

PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM MANAJEMEN TERMAL BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE PENDINGINAN SEMI-PASIF

DESIGNING AND REALIZATION OF BATTERY THERMAL MANAGEMENT SYSTEM FOR LITHIUM ION BATTERY USING SEMI PASSIVE COOLING METHOD

Achmad Rifdatul Hisan¹, Ismudiati Puri Handayani², Reza Fauzi Iskandar³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹achrifsan@telkomuniversity.ac.id, ²iphandayani@telkomuniveristy.ac.id, ³rezafauzii@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Baterai adalah salah satu media penyimpanan dan penyedia energi melalui reaksi kimia yang fungsi kerja dan umurnya dipengaruhi oleh suhu. Saat suhu meningkat dapat memberikan efek yaitu *overcharge*, *short circuit*, atau bahkan ledakan pada baterai. Pada penelitian ini dirancang sistem manajemen termal baterai untuk dapat memantau pengaruh suhu terhadap kinerja baterai, serta mengurangi efek negatif suhu pada baterai. Sistem yang dibuat berupa purwarupa dengan pemanas yang terbuat dari paraffin sebagai *phase change material* (PCM) dan melibatkan kipas yang membantu distribusi panas. Selanjutnya purwarupa diuji dengan menggunakan pemanas listrik dengan daya 280 watt dan diimplementasikan pada baterai *pack* yang terdiri atas tiga dan enam baterai. Penyebaran panas secara konveksi paksa dilakukan dengan menggunakan kipas dengan putaran 4100 RPM dan 4500 RPM. Dari pengujian purwarupa dapat diketahui bahwa paraffin mulai berubah fasa pada suhu 40°C. Sedangkan pada pengujian baterai, pada proses pengisian selama 5500 detik suhu terendah diperoleh sebesar 30°C ketika penggunaan kipas 4100 rpm. Proses tersebut lebih cepat jika menggunakan kipas 4500 rpm yaitu pengujian selama 6500 rpm disuhu 27 °C Selain itu, proses pengosongan baterai tidak terlalu dipengaruhi oleh suhu. Permodelan dengan menggunakan MATLAB[®] menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil eksperimen dengan selisih sebesar 0.5 volt. Selanjutnya proses pemodelan distribusi panas dengan COMSOL[®] menunjukkan bahwa sistem pendingin mencapai suhu yang lebih cepat dibanding eksperimen. Hasil ini menunjukkan bahwa proses konduksi dan konveksi paksa masih perlu dioptimalkan.

Kata kunci: sistem manajemen termal, baterai *lithium ion*, MATLAB[®], COMSOL[®]

Abstract

Battery is an electrical storage and energy supply which its work is based on chemical reaction. Besides, its work function and reliability are affected by temperature. The increase of temperature can give several negative effects such as *overcharging*, *short circuit creating*, or *explosion*. This research is conducted to design battery thermal management system for monitoring the influence of temperature to battery performance, as well as for reducing its negative effects. For that purpose, build a prototype which consists of paraffin as phase change material (PCM) and a fan as heat distributor. The prototype is tested using an electric heater with 280 Watt and implemented in 3-battery and 6-battery packs. A forced convection process is applied by using fan with 4100 RPM and 4500 RPM to distribute heat to environment. From the prototype testing, it is observed that the paraffin changes its phase at the temperature above 40°C and becomes liquid at 60°C. While in battery testing, using a faster RPM makes the temperature of the system become lower. Furthermore, We observed that the charging process at 30 takes about 5500 second when using fan with 4100 rpm which is faster than at 27 during 6500 second when using fan with 4500 rpm. On the other hand, the discharging process is relatively temperature dependent. Besides, battery will be charged to full faster when the temperature is high while the battery recharging process is not affected by the temperature. The modeling, created in MATLAB[®] and COSMOL[®]. Modeling using MATLAB[®] shows the same tendency with experimental results, has a margin below 0.5 volts, and statistically has perfect positive correlation value. The result of COMSOL[®] simulation shows that the cooling system reaches the temperature faster than the experiment for this system. This results indicates that the conduction and forced convection process still need to be optimize.

Keyword :Thermal management system, lithium ion, MATLAB[®], COMSOL[®]

1. Pendahuluan

Baterai merupakan media penyimpan energi melalui reaksi kimia ini akan selalu mengalami perkembangan seiring dengan kebutuhan dan penggunaan diberbagai aplikasi [1]. Dalam perkembangannya saat ini, jenis baterai yang sering digunakan serta masih terus dalam perkembangan yaitu baterai *Lithium Ion*. Baterai *Lithium Ion* banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki performa yang baik karena memiliki lebih dari 500 kali siklus hidup, tidak terdapat efek memori, dan tingkat *selfdischarge* yang rendah [2]. Arus dan tegangan yang

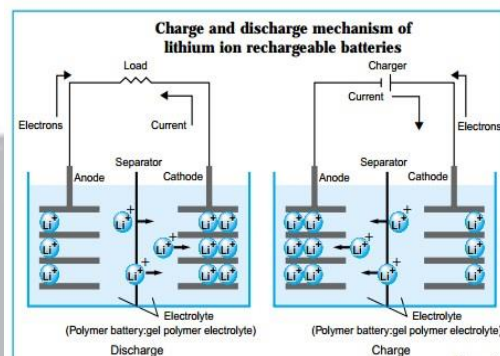
merupakan besaran yang dijadikan parameter kinerja baterai. Namun selain parameter tersebut, suhu pun dapat menjadi parameter kinerja, karena suhu yang berlebihan dapat memberikan beberapa efek pada kinerja baterai seperti, *overcharge*, *short circuit*, atau bahkan terjadi ledakan pada baterai. Suhu juga menyebabkan kinerja baterai kurang optimal yaitu kenaikan suhu menyebabkan penurunan nilai impedansi sehingga baterai menjadi lebih reaktif. Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kinerja baterai maka diperlukan Sistem Manajemen Termal Baterai.

