



Jurnal Artikel

Desain Sistem Pendingin Kemasan Baterai Litium Ion Kapasitas Pengisian Cepat dengan PCM (*Phase Change Material*) dan Pelat Pendingin

Choirul anwar^{1*}, Agus Suprayitno²

^{1,2}Teknik Mesin, STT Wastukencana

¹choirul@stt-wastukencana.ac.id, ²asuprayitno@stt-wastukencana.ac.id

*Corresponding author – Email : choirul@stt-wastukencana.ac.id

Artikel Info - : Received : 12 Feb 2021; Revised : 17 Feb 2021; Accepted: 27 Feb 2021

Abstrak

Kinerja baterai dipengaruhi oleh permasalahan panas berlebih yang dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada baterai dan komponen elektronika BMS (*Battery Management System*). Dengan kebutuhan peningkatan waktu pengisian baterai dengan kapasitas cepat membuat panas internal yang dihasilkan baterai ikut meningkat sehingga kemasan baterai perlu dilengkapi dengan sistem pendingin. Saat ini sistem pendingin pada kemasan baterai banyak menggunakan plat pendingin, pipa pendingin, PCM (*Phase Change Material*) dan fluida pendingin. Mengkombinasikan desain sistem pendingin berdasarkan keunggulan dan kekurangan untuk menghasilkan kinerja terbaik dicoba dengan menggunakan pelat pendingin dan PCM. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan perubahan desain awal kemasan baterai tanpa pendingin menjadi dengan sistem pendingin dengan membuat desain dan melakukan verifikasi desain. Proses analisis termal dilakukan pada proses pengisian baterai dan pengeluaran baterai. Hasil dari penelitian adalah distribusi perpindahan panas yang terjadi pada saat proses pengisian baterai dan pengeluaran baterai seragam dan nilai temperatur yang diperoleh adalah pada proses pengeluaran baterai 43,2 °C di komponen pelat pendingin utama dan temperatur maksimal pada proses pengisian yaitu 57,6°C di BMS. Pendinginan menggunakan pelat pendingin dan PCM untuk sistem tertutup menjadi lebih maksimal.

Kata kunci: baterai Litium-Ion, Pelat pendingin, PCM

Abstract

Battery performance is affected by the problem of overheating which can cause mechanical damage to the battery and electronic components of the BMS (*Battery Management System*). With the need for an increase in battery charging time with fast capacity, the internal heat generated by the battery also increases so that the battery pack needs to be equipped with a cooling system. Currently, the cooling system in the battery pack uses a lot of cooling plate, cooling pipe, PCM (*Phase Change Material*) and cooling fluid. Combining cooling system design based on advantages and disadvantages to produce the best performance was tried using the cooling plate and PCM. The method used is to change the initial design of the battery pack without cooling to a cooling system by making a design and verifying the design. The process of thermal analysis is carried out in the process of charging the battery and removing the battery. The result of the research is the distribution of heat transfer that occurs during the battery charging process and the battery discharge is uniform and the temperature value obtained is the 43,2 °C battery discharge process in the main cooling plate component and the maximum temperature in the charging process is 57,6°C. at BMS. Cooling using a cooling plate and PCM for a closed system is maximized.

Keywords: baterai Litium-Ion, Heat Sink, PCM

1. PENDAHULUAN

Kendaraan listrik semakin mendapatkan preferensi publik, terlihat dengan mulai marak penjualannya. Sebagai alternatif pengganti kendaraan berbahan bakar fosil, kendaraan listrik terus mengalami perbaikan untuk bisa menjawab tantangan yang ada dipasar. Tantangan teknis yang banyak menjadi perhatian kendaraan listrik adalah terkait dengan teknologi baterai. Baterai litium ion (LIBs) merupakan energi penyimpanan listrik yang berasal dari energi kimia dan menjadi kandidat terkuat untuk aplikasi otomotif masa depan berbasis listrik karena mempunyai keunggulan pengisian daya lebih cepat, tahan lama, dan memiliki kepadatan daya lebih tinggi.(Cao et al. 2019)

Kendala yang dialami paket baterai adalah manajemen termal karena berpengaruh terhadap faktor umur pakai dan keamanan. Pada sebuah pengujian baterai Sony 18650, kapasitas hilang lebih dari 60% setelah 800 siklus pada temperatur 50°C dan 70% setelah 500 siklus pada temperatur 55°C. Dengan demikian, manajemen termal yang efektif diperlukan untuk pengendalian suhu baterai di bawah suhu yang ditentukan seperti 50°C, terutama untuk baterai tua dengan lebih banyak panas menghasilkan panas.(Menale et al. 2019)

