

## Mekanisme Passive Cooling Box untuk Optimalisasi Baterai Konversi Sepeda Motor BBM Menjadi Sepeda Motor Listrik

Ian Hardianto Siahaan<sup>1\*</sup>, Danny Purnama<sup>1</sup>, Ninuk Jonoadji<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sustainable Mechanical Engineering & Design Program, Universitas Kristen Petra,  
Jl Siwalankerto 121-131, Surabaya, 60236, Indonesia

\*Penulis korespondensi: [ian@petra.ac.id](mailto:ian@petra.ac.id)

Histori artikel: diserahkan 18 Maret 2024, direviu 10 Agustus 2024, direvisi 21 Oktober 2024

### ABSTRACT

*An important component of an electric motorcycle is the battery, which plays a role in storing energy through the principles of electrochemistry. Lead-acid and lithium-ion batteries are the two most common types of batteries found in electric vehicles. Electric motorcycle batteries typically range from 32 to 72 volts, depending on engine requirements, and have a storage capacity of 20 to 50 Ah. Batteries generally have internal resistance that causes temperature increases, which means that working at high temperatures will significantly decrease their life. Increased temperatures can also create heat leaks inside the battery, which can lead to major safety issues such as fires and explosions, as well as a loss of battery capacity. The working temperature should not be kept above 50 °C, whereas on lithium-ion batteries, it ranges between -30 °C and 40 °C. The aim of this research is to develop, manufacture, and test battery boxes with passive cooling to keep the battery temperature at the intended ideal level. The method applied is to set up a control system that can function to prevent overheating the battery. Based on the tests carried out on the passive cooling system, this managed to maintain the temperature of the lithium-ion battery when used at an average speed of 40–60 km/h.*

**Keywords:** *Electric motorcycle, electrochemistry, cooling, battery, temperature*

**DOI :** <https://doi.org/10.18196/jqt.v6i1.21890>

**WEB :** <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/21890>

### PENDAHULUAN

Pada saat ini bahan bakar fosil menyumbang sekitar 80% dari energi yang digunakan di dunia, dimana mesin pembakaran internal yang banyak dipergunakan berkontribusi terhadap terjadinya pemanasan global. Kebutuhan untuk energi alternatif telah mulai mengalami peningkatan signifikan seiring ketidakmampuan dalam memenuhi rantai pasokan energi, peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, pemanasan global, dan cadangan bahan bakar yang kian menipis. Mesin pembakaran internal, secara bertahap akan digantikan oleh kendaraan listrik sebagai solusi mengatasi permasalahan energi tersebut (Miao *et al.*, 2019). Salah satu upaya yang dapat dilakukan, yaitu mengubah kendaraan berbahan bakar fosil atau BBM menjadi kendaraan listrik sebagai cara untuk mempromosikan pengembangan kendaraan listrik sekaligus mengurangi polusi udara dan menciptakan program energi bersih dalam mengurangi dampak lingkungan guna mempercepat transisi global menuju nol emisi

(Afonso *et al.*, 2020), (Chen *et al.*, 2019). Kendaraan listrik dianggap lebih baik karena memiliki karakteristik yang lebih unggul berdasarkan beberapa pertimbangan teknis, antara lain tegangan yang tinggi, masa pakai yang dapat diperpanjang, energi spesifik yang tinggi, dan pengisian yang dapat minimal serta adaptasi terhadap akselerasi yang relatif cukup responsif.

Sepeda motor umumnya memberikan nilai ekonomis bagi masyarakat perkotaan sebagai moda transportasi karena harganya yang lebih murah dan terjangkau (Suwignjo *et al.*, 2023). Sepeda motor yang diproduksi umumnya sudah memiliki rancangan yang dapat mencegah panas berlebihan yang terjadi pada produknya, tetapi ketika diubah menjadi sepeda motor listrik perlu untuk membuat dan menguji ruang pendinginan tambahan sehingga suhu baterai dapat dijamin berada dalam kondisi optimalnya (Liu *et al.*, 2014). Sepeda motor listrik merupakan salah satu program keberlanjutan perkotaan dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca terutama dalam