Terdapat berbagai metode untuk melakukan pendinginan yaitu, pendinginan aktif dan pendinginan pasif [3]. Pendinginan aktif bekerja dengan memerlukan energi dari luar untuk dapat berfungsi, seperti kipas atau pompa, sedangkan pendinginan pasif bekerja tanpa memerlukan energi dari luar, seperti *heatsink* yang melakukan pendinginan dengan menyerap panas dan membuangnya ke lingkungan [3]. Pada penelitian ini dipilih metode gabungan antara metode aktif dan pasif yaitu, semi passif. Metode pendinginan ini dipilih karena diutamakan penggunaan material paraffin sebagai *phase change material* (PCM) dengan bantuan kipas sebagai pendingin aktif. Sistem Manajemen Termal Baterai ini diharapkan dapat menjadi alternatif untuk menjadikan baterai *Lithium Ion pack* tidak mengalami *overheat* yang dapat mengurangi kehandalan dan kesehatannya.

2. Dasar Teori

2.1 Baterai *Lithium Ion* [5]

Baterai *Lithium Ion* memiliki dua buah elektroda yaitu, elektroda positif (katoda) dan elektroda negatif (anoda) yang ion-ion didalamnya berpindah melalui elektrolit. Pada baterai *Lithium Ion*, pada umumnya material karbon sebagai anoda dan material metal oxide yang mengandung ion lithium digunakan sebagai katoda. Bahan katoda lainnya adalah lithium cobalt oksida, lithium mangan oksida, lithium iron phosphate, lithium mangan nikel, dan lithium nikel cobalt aluminium oxide. Pada gambar 1 dibawah ini menunjukkan prinsip kerja baterai *Lithium Ion*.



Gambar 1 Prinsip kerja baterai *Lithium Ion*

(Sumber: “*Lithium Ion Rechargeable Batteries Technical Handbook*”. www.sony.com.cn)

2.2 *Phase Change Material* [6]

Material yang mengalami perubahan fasa dan menggunakan ikatan kimianya untuk menyerap dan melepaskan panas disebut *phase change material* (PCM). PCM memiliki prinsip kerja yaitu ketika sedang disuhu ruangan maka PCM akan berbentuk padatan yang kemudian akan menyerap panas hingga saat suhu tinggi (titik lelehnya) maka material akan berubah fasa mencair cair dan kembali padatan ketika suhu kembali normal. Panas yang bekerja pada PCM ini adalah panas laten yang merubah fasa suatu material namun cenderung memiliki suhu yang konstan.. PCM digolongkan mejadi beberapa jenis yaitu organik, anorganik, dan *eutectic*. Salah satu contoh PCM organik adalah paraffin. Keuntungan menggunakan PCM adalah dapat terjadi perubahan fasa, material yang aman, tidak korosif, dan tidak menimbulkan polusi. Sedangkan keuntungan menjadikan PCM sebagai pendinginan passif adalah kemudahan penggabungan dengan sistem, efisien, pemeliharaan yang mudah, penggunaan dapat dalam waktu yang lama, harga yang murah, serta pendistribusian dan penurunan panas yang cukup baik. Berikut pada gambar-2 merupakan wujud zat dari paraffin.



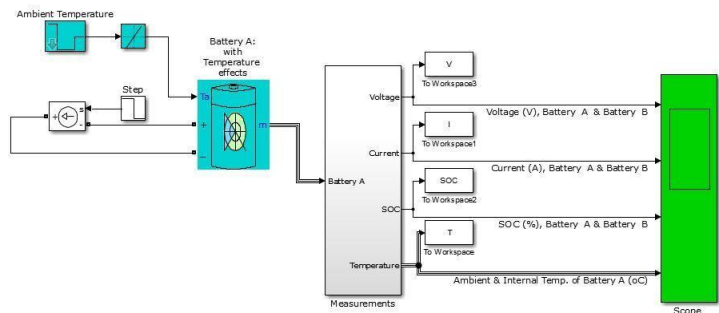
Gambar 2 Wujud zat paraffin

Spesifikasi paraffin:

- Bentuk : persegi
- *Melting point* : 40°C - 53°C
- *Heat of fusion* : 251 KJ/Kg.
- *Specific Heat* (solid) : 1.92 kJ/Kg.K
- *Specific Heat* (liquid) : 3.26 kJ/Kg.K
- *Thermal Conductivity* (solid) : 0.514 W/m.K
- *Thermal Conductivity* (liquid) : 0.224 W/m.K

2.3 Permodelan Sistem

Permodelan yang dilakukan pada sistem bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kinerja baterai dan mengetahui proses perpindahan panas pada sistem. Pengaruh suhu terhadap baterai dimodelkan berdasarkan persamaan matematis pada Simulink MATLAB® R2015b dan menggunakan rumus. Sedangkan proses perpindahan panas disimulasikan dengan COMSOL® Multiphysics.