Di dalam kemasannya, baterai disarankan untuk beroperasi pada suhu dalam kisaran 20°C - 45°C untuk mendapatkan kinerja terbaik. Selain itu, suhu di seluruh paket baterai harus dipertahankan seragam pada sebagian besar area agar kinerja dan daya tahan tetap maksimal, serta panas berlebih tidak mengakibatkan kerusakan atau ledakan. Oleh karena itu, diperlukan sistem manajemen termal baterai yang mutakhir untuk mengatasi dampak termal saat kendaraan listrik beroperasi.(Cao et al. 2019)

Kebutuhan akan pengisian baterai cepat menjadi salah satu pilihan untuk

mempercepat waktu saat mengisi sehingga waktu yang dihabiskan dalam mengisi baterai mendekati dengan waktu yang diperlukan untuk mengisi bahan bakar fosil. Selain itu kapasitas baterai yang hanya mampu menempuh jarak tertentu membuat seringnya melakukan pengecasan sehingga perlu adanya mengisi cepat atau stasiun penukaran baterai. Tetapi dengan pengisian cepat baterai akan berdampak pada peningkatan termal yang terjadi pada kemasan baterai. Sehingga perlu dibuatkan desain sistem pendingin yang mampu mengurangi panas yang terjadi saat melakukan pengisian. (Xie et al. 2020)

Pada kondisi baterai tertutup diperlukan sistem pendingin paket baterai dengan memanfaatkan perpindahan panas secara konduksi dengan jenis pendingin pasif. Ada beberapa jenis pendingin pasif yang biasa digunakan pada pendingin paket baterai antara lain PCM (*Phase change material*) dan pelat pendingin (*Heat sink*). PCM adalah material penyimpan panas yang mempunyai keunggulan harga murah, mampu bekerja di kondisi temperatur ekstrim, efisiensi tinggi dan temperatur kerja seragam. PCM mempunyai kekurangan konduktivitas termal rendah, resiko kebocoran, resiko *supercooling* dan perubahan volume. Pelat pendingin mempunyai keunggulan konduktivitas termal, efisiensi dan perpindahan panas yang baik dengan kekurangan biaya awal dan operasional yang tinggi.(Ianniciello, Biwolé, and Achard 2018)

Dalam upaya memperoleh kinerja pendinginan maksimal dan biaya yang rendah sehingga perlu dilakukan kombinasi jenis material yang digunakan. Pendingin dengan material PCM dan pelat pendingin menjadi alternatif pilihan. Dengan pembuatan desain yang optimal dan melakukan analisis termal yang terjadi untuk melihat pengaruh manajemen termal pada paket baterai kendaraan listrik. Keterbaruan penelitian ini adalah dengan melokalisir area kerja PCM dan

memanfaatkan pelat pendingin sebagai jalur perpindahan panas yang optimal.

2. METODOLOGI

Kemasan baterai LIBs yang menjadi model pada desain sistem pendingin ini adalah kemasan baterai sepeda motor listrik dengan kapasitas 20Ah dan tegangan 60 Volt. Jumlah sel baterai 180 buah dan dibuat menjadi 2 modul. Desain kemasan baterai akan menggunakan CAD (*Computer Aided Design*) dengan perubahan desain menyesuaikan sistem pendingin. Data awal panas yang diberikan oleh sel baterai dan *Battery Management System* (BMS) mengacu pada pengambilan data awal kondisi kemasan baterai sebelumnya. Termal properties material PCM dan Alumunium akan mengacu pada hasil penelitian terkait, kemudian data tersebut akan digunakan untuk simulasi termal baterai.