mencegah meningkatnya polusi udara di perkotaan (Schmidt *et al.*, 2022). Komponen baterai adalah sebagai bagian utamanya, sehingga membutuhkan desain kotak baterai yang ringan yang terintegrasi dengan rangka sepeda motor untuk mengurangi peningkatan konsumsi daya. Lithium-ion baterai umumnya dianggap sebagai sistem penyimpanan energi yang bergantung pada pergantian muatan antara dua elektrodanya sebagai pembawa muatan (Uddin *et al.*, 2014). Elektroda negatif pada sebagian besar baterai Li-ion biasanya terbuat dari lithium titanium (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>) atau karbon (seperti grafit), sementara bahan baru termasuk logam Li dan Li (Si) alloys saat ini sedang dipelajari. Tujuannya adalah untuk meningkatkan daya tahan baterai dan memungkinkan penyimpanan energi yang lebih besar. Panas yang dihasilkan oleh baterai selama pengisian dan pelepasan termasuk masalah yang krusial. Sel baterai terlalu panas, dapat mempengaruhi kinerja dan bahkan menyebabkan beberapa sel berhenti berfungsi (Wang *et al.*, 2019). Oleh karena itu, menjaga suhu baterai agar tidak terlalu tinggi sangat penting untuk memastikan daya tahan dan kinerja baterai yang optimal. Jumlah panas yang dihasilkan di dalam baterai kendaraan listrik dapat meningkat secara signifikan jika pengisian selesai terlalu cepat atau dengan arus pengisian yang tinggi. Peningkatan suhu baterai tersebut umumnya disebabkan oleh ketidakmampuan baterai untuk menyebarkan panas secara efektif akibat kondisi suhu lingkungan yang juga tinggi. Jika kendaraan listrik mengalami pemakaian daya berlebihan, seperti akselerasi tiba-tiba atau kecepatan tinggi, baterai dapat menjadi terlalu panas dan performa untuk menempuh jarak tertentu semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh sejumlah besar daya yang tiba-tiba ditarik dari sel baterai, sehingga panas meningkat dan daya tahan baterai menjadi menurun. Akibatnya, sangat penting untuk menjaga suhu baterai pada kisaran yang optimal.

Para peneliti telah mengembangkan metode untuk mendinginkan sel baterai atau kemasan kendaraan listrik menggunakan berbagai strategi pendinginan, seperti sistem aktif, pasif, dan hibrida. Metode pendinginan yang murah dan sederhana adalah pendinginan udara. Metode ini tidak memerlukan daya listrik tambahan dan dapat diimplementasikan pada semua jenis kendaraan listrik secara efisien. Selain itu, udara dapat bersirkulasi bebas di dalam kotak pendinginan untuk mengalirkan panas dari sel baterai ke udara secara langsung. Kotak baterai ini dibangun

dengan saluran ventilasi udara yang cukup untuk memungkinkan distribusi aliran udara yang optimal di sekitarnya. Ketika ventilasinya memadai, lebih mudah untuk mengeluarkan panas dan menjaga suhu baterai tetap terjaga sehingga baterai tetap dingin dan awet (Chen *et al.*, 2018).

## METODE

Ada beberapa tahapan yang dilakukan agar passive cooling box tersebut dapat bekerja pada kondisi optimalnya. Tahapan pertama, yaitu melakukan literatur review terhadap artikel terkait baterai dan motor listrik dan penggunaannya. Tahapan kedua, yaitu menyiapkan sepeda motor bawaan untuk dikonversi menjadi sepeda motor listrik. Tahapan ketiga, yaitu melakukan pemilihan tipe baterai serta motor listrik yang digunakan. Tahapan keempat, yaitu perhitungan kebutuhan daya motor listrik untuk berakselerasi dan menetapkan spesifikasi teknis motor listrik yang ada di pasaran. Tahapan kelima, yaitu perhitungan pemenuhan kecukupan energi total baterai yang dipilih untuk sepeda motor listrik tersebut. Tahapan keenam, yaitu perhitungan luasan ventilasi yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pendinginan. Tahapan ketujuh adalah pemilihan spesifikasi controller yang sinkron dengan motor listrik yang digunakan. Tahapan kedelapan, yaitu instalasi komponen utama dan pendukung pada motor bawaan dengan melepas motor pembakaran internal dengan baterai, motor listrik dan controller. Tahapan akhir adalah melakukan uji kinerja daya dan torsi melalui pengujian dynotest serta uji kinerja pendinginan yang telah diberikan untuk mencegah baterai mengalami overheating pada kotak box baterai sepeda motor listrik yang dirancang.