Lithium-Ion Temperature Dependent Battery Model

Gambar 3 Blok Simulink MATLAB® R2015b untuk sistem
(Sumber: <http://www.mathworks.com>.)

Permodelan kedua menggunakan rumus yang juga digunakan pada simulasi Simulink MATLAB®. Permodelan dengan rumus ini dilakukan untuk mendapatkan grafik tegangan terhadap temperature [4].

$$E_0(T) = E_0 |_{T_{ref}} + \frac{dE}{dT} (T - T_{ref}) \dots\dots\dots (1)$$

$$K(T) = K |_{T_{ref}} \cdot \exp \left(\alpha \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$Q(T_a) = Q |_{T_a} + \frac{\Delta Q}{\Delta T} (T_a - T_{ref}) \dots\dots\dots (3)$$

$$R(T) = R |_{T_{ref}} \cdot \exp \left(\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- E₀: tegangan (volt)
- T: suhu baterai (K)
- T_{ref}: suhu lingkungan normal (K)
- T_a: suhu lingkungan (K)

α: konstanta arrhenius untuk resistansi polarisasi

β: konstanta arrhenius untuk resistansi internal

$\frac{dE}{dT}$: koefisien tegangan temperatur (V/K)

$\frac{\Delta Q}{\Delta T}$: koefisien kapasitas maksimum terhadap temperatur (Ah/K)

Sedangkan rumus pemodelan yang digunakan ditunjukkan pada persamaan 5 dan 6 untuk proses charge serta persamaan 4.7 dan 4.8 untuk proses discharge [4].

$$f_1(it, i^*, i, T, T_a) = E_0(T) - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{it + 0.1 \cdot Q(T_a)} \cdot i^* - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) - C \cdot it \dots\dots (5)$$

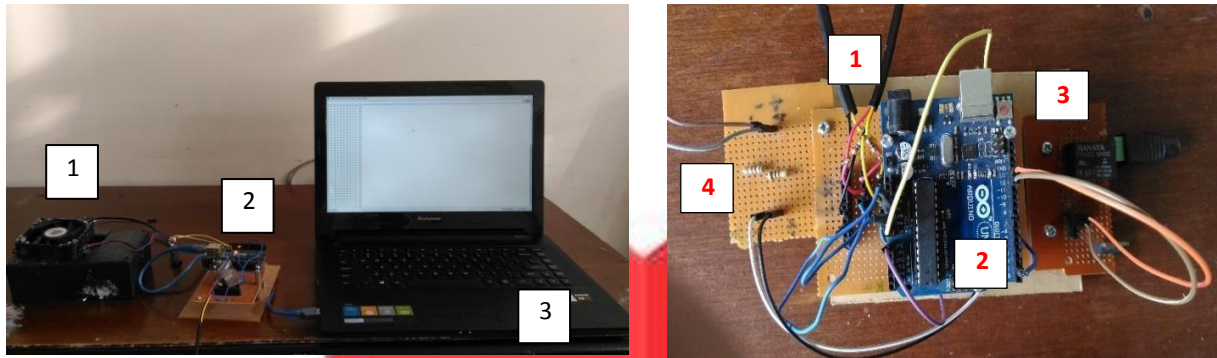
$$V_c(T) = f_1(it, i^*, i, T, T_a) - R(T) \cdot i \dots\dots\dots (6)$$

$$f_2(it, i^*, i, T, T_a) = E_0(T) - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot (i^* + it) + A \cdot \exp(-B \cdot it) - C \cdot it \dots\dots\dots (7)$$

$$V_d(T) = f_2(it, i^*, i, T, T_a) - R(T) \cdot i \dots\dots\dots (8)$$

3. Pembahasan

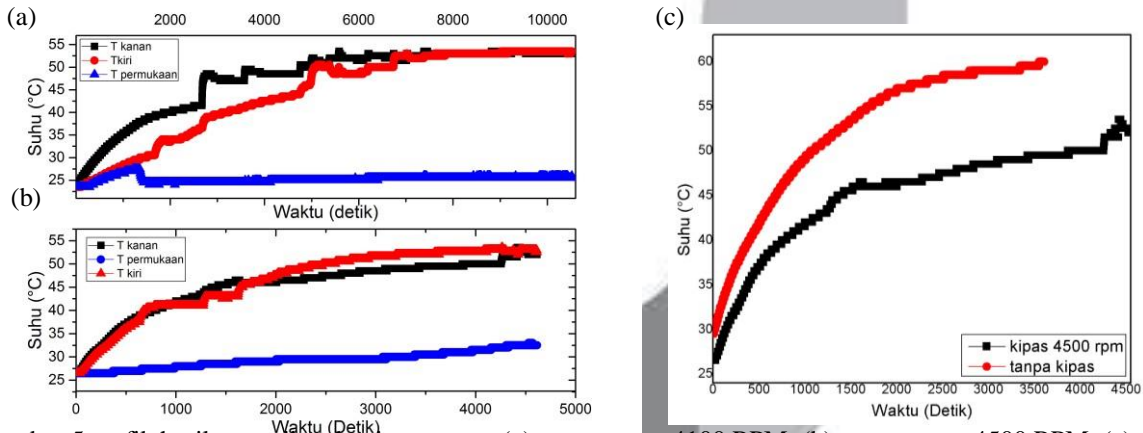
Pada penelitian ini dirancang sistem pengamatan baterai yang terdiri dari dua jenis baterai *Lithium Ion pack* yang berjumlah tiga buah dan enam buah, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, paraffin sebagai pendingin passif, dan kipas sebagai pendingin aktif. Sistem pengamatan suhu baterai dirancang untuk purwarupa dan implementasikan pada baterai. Purwarupa dirancang dengan dua desain yaitu paraffin dengan kotak berlubang lubang dan tanpa lubang. Pengujian melibatkan dua jenis kipas yang memiliki RPM berbeda, hal tersebut digunakan baik pada purwarupa maupun pengaplikasian pada baterai. Realisasi perancangan sistem ini ditunjukkan pada gambar 4 dibawah ini.