Pemodelan termal menggunakan perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*). Perpindahan panas yang dilakukan bisa diasumsikan menggunakan perpindahan panas konduksi 1 dimensi dengan tambahan fenomena konveksi dari temperatur lingkungan. Pemodelan termal dilakukan dengan memodelkan objek dianalisis, pembuatan *meshing*, menghitung kapasitas panas yang terjadi, perpindahan panas yang terjadi, dan menganalisis perpindahan panas akibat tambahan sistem pendingin berbasis material. Jenis perpindahan panas, seperti konduksi dan konveksi dijelaskan pada persamaan 2.1 dan persamaan 2.2. (Kang et al. 2020) Sedangkan perpindahan panas secara radiasi tidak dilakukan karena fenomena yang terjadi tidak ada radiasi.

$$Q_{konduksi} = -KA \frac{dT}{dx,y,z} \quad (2.1)$$

Dimana k adalah koefisien perpindahan panas dari konduksi (W /mK), A adalah luas permukaan (m²), dT (K) adalah

perbedaan suhu di antara keduanya titik benda, dan dx, y dan z adalah jarak antara kedua poin.

$$Q_{konveksi} = hA(T_i - T_{lingkungan}) \quad (2.2)$$

Dimana h adalah koefisien perpindahan panas dari konveksi (W / m²K), T_i (K) adalah suhu permukaan, dan T_{lingkungan} (K) adalah suhu ambien.

Dari beberapa peneliti terdahulu sudah banyak dikembangkan model sel baterai untuk memprediksi perilaku termal menggunakan model elektrokimia. Data tersebut berdasarkan pada berbagai persamaan elektrokimia dan termodinamik yang berguna untuk memahami perilaku termal di dalam baterai. Menurunkan ekspresi panas baterai menggunakan keseimbangan energi termodinamika pada sel lengkap dengan pertimbangan daya listrik Dan ini persamaan yang diusulkan sering dikutip dalam literatur dalam bentuk yang disederhanakan bentuk sebagai berikut: (D. Bernardi 1985)

$$q = I(U - V) - I(T \frac{\partial U}{\partial T}) \quad (2.3)$$

Di mana q adalah panas total sel, U adalah tegangan sirkuit terbuka, V adalah tegangan sirkuit tertutup atau tegangan terminal, dan T adalah suhu sel. $\partial U / \partial T$ menyatakan ketergantungan suhu dari tegangan kesetimbangan. Di sini, suku pertama di sisi kanan adalah tentang ireversibel generasi panas. Ini dijelaskan di bawah ini: (Kang et al. 2020)

$$q_{ireversibel} = I(U - V) = I^2R \quad (2.4)$$

Persamaan ini menjelaskan pemanasan ireversibel dengan kehilangan ohmik. Juga hambatan internal (R) adalah parameter penting untuk menghitung panas generasi, dan jika arus meningkat, suku pertama di sisi kanan (2.3) memiliki pengaruh yang

lebih besar terhadap panas total dari pada suku kedua. Kedua Istilah di sisi kanan (2.3) adalah tentang pemanasan entropik, atau panas reversible generasi. Istilah ini terkait dengan reaksi kimia dengan penyisipan dan ekstraksi ion Li (Li +) di antara anoda dan katoda, yang tercermin dari koefisien suhu:(Kang et al. 2020)

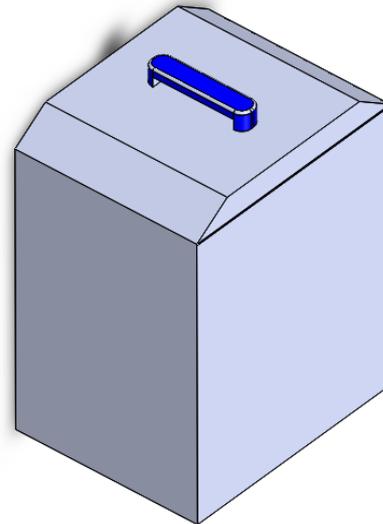
$$q_{reversibel} = IT \frac{\partial U}{\partial T} \quad (2.5)$$

Dari hasil penjelasan diatas untuk simulasi panas yang digunakan adalah menggunakan keseragam panas internal yang dihasilkan dari sel baterai. Selain dari sumber panas sel baterai, panas internal juga dihasilkan oleh BMS. Dimana BMS sebagai control baterai saat pengisian dan pelepasan berpengaruh terhadap nilai pergerakan dan resistensi arus sehingga berpotensi menghasilkan panas. Pada penelitian ini akan menggunakan panas internal baterai saat pengisian yaitu 60°C. Hal ini didasarkan pada temperatur kerja normal baterai dan komponen elektronik maksimal adalah 50°C, fuse pengaman BMS pada suhu 60°C akan mematikan sistem dan kondisi pengisian cepat akan melebihi temperatur pengisian normal. Dari beberapa hal tersebut sehingga temperatur internal yang digunakan pada sel baterai dan BMS adalah 60°C.