Adapun komponen utama dan komponen pendukung dari sepeda motor listrik tersebut, yaitu:

### 1. Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen penting pada sepeda motor listrik, baterai berfungsi menyimpan energi berdasarkan prinsip elektrokimia. Baterai menyimpan energi dalam bentuk arus listrik searah atau DC (Direct Current). Baterai yang umumnya digunakan pada kendaraan listrik terdiri dari beberapa jenis yaitu lead-acid dan lithium ion. Tegangan umum yang dimiliki baterai pada sepeda motor listrik berkisar

antara 32–72-volt dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan motor rancangan, sedangkan untuk kapasitas penyimpanan biasanya berkisar 20-50 Ah.

## 2. Motor listrik BLDC

Motor Brushless Direct Current (BLDC) merupakan salah satu jenis motor listrik yang popularitasnya semakin meningkat dan penerapannya yang cukup luas pada industri otomotif saat ini (Chen *et al.*, 2020). Karakteristik yang ditemukan pada motor BLDC, tidak ada gesekan mekanis yang terjadi pada sikat dan komutator seperti pada motor DC konvensional. Hal ini memungkinkan motor BLDC memiliki umur pakai yang lebih panjang dan efisiensi yang lebih tinggi karena minimnya kerugian energi akibat gesekan (Sadrossadat and Rahmani, 2022). Pemilihan antara motor listrik BLDC tipe hub drive atau mid drive ditentukan berdasarkan kriteria yang ditetapkan dalam pemilihan. Motor ini menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan motor konvensional. Medan magnet permanen dan kebisingan yang rendah sehingga berkontribusi pada peningkatan efisiensi karena tidak ada sikat atau cincin berputar (Jo *et al.*, 2022). Karena kualitasnya yang unggul, termasuk rasio torque-to-current yang lebih besar, densitas daya yang lebih tinggi, dan rentang kecepatan yang lebih luas (Patil, Medhane and Dhamal, 2020).

## 3. Kontroler motor BLDC

Kontrol berbasis sensor dan kontrol tanpa sensor adalah dua kategori untuk motor BLDC. Dalam kontrol berbasis sensor, posisi rotor yang ditentukan oleh sensor hall digunakan untuk membangkitkan belitan stator. Sensor menentukan posisi rotor dan mentransmisikan data sehingga sejumlah transistor dapat berfungsi dengan menyesuaikan arus dan mengirimkannya ke komponen belitan yang diperlukan pada waktu yang tepat, sehingga gerakan motor dapat dikontrol dengan tepat. Inverter yang juga merupakan komponen pengontrol karena motor BLDC adalah motor BLDC yang mengubah tegangan DC dari sumber arus menjadi tegangan AC. Ada inverter yang beroperasi pada voltase minimal 12 hingga 100-volt untuk berbagai aplikasi, bila lebih besar dari 100 volt, biasanya terdapat pada motor dengan voltase antara 32 dan 72 volt. Pengontrol kecepatan pada pengontrol motor BLDC juga mengubah seberapa cepat

motor BLDC berputar. Metode kontrol PID biasanya digunakan untuk kontrol kecepatan ini. Kontroler ini merupakan komponen utama pada sepeda motor listrik, kontroler memproses segala data yang berkaitan dengan penggerak, seperti respon gas, pengereman regenerative, kecepatan, dan juga memberikan arus 3 fasa ke motor BLDC.

## 4. MCB

MCB merupakan komponen yang berfungsi memutus arus ketika terjadi arus pendek atau beban yang berlebih pada motor listrik. MCB berfungsi untuk menghindari hal yang tidak diinginkan seperti korsleting yang dampaknya dapat menyebabkan kebakaran atau kerusakan komponen. Pemilihan MCB dibedakan berdasarkan arus yang dilewatinya. Jenis MCB yang dipilih harus sesuai dengan kebutuhan. Jika MCB memiliki ampere terlalu kecil, maka MCB dapat memutus arus meskipun tidak ada arus pendek yang terjadi.