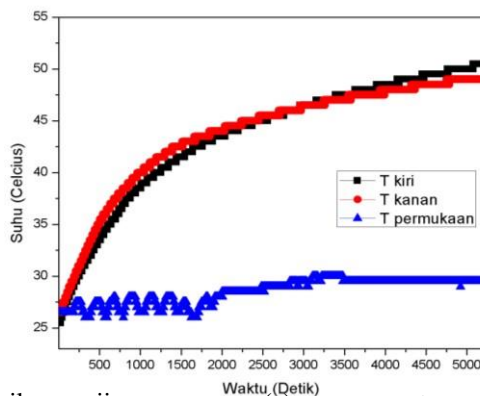
Gambar 4. Skema rancangan sistem

3.1 Pengujian Purwarupa

Pengujian purwarupa ini bertujuan untuk menguji dan mengetahui perilaku paraffin sebagai PCM sampai suhu 40°C maupun lebih dari itu. Purwarupa dirancang dengan menggunakan *heater* (tipe *catridge*) digunakan sebagai sumber panas pengganti baterai. Dengan menggunakan regulator tegangan AC, *heater* diatur pada tegangan sekitar 30 VAC dikarenakan setelah diuji coba pada tegangan tersebut *heater* memiliki kemampuan menghasilkan panas yang tidak terlalu cepat dan juga tidak terlalu lama. Berikut hasil pengujian purwarupa yang ditampilkan dengan grafik pada gambar 5(a) untuk penggunaan kipas pertama dan gambar 5(b) untuk penggunaan kipas kedua.



Gambar 5 grafik hasil pengujian desain pertama (a) penggunaan 4100 RPM, (b) penggunaan 4500 RPM, (c) tanpa kipas

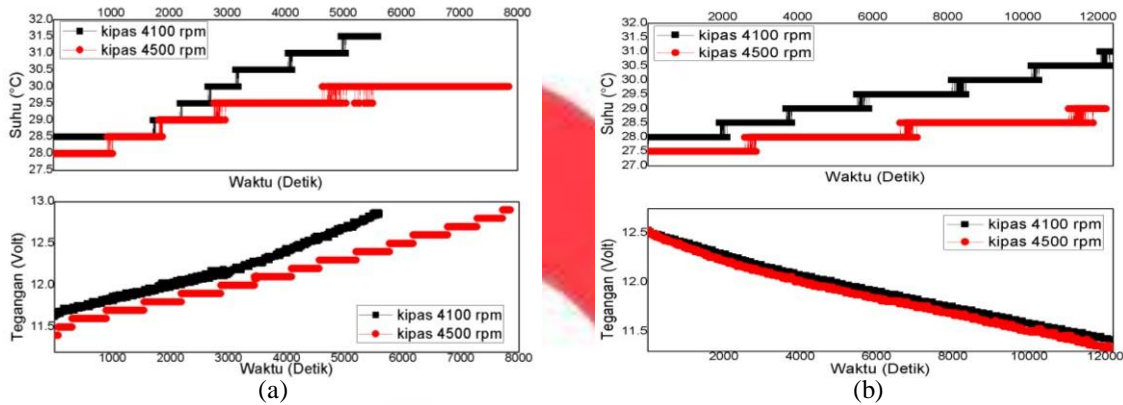


Gambar 6 grafik hasil pengujian purwarupa (a) purwarupa tanpa kipas dan (b) purwarupa kedua