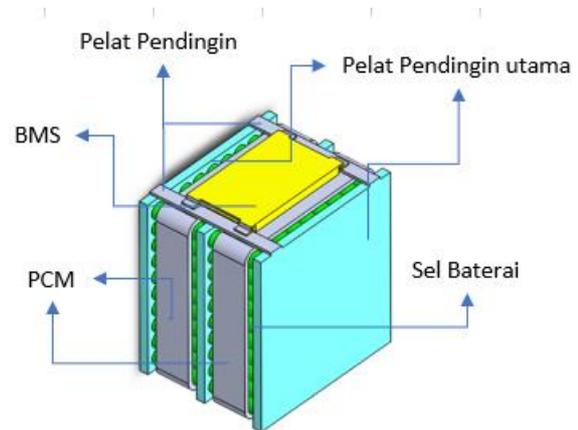
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Kemasan Baterai

Pada tahapan awal pembuatan desain adalah melakukan *reverse engineering* untuk mengetahui kondisi kasar dari desain sebelumnya. Dari desain tersebut kemudian dilakukan perubahan desain yang disesuaikan dengan sistem pendingin yang akan digunakan. Adapun desain kemasan baterai ditunjukkan pada gambar 1. Merupakan gambar keseluruhan dan gambar 2 menunjukkan gambar tanpa menggunakan *casing*.

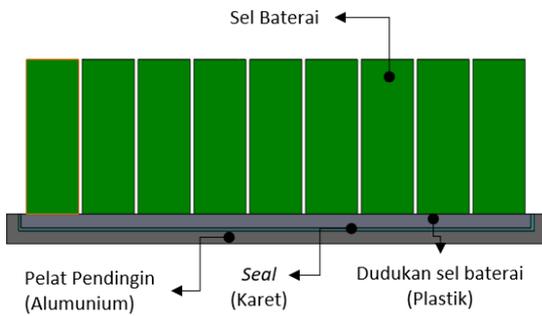


Gambar 1 Desain Kemasan Baterai Sepeda Motor Listrik dengan *Casing*



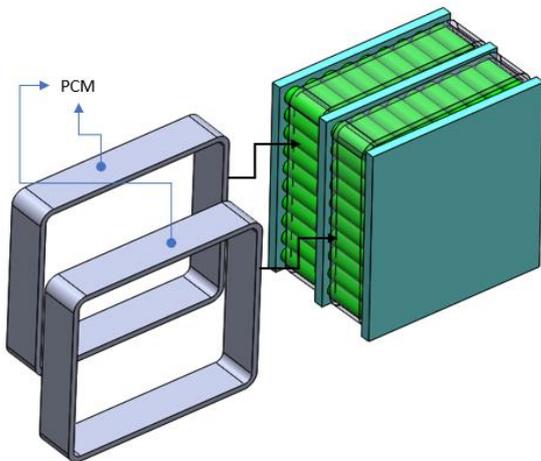
Gambar 2 Desain Kemasan Baterai Sepeda Motor Listrik tanpa *Casing*

Casing kemasan baterai menggunakan pelat alumunium, sehingga untuk memaksimalkan area sentuhan pelat alumunium dibuat sebagai dudukan baterai sekaligus pendingin. Sebagai factor keamanan digunakan *seal* antara baterai modul dan pelat. Komponen-komponen ini dirakit menjadi satu dalam sebuah baterai modul seperti ditunjukkan pada gambar 3.



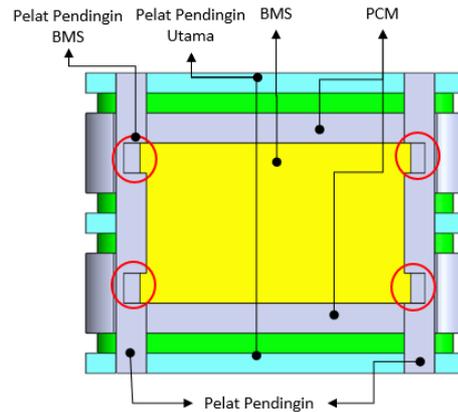
Gambar 3 Baterai Modul

Untuk memberikan pendinginan pada bagian sisi sel baterai maka digunakan PCM. PCM dibungkus dengan menggunakan pembungkus aluminium anti bocor yang dibuat mengelilingi baterai modul. Material pembungkus dibuat fleksibel untuk memudahkan bersentuhan dengan sisi sel baterai. Pada gambar 4 ditunjukkan rongga kosong pada bagian ini juga digunakan sebagai area pergerakan perubahan volume akibat perubahan fasa.