## 5. Sistem kontrol temperatur

Sistem kontrol suhu merupakan sistem yang akan menjaga suhu baterai tetap pada tingkat optimal. Ketika suhu akan melebihi ambang batas, maka sistem ini akan memberikan peringatan kepada pengendara. Dan ketika suhu sudah melebihi ambang batas, sistem ini akan menghentikan kendaraan secara paksa agar tidak terjadi overheat pada baterai. Sistem kontrol suhu bekerja dengan cara memutus aliran 5V+ dari kontroler ke handle gas ketika baterai mengalami overheat. Mikrokontroler akan memproses data suhu dari sensor suhu DS18B20, dan selanjutnya data tersebut ditampilkan pada layar LCD dalam bentuk bar yang menggambarkan rentang suhu dari dingin hingga panas, mirip dengan indikator suhu mesin pada mobil, sehingga dapat dilihat oleh pengendara. Dalam program mikrokontroler, dibuat pengkondisian temperatur sesuai dengan kondisi optimal yang diinginkan. Ketika baterai mendekati suhu overheat, LCD akan menampilkan peringatan kepada pengendara. Dan ketika baterai mengalami overheat, mikrokontroler akan memberikan sinyal ke relay untuk memutus arus dari kontroler ke handle gas sehingga pengendara dipaksa untuk berhenti, dan LCD juga menampilkan peringatan bahwa baterai mengalami overheat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Ada beberapa pertimbangan yang dilakukan untuk memperoleh hasil yang optimal dari data rancangan yang digunakan, antara lain.

*Baterai Sepeda Motor Listrik*

Melalui Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa baterai Lithium-Ion merupakan baterai yang cocok untuk sepeda motor listrik pada rancangan ini. Terlihat total penilaian lebih besar pada Lithium-Ion sebesar 6,8 dibandingkan dengan Lead Acid yang 5,5.

TABEL 1. Pemilihan baterai

No	Parameter	Bobot	Lead Acid	Lithium-Ion
1	Usable capacity	0,2	5,0	9,0
2	Safety	0,3	8,0	5,0
3	Lama pengisian	0,2	3,0	8,0
4	Harga	0,1	9,0	3,0
5	Umur pakai	0,2	3,0	8,0
<b>Total</b>		<b>1,0</b>	<b>5,5</b>	<b>6,8</b>

Dalam hal safety, baterai Lithium-Ion mendapatkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan Lead-Acid. Hal ini disebabkan oleh potensi thermal runaway pada baterai Lithium-Ion, yang dapat menyebabkan terjadinya kebakaran. Oleh karena itu, baterai ini harus memiliki pengendalian suhu yang baik dan safety yang baik. Selain itu, suhu yang terlalu tinggi pada baterai Lithium-Ion juga dapat mempersingkat umur baterai. Selanjutnya, faktor kepadatan energinya dibandingkan dengan baterai lead-acid, sehingga bentuknya lebih kecil dan tidak memakan banyak tempat untuk jumlah energi yang sama.

*Motor Listrik BLDC*

Pemilihan antara motor listrik hub drive atau mid drive berdasarkan kriteria dengan bobot pertimbangan dan penetapan pilihan berdasarkan jumlah total terbesar dari kedua motor listrik BLDC tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2. Pemilihan motor listrik BLDC

No	Parameter	Bobot	Hub Drive	Mid-Drive
1	Efisiensi	0,1	8,0	6,0
2	Kepraktisan	0,3	9,0	6,0
3	Daya tahan	0,2	5,0	8,0
4	Kenyamanan	0,2	7,0	4,0
5	Perawatan	0,1	6,0	5,0
6	Stabilitas	0,1	4,0	8,0
<b>Total</b>		<b>1,0</b>	<b>6,9</b>	<b>6,1</b>

Pemilihan motor listrik hub drive sebagai penggerak adalah keputusan yang tepat (Dukalski, Mikoś and Krok, 2022), (Jiang et al., 2021). Pertimbangan utamanya adalah kepraktisan, terutama karena ruang di bagian tengah rangka sepeda motor tidak dapat digunakan untuk meletakkan baterai jika menggunakan mid drive. Selain itu, motor hub drive cenderung lebih senyap karena tidak menggunakan belt atau chain. Meskipun demikian, mid drive memiliki beberapa keunggulan, seperti daya tahan yang lebih baik karena motor listrik tidak berhadapan langsung dengan lingkungan luar

*Data Rancangan Sepeda Motor BBM*

Data sepeda motor BBM yang diuraikan dalam Tabel 3 digunakan sebagai dasar perhitungan untuk memperoleh data teknis untuk sepeda motor listrik hasil konversi.