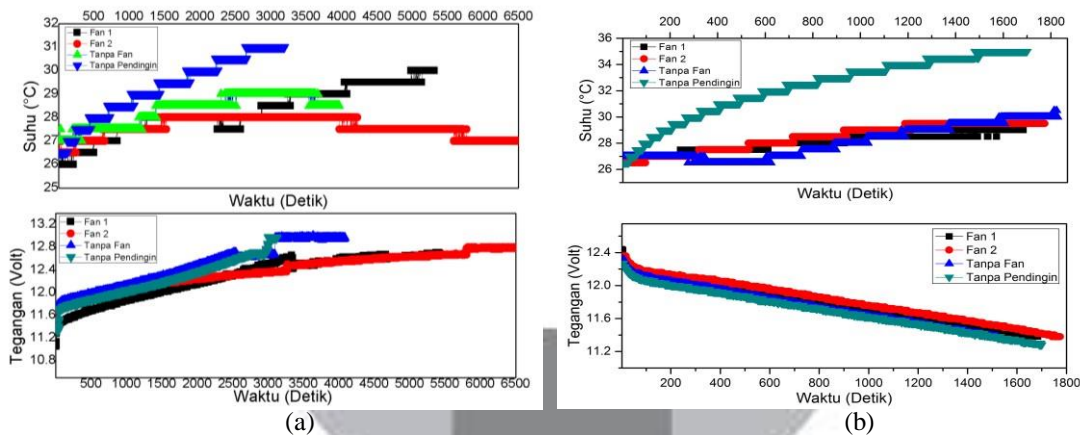
Pada hasil pengujian desain pertama, baik dengan kipas pertama maupun kipas kedua dapat dilihat bahwa distribusi panas dari sumber panas yang daerah permukaan paraffin cukup lama. Melalui pengujian dari purwarupa ini diketahui bahwa paraffin mulai mengalami pelelehan pada suhu diatas 40°C, sehingga dari yang ditunjukkan pada grafik-grafik diatas ketika suhu sudah mengalami saturasi maka paraffin sedang berubah fasa. Sedangkan pada pengujian tanpa kipas (desain pertama) menunjukkan dengan tanpa penggunaan kipas paraffin akan lebih cepat meleleh dengan suhu yang lebih tinggi yaitu saturasi pada suhu 60°C.

3.3. Pengujian Baterai

Pada pengujian baterai yaitu dilakukan pada proses *charge* dan *discharge*. Baterai dirancang dengan menggunakan desain pertama pada purwarupa yaitu paraffin yang secara keseluruhan mengisi baterai-baterai. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan dua jenis kipas berbeda RPM, tanpa kipas, tanpa pendingin, dan ketika suhu lingkungan dipanaskan. Berikut grafik hasil pengujian-pengujian tersebut pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7 hasil pengujian 3 baterai (a) proses *charge*, (b) proses *discharge*



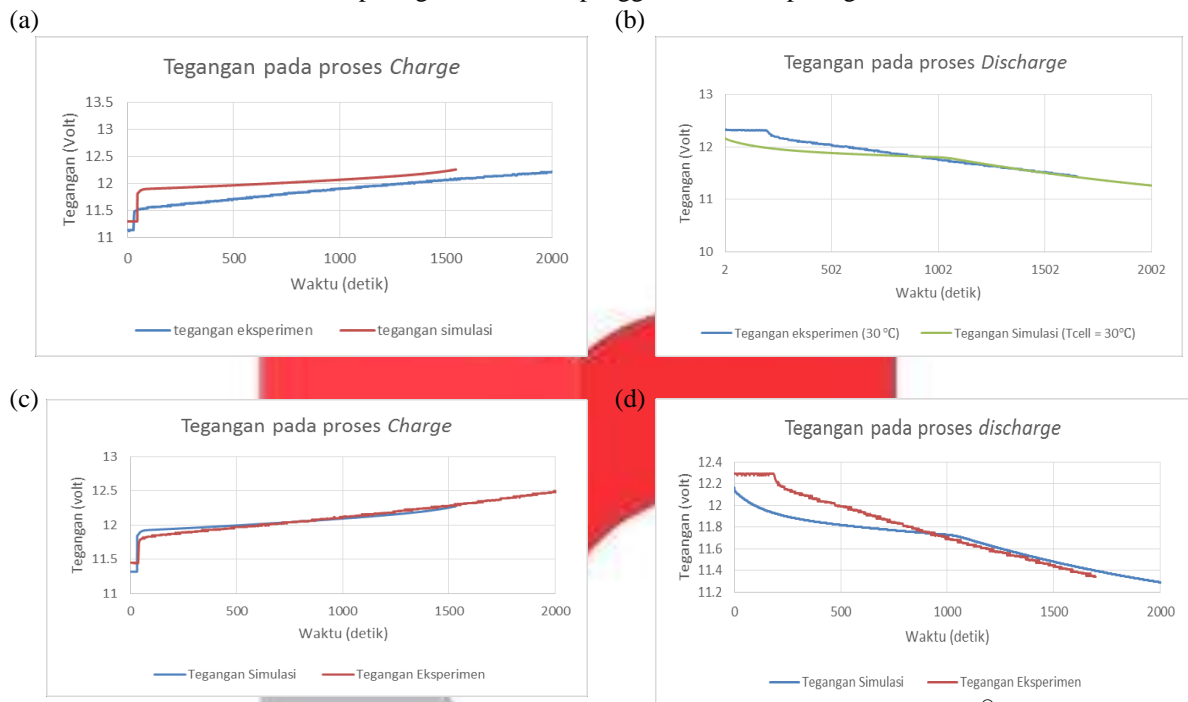
Gambar 8 hasil pengujian 6 baterai (a) proses *charge*, proses *discharge*

Dari pengujian pada tiga maupun enam baterai menunjukkan bahwa suhu mempengaruhi proses kerja baterai. Dalam hal ini dapat dilihat dari waktu pengujian, khususnya pada proses *charging*. Sebagai contoh, pada pengujian tiga baterai, suhu tertinggi sebesar 31.5°C ketika penggunaan kipas 1 terisi hingga penuh dengan waktu 5500 detik lebih cepat dibanding penggunaan kipas 2 dengan waktu 8000 detik di suhu 30°C. hal tersebut juga terjadi pada pengujian *charging* enam baterai. Namun proses *discharging* tidak terpengaruhi suhu pada penelitian ini.