Gambar 4 PCM dan posisi pemasangannya

Panas internal dari sisi sel baterai yang diserap oleh PCM selanjutnya dipindahkan melalui pelat pendingin. Pelat pendingin ini juga berfungsi sebagai penguat struktur antar modul baterai. Pelat pendingin ini juga menyerap panas dari BMS. Panas yang diterima dialiri ke pelat pendingin. Sehingga ada kombinasi media perpindahan panas yang digunakan. Adapun detail dari pemasangan komponen ini ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 PCM dan posisi pemasangannya

3.2 Thermal Properties Material

Sebelum melakukan desain verifikasi perlu menetapkan material yang digunakan pada simulasi. Adapun pilihan material yang akan digunakan adalah aluminium A6061, PCM dengan dasar senyawa $Na_2Si_3 \cdot 5H_2O$.

Tabel 2.1 Thermal Properties Material Aluminium A6061

Spesifikasi	Nilai
Konduktivitas Termal	170 W/ (m.K)
Massa Jenis	2700 kg/m ²
Kapasitas Panas Spesifik	1300 J/(kg.K)

Tabel 2.2 Thermal Properties Material PCM

Spesifikasi	Nilai
Konduktivitas Termal	0,256 W/ (m.K)
Massa Jenis	1020 kg/m ²
Kapasitas Panas Spesifik	1386 J/(kg.K)

Tabel 2.3 Thermal Properties Material Karet

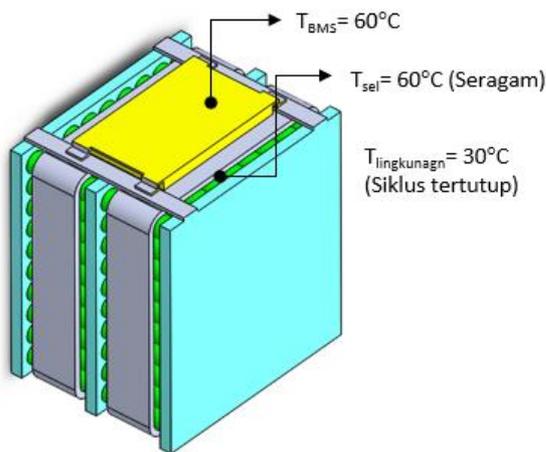
Spesifikasi	Nilai
Konduktivitas Termal	0,13 W/ (m.K)
Massa Jenis	801 kg/m ²
Kapasitas Panas Spesifik	2010 J/(kg.K)

Pada pemodelan desain verifikasi perpindahan panas pada kemasan baterai, komponen-komponen akan menggunakan 3 material diatas dengan thermal properties pada table 2.1, 2.2, dan 2.3. Selanjutnya akan dibuat pendekatan untuk pelat

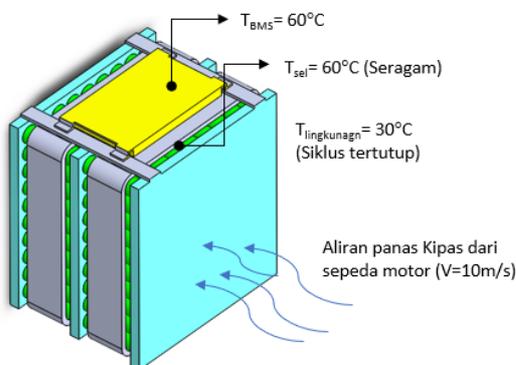
pendingin, sel baterai dan BMS akan menggunakan material aluminium A6061, PCM menggunakan $Na_2Si_3 \cdot 5H_2O$ dan seal akan menggunakan material karet.

3.3 Permodelan Perpindahan Panas Kemasan Baterai

Pemodelan yang dilakukan akan menggunakan dua model simulasi yaitu simulasi pengisian dan simulasi pelepasan pada baterai. Gambar 6 menunjukkan simulasi pengisian baterai dimana selain perpindahan konduksi terdapat perpindahan konveksi karena kondisi temperatur lingkungan. Sedangkan simulasi pengeluaran menggunakan tambahan fan sebagai konveksi paksa pada 1 sisi dari casing kemasan baterai.



