pada implementasi kendaraan listrik di negara yang memiliki musim dingin, produsen perlu memberikan instalasi pemanas tambahan guna memastikan baterai selalu berada pada kondisi temperatur kamar. Sebagai contoh, Tesla menambahkan *heater* pada *battery pack* supaya kendaraan listriknya tetap bisa beroperasi pada saat musim salju [25-26].

Fenomena tersebut merupakan keuntungan tersendiri bagi implementasi kendaraan listrik di Indonesia yang tidak mengenal musim dingin. Kondisi geografis di Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, membuat tidak diperlukannya *heater* bagi *battery pack*. Ini berarti pula akan ada penghematan dari sisi komponen peralatan yang diperlukan dalam kendaraan listrik.

4. KESIMPULAN

Desain, fabrikasi, dan assembly untuk unit *battery pack* sudah selesai dilakukan sebanyak 25 unit *battery pack* dengan spesifikasi 100 Volt dan 300 Ah. Prosedur dan peralatan pengujian keselamatan thermal, baik itu proteksi terhadap *over-temperature* maupun *thermal shock & cycling* telah disusun dan didemonstrasikan untuk pengujian keselamatan *battery pack*. Hasil dari pengujian *over-temperature*, BMS mampu melakukan *cut-off* pada temperatur 45.89°C. Sementara hasil dari pengujian *thermal shock & cycling*, *battery pack* tidak mengalami kegagalan saat perubahan temperatur dari 59,72°C dan -40,25°C selama 60 jam. Ini menunjukkan bahwa *battery pack* untuk sepeda motor listrik telah memenuhi kriteria penerimaan keselamatan sesuai UNR-136, yakni selama dan setelah pengujian tidak ditemukan adanya kebocoran elektrolit, kerusakan, ledakan, dan kebakaran.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada LPDP yang telah memberikan anggaran untuk penelitian ini melalui pendanaan Riset Produktif (Rispro) dengan kontrak Nomor PRJ-9/LPDP/2018.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. F. ERAHMAN, W. W. PURWANTO, M. SUDIBANDRIYO, A. HIDAYATNO, “An assessment of Indonesia’s energy security index and comparison with seventy countries,” *Energy*, vol. 111, pp. 364–376, Sep. 2016.