Ada beberapa penyebab baterai menjadi panas ketika digunakan yaitu akibat reaksi kimia yang terjadi (*thermochemical*), pemanasan Joule (*Joule Heating*), berubahnya hambatan internal, dan panas dari lingkungan. Panas yang muncul pada baterai dapat mempengaruhi kerja baterai, kapasitas, dan umur baterai. Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan suhu dari suhu awal selama baterai beroperasi (*charging* dan *discharging*). Salah satu indikasi suhu tersebut mengalami kenaikan yaitu berasal dari reaksi kimia yang pasti terjadi pada proses kerja baterai karena baterai memiliki dua reaksi yaitu reaksi endhotermis dan eksotermis. Reaksi endhotermis merupakan reaksi yang menyerap energi pada prosesnya, reaksi ini terjadi ketika proses *charging*. Sedangkan reaksi eksotermis adalah reaksi yang melepaskan energi dan reaksi ini terjadi ketika proses *discharging*. Kedua reaksi ini dapat meningkatkan suhu selama baterai beroperasi ketika arus yang mengalir besar.

3.4. Permodelan Sistem

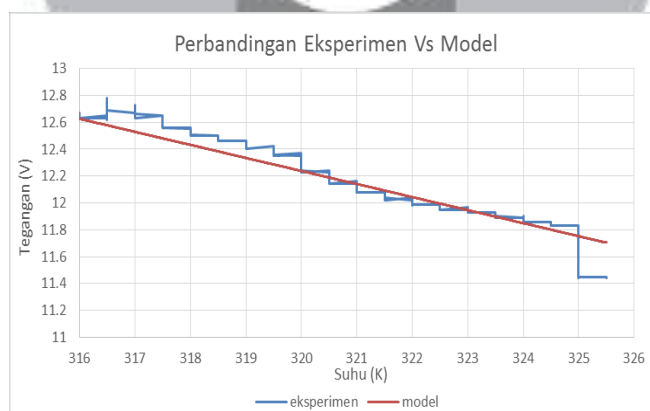
Permodelan terhadap sistem dilakukan bertujuan untuk membandingkan data eksperimen dengan hasil permodelan sehingga dapat dibuktikan kebenarannya, baik secara teori maupun statistik. Permodelan yang dilakukan yaitu dengan simulasi pada MATLAB®, rumus, dan simulasi pada COMSOL® Multiphysics. Berikut hasil permodelan dari simulasi MATLAB® pada gambar 10 dan penggunaan rumus pada gambar 11.



Gambar 10 grafik tegangan sebagai fungsi waktu hasil permodelan MATLAB®
 (a) Proses charging ($T_L=30^\circ C$), (b) Proses discharging ($T_L=30^\circ C$),
 (c) Proses charging ($T_L=40^\circ C$), (d) Proses discharging ($T_L=40^\circ C$)

Dari perbandingan pada gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa kerja baterai yang ditunjukkan oleh kondisi tegangan terhadap waktu dipengaruhi oleh suhu dan hasil simulasi memiliki trend yang sama dengan hasil eksperimen. Pada simulasi tegangan mula-mula dipengaruhi dengan suhu yaitu semakin tinggi suhu lingkungan (T_L) maka tegangan awal juga akan besar.

Untuk memperoleh perbandingan tegangan sebagai fungsi dari suhu maka dilakukan permodelan menggunakan rumus dari simulasi Simulink MATLAB®. Hasil permodelan dan perbandingannya dapat dilihat pada gambar 11.