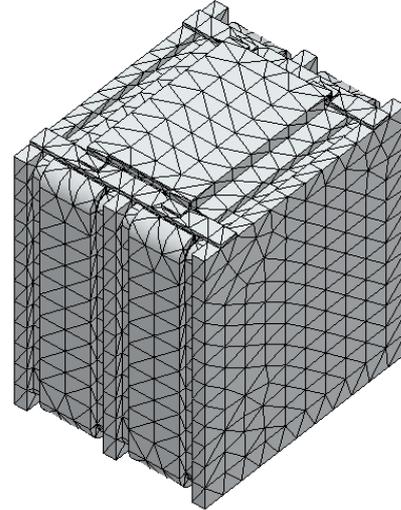
Gambar 6 Model Simulasi Termal Pengisian Baterai



Gambar 7 Model Simulasi Termal Pelepasan Baterai

Dari data tersebut kemudian dilakukan

penetapan kondisi batas simulasi dan membuat meshing untuk penentuan nilai node dan elemen untuk model matematika metode elemen hingga.

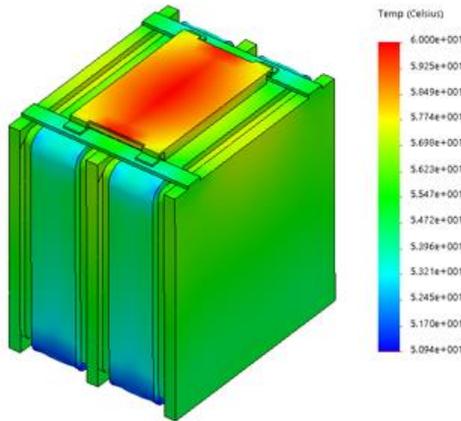


Gambar 8 Meshing Model Kemasan Baterai

Dari gambar 8 diperoleh *Meshing* dengan jumlah nodal 16453, jumlah elemen 10095, aspek ratio 18,16 dengan ukuran elemen 17,9 mm.

3.4 Hasil Simulasi

Hasil dari simulasi panas untuk pengujian model pengisian baterai kapasitas pengisian cepat diperoleh distribusi pengisian panas yang dihasilkan seperti gambar 9. Terlihat pada gambar panas internal yang dihasilkan oleh BMS terdistribusi dengan baik ke pelat pendingin. Untuk panas internal dari sel baterai terlihat terdistribusi merata ke PCM dan pelat pendingin utama.



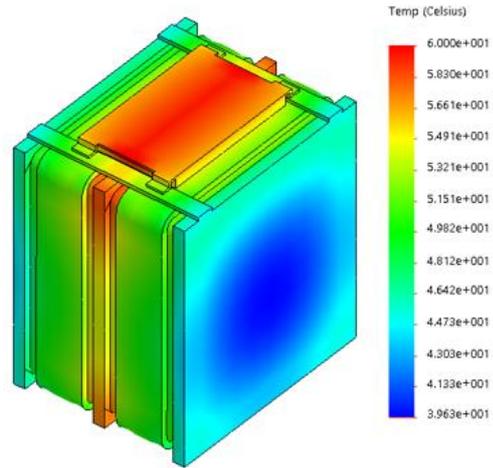
Gambar 9 Hasil Simulasi Termal Kemasan Baterai Pada Pengisian Baterai

Perpindahan panas pada pengisian baterai adalah sistem tertutup sehingga panas yang berada didalam akan terjadi perpindahan secara konduksi dengan Batasan konveksi yang terjadi pada dinding casing yang mendapatkan pendinginan secara natural. Nilai rata-rata temperatur yang diperoleh terbesar pada BMS yaitu 57,6°C dan terendah pada pelat pendingin utama yaitu 53,4 °C. Hasilnya ditunjukkan pada table 2.4 dibawah ini

Tabel 2.4 Temperatur Rata-Rata Kemasan Baterai Pada Pengisian Baterai

Komponen	Temperatur Rata-Rata
BMS	57,6°C
PCM	54,5°C
Plate Pendingin	53,9 °C
Plat Pendingin Utama	53,4 °C

Simulasi panas untuk pengujian model pengeluaran baterai panas yang dihasilkan seperti gambar 10. Terlihat pada gambar panas internal yang dihasilkan oleh BMS terdistribusi dengan baik ke pelat pendingin. Untuk panas internal dari sel baterai terlihat terdistribusi merata ke PCM dan pelat pendingin utama. Pada Pelat pendingin utama terlihat temperaturnya rendah, hal ini dikarenakan pada sisi satu dari kemasan baterai mengarah kependinginan kipas pada sepeda motor. Pada pengeluaran baterai sepeda motor dalah kondisi hidup.