TABEL 3. Data teknis sepeda motor BBM

No	Data Rancangan	Nilai
1	Massa kosong	92 kg
2	Massa orang	65 kg
3	Koefisien drag	1.0
4	Frontal area	0,7 m <sup>2</sup>
5	Diameter roda	0.3556 m
6	Efisiensi motor	80%
7	Rolling resistance coefficient jalan aspal	0,006 – 0,01
8	Massa jenis udara	1,2 kg/m <sup>3</sup>

Motor listrik digunakan pada kecepatan rata-rata 40 km/h atau 11,1 m/s. Oleh karena itu, kebutuhan daya motor listrik dihitung dari dua aspek: pertama, daya yang diperlukan untuk berakselerasi dari 0 hingga 40 km/h; kedua, daya yang dibutuhkan untuk mempertahankan kecepatan tersebut. Hal ini dilakukan untuk memperoleh spesifikasi teknis motor BLDC yang digunakan dalam proses konversi ini (Tabel 4).

TABEL 4. Analisa gaya yang dibutuhkan untuk penetapan spesifikasi motor listrik

No	Analisa Gaya	Newton
1	Gaya rolling resistance dengan $f_r = 0,006$	9,23
2	Gaya drag dengan $C_d = 1$ dan frontal area $0,7 \text{ m}^2$	51,74
3	Gaya saat berakselerasi, $a = 1,85 \text{ m/s}^2$	290,45
4	Gaya ramp, $\alpha = 15^\circ$	398,21

Pada aspek pertama untuk kondisi saat awal agar hasil dapat sesuai dengan data perancangan dalam menghitung kebutuhan daya motor listrik saat berakselerasi dapat diperoleh sebagai berikut.

$$P_1 = v * F_{\text{akselerasi}} \quad (1)$$

$$= (11,1 \text{ m/s}) (290,45 \text{ N})$$

$$= 3223 \text{ W}$$

Kemudian, aspek kedua yaitu untuk berjalan pada kecepatan konstan, perlu dihitung konsumsi energi motor listrik untuk mempertahankan kecepatan yang nantinya akan digunakan untuk menghitung kebutuhan baterai.

$$P_2 = v * (F_{\text{roll}} + F_{\text{drag}}) \quad (2)$$

$$= (11,1 \text{ m/s}) (9,23 \text{ N} + 51,74 \text{ N})$$

$$= 677 \text{ W}$$

Perlu ditambahkan aspek lainnya, yaitu saat kendaran menanjak untuk memastikan sepeda motor listrik aman saat dikendarai ditanjakan.

$$P_3 = v * F_{\text{ramp}} \quad (3)$$

$$= (11,1 \text{ m/s}) (398,21 \text{ N})$$

$$= 4420 \text{ W}$$

Pada kondisi di atas terlihat peak power pada saat mengalami tanjakan yaitu sebesar 4420 W. Bilamana efisiensi  $\eta_m = 0,8$  maka daya peak power menjadi 5525 W. Motor QS 14-inch 3000 W 72V adalah pilihan yang sangat baik, dengan daya puncak 6000W dan daya kontinyu 3000W, serta torsi maksimal 180 N.m, motor ini cocok untuk kebutuhan di atas. Tabel 5 menginformasikan tentang motor listrik BLDC tersebut.