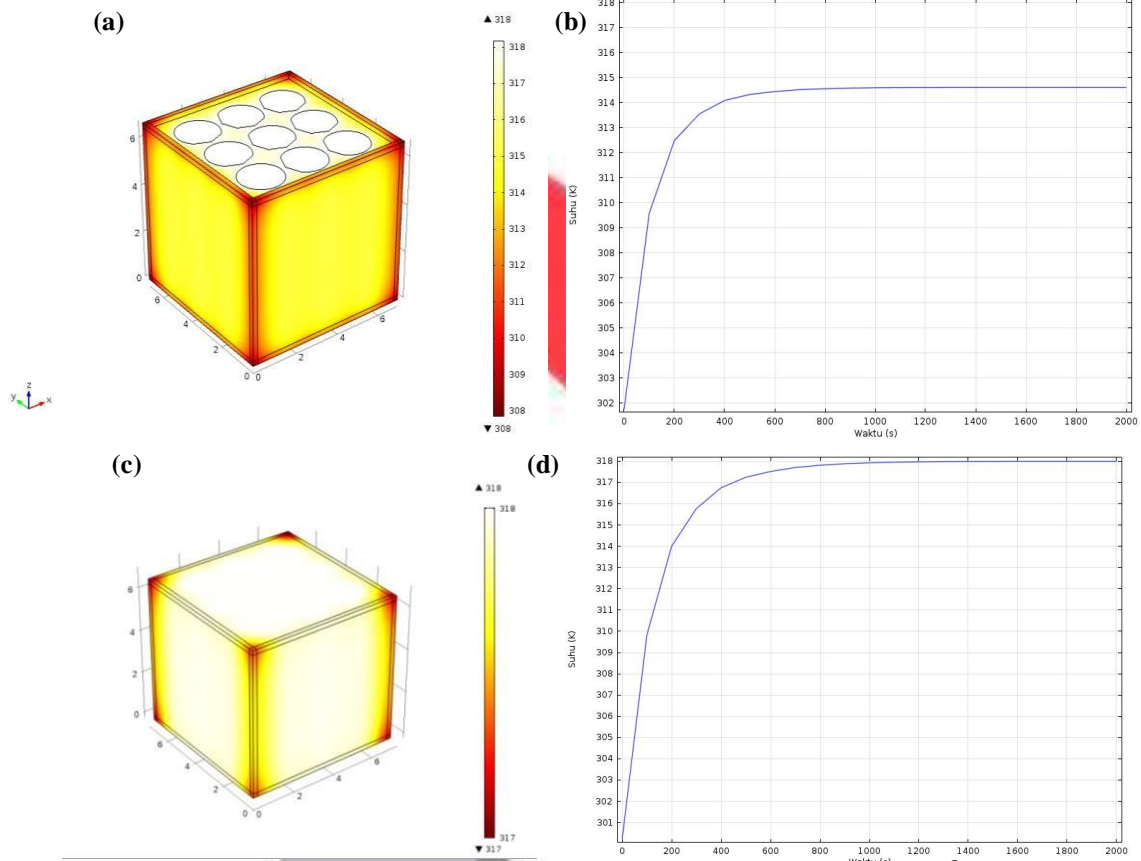


Gambar 11 grafik tegangan sebagai fungsi suhu hasil permodelan dengan rumus

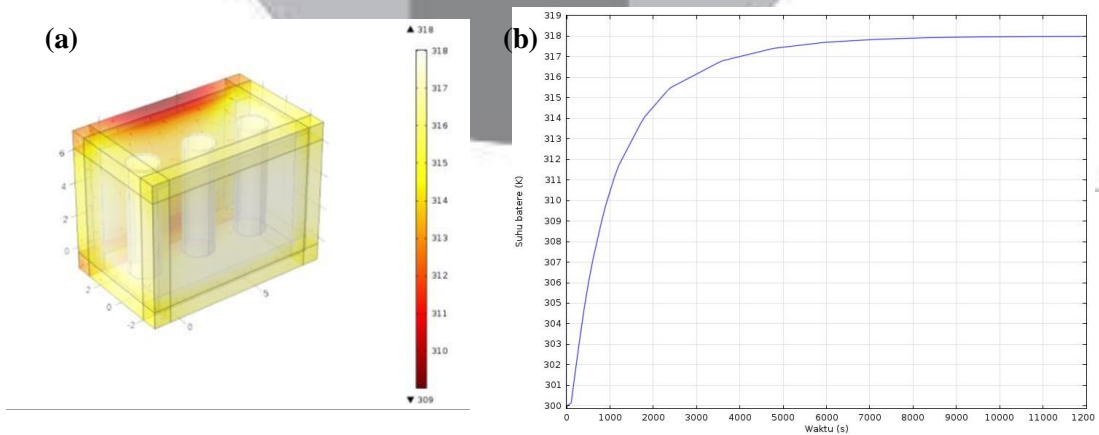
Hasil perbandingan diatas kemudian dilakukan validasi dengan menggunakan NMBE (*Normalized Mean Bias Error*) dan *pearson correlation* (r). Dari hasil perhitungan, *pearson correlation* yang diperoleh sebesar 1 yang berarti mengalami korelasi positif dan merupakan korelasi yang erat. Dan diperoleh nilai NMBE dari permodelan sebesar 1.67%. Rata-rata nilai model lebih besar dibanding dengan rata-rata eksperimen sehingga berdasarkan teori NMBE maka permodelan ini *overprediction* sebesar 1.67%.

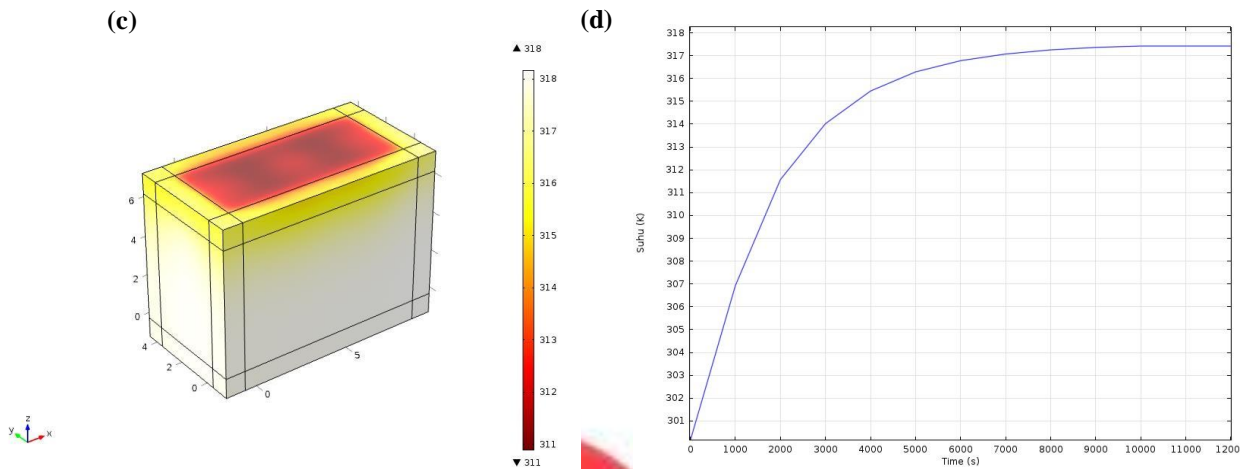
Permodelan menggunakan *software COMSOL® Multiphysics* ini dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu pada sistem dan simulasi dilakukan sedekat mungkin dengan keadaan sebenarnya. Pada permodelan ini menggunakan sistem yang berjumlah tiga dan enam buah baterai dengan memasukan suhu awal sistem dan suhu akhir sistem, serta parameter lain seperti material. Simulasi dilakukan dengan konduksi dan konveksi paksa disuhu 45°C dan sesuai dengan eksperimen. Melalui simulasi ini, dapat diketahui penyebaran suhu dari baterai *pack* hingga suhu saturai serta dapat dilihat juga grafik suhu terhadap waktu. Setelah mengukur kecepatan kipas yang digunakan, sebesar 1.5 m/s, kemudian *COMSOL®* memproses simulasi untuk konveksi paksa.