Gambar 10 Hasil Simulasi Termal Kemasan Baterai Pada Pengeluaran Baterai

Perpindahan panas pada pengeluaran baterai adalah sistem tertutup, Batasan konveksi yang terjadi pada dinding casing yang mendapatkan pendinginan secara konveksi paksa karena dibantu oleh Fan yang beroperasi pada salah satu sisi casing kemasan baterai. Konveksi paksa pada dinding casing membantu proses pendinginan pelat pendingin utama. Nilai rata-rata temperatur yang diperoleh terbesar pada BMS yaitu 57,3°C dan terendah pada pelat pendingin utama yaitu 43,2 °C. Nilai ini mengalami penurunan dibandingkan dengan panas pada pengisian baterai. Nilai Hasilnya ditunjukkan pada table 2.5 dibawah ini

Tabel 2.5 Temperatur Rata-Rata Kemasan Baterai Pada Pengeluaran Baterai

Komponen	Temperatur Rata-Rata
BMS	57,3°C
PCM	51,7°C
Plate Pendingin	48,2 °C
Plat Pendingin Utama	43,2 °C

4. KESIMPULAN

Dengan panas internal kemasan baterai Litium Ion yang dihasilkan pada proses pengisian baterai kapasitas pengisian cepat dan pengeluaran baterai dipeloleh desain sistem pendinginan yang efektif dengan menggunakan PCM dan pelat pendingin.

Hal ini dilihat dengan distribusi panas yang merata pada area sumber panas dan penerima panas sehingga proses pendinginan menjadi lebih cepat. Nilai temperatur terendah terjadi pada proses pengeluaran baterai yaitu 43,2 °C di komponen pelat pendingin dan temperatur maksimal pada proses pengisian yaitu 57,6°C di BMS. Nilai penyebaran panas yang penelitian ini dapat ditingkatkan kembali dengan memperluas besarnya area kontak dari sumber panas ke material pendingin. Perluasan area tidak dapat dilakukan karena batasan *casing* tidak dilakukan perubahan desain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, & Pendidikan Tinggi melalui program "Penelitian Dosen Pemula" dengan nomor kontrak 078 / SP2H / LT-MONO / LL4 / 2020. Terima kasih kami ucapkan kepada Kemenristek/Dikti, LLDIKTI Wilayah IV dan STT Wastukencana sebagai pendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cao, Wenjiong, Chunrong Zhao, Yiwei Wang, Ti Dong, and Fangming Jiang. 2019. "Thermal Modeling of Full-Size-Scale Cylindrical Battery Pack Cooled by Channeled Liquid Flow." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 138:1178–87.
- D. Bernardi, E. Pawlikowski and J. Newman. 1985. "A General Energy Balance for Battery Systems." *Journal of The Electrochemical Society* 131(1):5–12.
- Ianniciello, Lucia, Pascal Henry Biwolé, and Patrick Achard. 2018. "Electric Vehicles Batteries Thermal Management Systems Employing Phase Change Materials." *Journal of Power Sources* 378(October 2017):383–403.

- Kang, Deokhun, Pyeong Yeon Lee, Kisoo Yoo, and Jonghoon Kim. 2020. "Internal Thermal Network Model-Based Inner Temperature Distribution of High-Power Lithium-Ion Battery Packs with Different Shapes for Thermal Management." *Journal of Energy Storage* 27(June 2019):101017.
- Menale, Carla, Francesco D'Annibale, Barbara Mazzarotta, and Roberto Bubbico. 2019. "Thermal Management of Lithium-Ion Batteries: An Experimental Investigation." *Energy* 182:57–71.
- Xie, Wenlong, Xinhua Liu, Rong He, Yalun Li, Xinlei Gao, Xinghu Li, Zhaoxia Peng, Suwei Feng, Xuning Feng, and Shichun Yang. 2020. "Challenges and Opportunities toward Fast-Charging of Lithium-Ion Batteries." *Journal of Energy Storage* 32(August):101837.