TABEL 5. Spesifikasi motor listrik BLDC

No	Parameter	Hasil
1	Type	DC Brushless Motor
2	Version	V2
3	Power (continuous)	3000 W
4	Power (peak)	6000 W
5	Voltage range	DC 72V - 96V
6	Magnet height	40 mm
7	Wheel size	14 x 3.5 Inch
8	Speed	40 – 100 km/h
9	Torque	30 – 180 N.m
10	Axle	Dual side shaft type
11	Brake	Disc brake (180mm or 220mm)
12	Hall Sensor	2 Sets (1 for use and 1 for backup)

### Spesifikasi Kontroller Motor BLDC

Penetapan spesifikasi kontroller akhirnya menyesuaikan dengan existing motor BLDC yang telah dipilih sebelumnya, yaitu daya puncak 6000 W, tegangan baterai 72 V-20 Ah. Selain itu, kontroler ini dapat diprogram melalui komputer dan juga memiliki banyak parameter seperti regenerative braking dan throttle response. Kontroler yang digunakan adalah VOTOL EM-100, dengan spesifikasi teknis diuraikan dalam Tabel 6. Kontroler VOTOL EM-100 memiliki heatsink untuk menghilangkan panas, sehingga bagian atas diletakkan menghadap ke atas untuk memastikan proses pelepasan panas menjadi lebih optimal.

TABEL 6. Spesifikasi kontroller

No.	Parameter	Hasil
1	Tegangan kerja	72 V
2	Berat	1645g
3	Nilai arus	100 A
4	Arus tambahan	120 A
5	Arus maksimal	325 A
6	Daya maksimal	8640 W
7	Efisiensi maksimal	92%
8	Nilai perlindungan	IP67

### Passive Cooling Box Baterai

Baterai kehilangan sebagian energinya dalam bentuk panas selama proses pengisian (*charge*) dan penggunaan (*discharge*). Sebagian besar panas ini disebabkan oleh tahanan internal pada

baterai, meskipun ada faktor lain seperti reaksi elektrokimia. Namun, hanya sekitar 1% dari total panas yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk mengetahui kebutuhan pendinginan, harus dihitung terlebih dahulu jumlah panas yang dihasilkan oleh baterai. Dari tabel baterai minimum capacity Lithium-Ion sebesar 1C artinya dengan kapasitas baterai 20 Ah menjadi 20 A maksimal arus untuk 1 cell baterai. Panas total yang dihasilkan oleh baterai selama operasi dapat diperkirakan dengan mengalikan voltase 72 V dengan ampere hour 20 Ah menjadi 1440 Wh artinya  $Q = 0,01 \cdot 1440 = 144 \text{ Wh}$ . Selanjutnya dengan menggunakan Q untuk memperoleh luas ventilasi udara yang mengalir dalam waktu 1 hour, dengan mengambil kondisinya adalah free convection maka  $h = 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , pada temperatur lingkungan  $35^\circ\text{C}$ .

$$Q = h A \Delta T \tag{4}$$

$$144 \text{ Watt} = (25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}) A (278 \text{ K})$$

$$A = (144 \text{ W}) / ((25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})(278 \text{ K}))$$

$$= 0,02 \text{ m}^2$$

Sehingga diperoleh luasan ventilasi udara yang harus disiapkan sebesar  $0,02 \text{ m}^2$ .



GAMBAR 1. Box baterai sepeda motor listrik

### Instalasi MCB

Pada perancangan ini, digunakan MCB merk Schneider 100 Ampere (Gambar 2). MCB ini dipilih karena 100A merupakan arus maksimal yang dapat dilalui oleh kontroler. Dengan demikian, ketika arus melebihi 100A, MCB akan memutus arus untuk mencegah terjadinya situasi yang tidak diinginkan. MCB dipasang pada ruangan kosong di depan kontroler, yang sebelumnya digunakan sebagai tempat sekring.



GAMBAR 2. MCB sepeda motor listrik

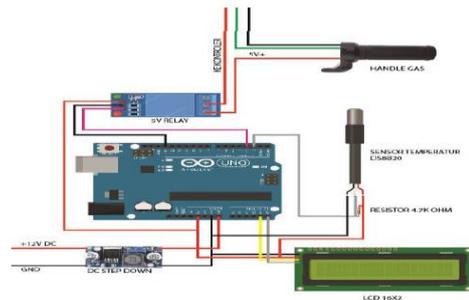
### Manajemen Kontroller Suhu Sistem

Sistem kontrol suhu bekerja dengan memutus aliran 5V+ dari pengontrol ke pegangan gas saat baterai terlalu panas, Tabel 7 menginfotmasikan spesifikasi sensor suhu yang digunakan. Sedangkan fail and safe akan memberikan peringatan kepada pengemudi. Mikrokontroler akan mengolah data suhu dari sensor suhu DS18B20, kemudian data tersebut ditampilkan di layar LCD berupa diagram batang dari suhu dingin ke panas, seperti indikator suhu mesin, sehingga dapat dilihat oleh pengemudi.