Hasil permodelan terdapat pada gambar 12 yang menunjukkan distribusi panas serta grafik suhu sebagai fungsi waktu.



Gambar 12 hasil permodelan distribusi panas enam baterai dengan *COMSOL® Multiphysics* (a,b) dengan konveksi paksa, (c,d) dengan konduksi





Gambar 13 hasil permodelan distribusi panas tiga baterai dengan *COMSOL[®] Multiphysics* (a,b) dengan konduksi, (c,d) dengan konveksi paksa

Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat bahwa sistem dengan proses konduksi (tanpa kipas hanya paraffin) mengalami penyebaran panas yang cepat dan secara merata dapat mencapai suhu 45°C (318 K). Sedangkan berdasarkan grafik, suhu mulai mencapai dan saturasi di 318 K pada detik ke-800. Sedangkan dengan proses konveksi paksa, suhu hingga 2000 detik lebih dingin 3°C dibanding konduksi yaitu sebesar 315 K.

Pada simulasi tiga baterai dilakukan langkah-langkah yang sama dengan simulasi pada tiga baterai. Simulasi tiga baterai antara penggunaan proses konveksi paksa dengan konduksi tidak terlalu memiliki perbedaan jauh secara distribusi panas, karena pada dua simulasi tersebut hanya memiliki selisih 0.9°C . Ketika dibandingkan dengan hasil eksperimen dapat diketahui bahwa hasil simulasi relatif lebih cepat mencapai suhu akhir. Simulasi ini menunjukkan keadaan sistem yang ideal karena proses dan hasil yang diberikan tanpa mengikutsertakan faktor-faktor dari kerja baterai, seperti besarnya arus yang masuk atau keluar baterai, sehingga hasilnya berbeda dengan eksperimen namun dapat menggambarkan penyebaran suhu pada sistem.

4. Kesimpulan

Dari serangkaian pengujian terhadap sistem dapat disimpulkan bahwa suhu dapat mempengaruhi kerja baterai yaitu pada suhu tinggi membuat waktu *charging* menjadi lebih cepat dibanding pada suhu rendah. Serta paraffin sebagai *phase change material* mulai berubah fasa diatas suhu 40°C . Penggunaan paraffin dan kipas sebagai metode pendinginan yang dipilih menjadikan sistem pun terjaga dari *overheating* dan lebih baik dibanding tanpa pendinginan dengan selisih hingga 5°C . Dengan melakukan permodelan kerja baterai menggunakan Simulink MATLAB[®] menunjukkan bahwa kerja baterai yang ditunjukkan oleh kondisi tegangan terhadap waktu dipengaruhi oleh suhu dan hasil simulasi memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil eksperimen. Secara keseluruhan hasil simulasi dengan hasil eksperimen memiliki selisih dibawah 0.5 volt. Sedangkan untuk permodelan distribusi suhu melalui *COMSOL[®]* dapat disimpulkan bahwa menambahkan proses konveksi paksa pada sistem membantu dalam distribusi suhu dengan selisih suhu antara menggunakan konveksi paksa dengan konduksi yaitu sebesar 0.9°C pada tiga baterai dan 3°C pada enam baterai.

Daftar Pustaka:

- [1] J. Enterprise, "Sejarah dan Model Baterai," in *Teknik Menghemat Baterai*, Jakarta, PT. Elex Media Komputindo, 2010, p. 1.
- [2] Sony Corporation, *Lithium Ion Rechargeable Batteries Technical Handbook*, China: Sony Corporation, 2009.
- [3] E. S. Dewo, "Teknologi Pendingin Prosesor," 2003. [Online]. Available: <http://ilmukomputer.com>. [Accessed 24 November 2014].
- [4] Mathworks, *Battery: Implement generic battery model*, 2008. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html>. [Accessed January 2016].
- [5] Battery University, "Lithium-based Batteries," *Advance of Batteries*, 2010. [Online]. Available: <http://batteryuniversity.com>. [Accessed 25 November 2014].
- [6] R. Sumiati, "Pengaruh penggunaan paraffin dan gemuk pada plafon mobil dalam mengelola temperatur kabin mobil saat parkir," *Poli Rekayasa*, vol. 8, no. 2, pp. 55-63, 2013.
- [7] Souleman Njoya M., *Lithium-Ion Temperature Dependent Battery Model*. 2015. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com>. [Accessed January 2016]