- [2] A. N. ALAMI, N. SRIYANTO, “Indonesia’s Foreign Policy and Energy Security Issues: The Missing Link in Indonesia’s Energy Sector,” in *Foreign Policy and Energy Security Issues in Indonesia*, A. N. Alami, G. Wuryandari, R. R. E. Yustiningrum, and N. Sriyanto, Eds. Singapore: Springer, 2017, pp. 1–20.
- [3] A. AKHMAD, B. ROMADHONI, K. KARIM, M. J. TAJIBU, M. SYUKUR, “The Impact of Fuel Oil Price Fluctuations on Indonesia’s Macro Economic Condition,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 9, no. 2, pp. 277–282, Feb. 2019.
- [4] M. SETIYO, B. WALUYO, “Evolusi Sistem Bahan Bakar LPG: Tinjauan Literatur,” *Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 199–207, Sep. 2019.
- [5] A. WIKARTA, A. RAHMADIANSAH, M. N. YUNIARTO, I. SIDHARTA, “Water resistance performance test of GESITS electric scooter,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 1983, no. 1, p. 030012, Jul. 2018.
- [6] Editorial, “Panasonic NCR18650B Green Li-Ion 18650 Tagged Rechargeable Battery with solder tags from Japan - 3.7V 3400 mAh Lithium cell.” <https://www.batteriesplus.co.uk/acatalog/Panasonic-NCR18650B-Green-Li-Ion-18650-Tagged-Rechargeable-Battery-with-solder-tags--3.7-V-3400-mAh-Lithium-cell-2081.html>. Diakses Aug. 01, 2020.
- [7] F. H. GANDOMAN *et al.*, “Concept of reliability and safety assessment of lithium-ion batteries in electric vehicles: Basics, progress, and challenges,” *Applied Energy*, vol. 251, p. 113343, Oct. 2019.
- [8] J. ZHU, T. WIERZBICKI, W. LI, “A review of safety-focused mechanical modeling of commercial lithium-ion batteries,” *Journal of Power Sources*, vol. 378, pp. 153–168, Feb. 2018.
- [9] F. DI PERSIO, V. RUIZ, European Commission, and Joint Research Centre, *Standards for the performance and durability assessment of electric vehicle batteries: possible performance criteria for an Ecodesign Regulation*. 2018.
- [10] L. OCA, N. GUILLET, R. TESSARD, U. IRAOLA, “Lithium-ion capacitor safety assessment under electrical abuse tests based on ultrasound characterization and cell opening,” *Journal of Energy Storage*, vol. 23, pp. 29–36, Jun. 2019.
- [11] R. XIONG, R. YANG, Z. CHEN, W. SHEN, F. SUN, “Online Fault Diagnosis of External Short Circuit for Lithium-Ion Battery Pack,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67, no. 2, pp. 1081–1091, Feb. 2020.
- [12] X. LAI, Y. ZHENG, L. ZHOU, W. GAO, “Electrical behavior of overdischarge-induced internal short circuit in lithium-ion cells,” *Electrochimica Acta*, vol. 278, pp. 245–254, Jul. 2018.
- [13] B. LIU *et al.*, “Safety issues and mechanisms of lithium-ion battery cell upon mechanical abusive loading: A review,” *Energy Storage Materials*, vol. 24, pp. 85–112, Jan. 2020.
- [14] V. RUIZ, A. PFRANG, A. KRISTON, N. OMAR, P. VAN DEN BOSSCHE, L. BOON-BRETT, “A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1427–1452, Jan. 2018.
- [15] Editorial, “Regulation No. 136,” Feb. 05, 2016. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2016/R136e.pdf>. Diakses Des 2019.
- [16] T. CHO, “Detailed explanation of UN R136,” May 24, 2016. https://www.jasic.org/j/07_wp29/pdf/2016/44th_Expert_Meeting_j.pdf.
- [17] S. SIGIT, “Recent Progress of RD&D at B4T,”. Diakses Nov. 26, 2019.
- [18] Editorial, “TORHEL840/860 - Battery load units.” <https://megger.com/battery-load-units-torkel840-and-torkel860>. Diakses Dec. 27, 2019.
- [19] “Temp Humidity Chamber - Overall Testing Systems.” <https://www.ots-testequipment.net/product/temp-humidity-chamber>. Diakses Dec. 27, 2019.
- [20] A. SENYSHYN, M. J. MÜHLBAUER, O. DOLOTKO, H. EHRENBERG, “Low-temperature performance of Li-ion batteries: The behavior of lithiated graphite,” *Journal of Power Sources*, vol. 282, pp. 235–240, May 2015.
- [21] J. JAGUEMONT, L. BOULON, Y. DUBÉ, “A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures,” *Applied Energy*, vol. 164, pp. 99–114, Feb. 2016.
- [22] Y. JI, Y. ZHANG, C.-Y. WANG, “Li-Ion Cell Operation at Low Temperatures,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 160, no. 4, pp. A636–A649, Jan. 2013.
- [23] Editorial, “Extreme Temperatures Affect Electric Vehicle Driving Range, AAA Says | AAA NewsRoom.” <https://newsroom.aaa.com/2014/03/extreme-temperatures-affect-electric-vehicle-driving-range-aaa-says>. Diakses Dec. 27, 2019.
- [24] C.-Y. WANG *et al.*, “Lithium-ion battery structure that self-heats at low temperatures,” *Nature*, vol. 529,

- no. 7587, pp. 515–518, Jan. 2016.
- [25] T. HARRISON, “Tesla Model 3 — Cold Weather Tips,” *Medium*, Oct. 18, 2019. <https://tomharrisonjr.com/tesla-model-3-cold-weather-tips-e8db94afb1eb>. Diakses Dec. 27, 2019.
- [26] F. LAMBERT, “Tesla is working on a battery pre-heating feature to maximize efficiency in cold climates,” *Electrek*, Dec. 19, 2017. <https://electrek.co/2017/12/19/tesla-battery-pre-heating-feature-maximize-efficiency-cold-climates>. Diakses Dec. 27, 2019.