TABEL 7. Spesifikasi sensor suhu DS18B20

No.	Parameter	Hasil
1	Power supply	3 V- 5,5 V
2	Current consumption	1 mA
3	Temperatur range	-55-125°C
4	Accuracy	+0,5°C
5	Resolution	9-12 bit
6	Conversion time	<750 ms

Program mikrokontroler mengatur suhu untuk menciptakan pengaturan yang ideal (Gambar 3). Ketika baterai mendekati suhu yang terlalu panas, LCD akan berkedip memperingatkan pengemudi. Dalam hal ini, mikrokontroler akan memicu relai untuk mematikan daya dari pengontrol ke pegangan gas, dan memaksa pengemudi untuk berhenti.



GAMBAR 3. Diagram kelistrikan sistem kontrol temperatur

Penambahan saluran udara pada kotak baterai dapat mempertahankan suhu yang stabil, dan sistem manajemen suhu dapat secara efektif bekerja mengatasi dan memperingatkan kondisi overheat. Hal ini dilakukan untuk menentukan sistem kontrol berfungsi dengan baik ketika suhu baterai melebihi batas ideal (Gambar 4). Pengujian dilakukan dengan membandingkan suhu baterai

saat saluran udara tertutup dan terbuka. Tes jalan langsung juga dilakukan saat lubang udara ditutup.



GAMBAR 4. Pengujian saluran ventilasi udara terbuka (kiri) dan saluran ventilasi udara tertutup (kanan)

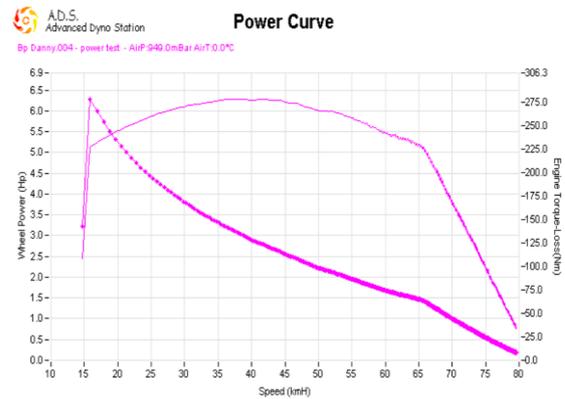
Pada pengujian saluran ventilasi udara terbuka, menunjukkan tidak terjadi peringatan overhear pada indikator LCD (Tabel 8), hal ini menunjukkan pemberian passive cooling box telah berhasil dengan baik dalam rancangan, sebaliknya Ketika saluran ventilasi udara ditutup maka indikatornya memberikan informasi peringan temperature high dan berkedip ketika indikator sudah mencapai temperatur di atas 40°C dengan level bar terbesar.

TABEL 8. Indikator dan level peringatan LCD dalam referensi bagi pengemudi

Temperatur	Level	Peringatan LCD
<32°C	█	-
32°C-34°C	█ █	-
34°C-36°C	█ █ █	-
36°C-38°C	█ █ █ █	-
38°C-40°C	█ █ █ █ █	Batt temperature high
>40°C	█ █ █ █ █ █	Batt overheat, accel disabled

### Pengujian daya dan Torsi

Setelah motor listrik selesai dirakit dan motor sudah dapat berfungsi dengan normal, selanjutnya dilakukan pengujian dynotest pada motor ini untuk mengetahui performanya. Sebelum diuji, dilakukan pengaturan pada kontroler untuk memastikan parameter seperti RPM maksimum, batas *overvoltage*, dan *undervoltage* telah sesuai pada prosedur pengujian.



GAMBAR 5. Hasil pengujian dynotest

Berdasarkan hasil dynotest (Gambar 5), daya puncak yang diperoleh adalah 6,4 HP, lebih rendah 16% dari spesifikasi standar motor BBM yang seharusnya 7,6 HP. Perbedaan ini disebabkan oleh kerugian mekanis pada roda dan roller dno. Selain itu, torsi puncak yang dihasilkan adalah 275 Nm pada kecepatan rendah. Hasil grafik torsi yang menunjukkan torsi puncak yang ada di awal membuat motor listrik ini cocok untuk digunakan di perkotaan, dimana sering dilakukan stop and go.



GAMBAR 6. Sepeda motor listrik hasil konversi

### KESIMPULAN

Rancangan kotak baterai yang berfungsi sebagai pendingin pasif berhasil mempertahankan suhu baterai berada dalam kondisi range temperatur termasuk sistem keamanan baterai yang juga bekerja optimal, ketika sepeda motor listrik beroperasi pada kecepatan 40 hingga 60 km/jam dengan luasan saluran ventilasi terbuka yang telah dirancang sebelumnya. Selain itu, sistem pengatur suhu juga telah berfungsi dengan baik dan memberikan informasi kondisi suhu kepada pengendara ketika suhu melebihi suhu optimal baterai pada pengujian saluran ventilasi tertutup.

Sistem ini bekerja dengan baik dengan memberikan peringatan dan mencegah baterai dari kepanasan dengan memutus sambungan akselerator pada pengujian saluran ventilasi tertutup maupun terbuka.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afonso, J. L., Cardoso, L. A. L., Pedrosa, D., Sousa, T. J., Machado, L., Tanta, M., & Monteiro, V. (2020). A review on power electronics technologies for electric mobility. *Energies*, 13(23), 6343.
- Chen, K., Song, M., Wei, W., & Wang, S. (2018). Structure optimization of parallel air-cooled battery thermal management system with U-type flow for cooling efficiency improvement. *Energy*, 145, 603-613.
- Chen, Q., Tian, Y., Liao, C., Kang, S., & Wang, N. (2020). Electromagnetic simulation of an external rotor PM hub motor power device for distributed driving electric vehicle. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(10), 1687814020966528.
- Chen, W., Liang, J., Yang, Z., & Li, G. (2019). A review of lithium-ion battery for electric vehicle applications and beyond. *Energy Procedia*, 158, 4363-4368.
- Dukalski, P., Mikoś, J. and Krok, R. (2022) 'Analysis of the Simulation of the Operation of a Wheel Hub Motor Mounted in a Hybrid Drive of a Delivery Vehicle', *Energies*, 15(21).
- Jiang, H., Wang, C., Li, Z., & Liu, C. (2021). Hybrid model predictive control of semiactive suspension in electric vehicle with hub-motor. *Applied Sciences*, 11(1), 382, pp. 1-24.
- Jo, S. T., Shin, H. S., Lee, Y. G., Lee, J. H., & Choi, J. Y. (2022). Optimal design of a BLDC motor considering three-dimensional structures using the response surface methodology. *Energies*, 15(2), 461.
- Liu, G., Ouyang, M., Lu, L., Li, J., & Han, X. (2014). Analysis of the heat generation of lithium-ion battery during charging and discharging considering different influencing factors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 116, 1001-1010.
- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6), 1074.
- Patil, M.S., Medhane, R. and Dhamal, S.S. (2020). Comparative analysis of various DTC control techniques on BLDC motor for electric vehicle. *2020 7th International Conference on Smart Structures and Systems, ICSSS 2020*, pp. 1-6.
- Sadrossadat, S.A. and Rahmani, O. (2022). A framework for statistical design of a brushless DC motor considering efficiency maximisation. *IET Electric Power Applications*, 16(3), pp. 407-420.
- Schmidt, S., Clausen, J., van der Auwera, R., Klapp, O., Schmerler, R., Löffler, D., ... & Block, L. (2022). Novel battery module design for increased resource efficiency. *World Electric Vehicle Journal*, 13(10), 177.
- Suwignjo, P. et al. (2023) 'Benefits of Electric Motorcycle in Improving Personal Sustainable Economy: A View from Indonesia Online Ride-Hailing Rider', *International Journal of Technology*, 14(1), pp. 38-53.
- Uddin, K., Picarelli, A., Lyness, C., Taylor, N., & Marco, J. (2014). An acausal Li-ion battery pack model for automotive applications. *Energies*, 7(9), pp. 5675-5700.
- Wang, Z., Tong, X., Liu, K., Shu, C. M., Jiang, F., Luo, Q., & Wang, H. (2019). Calculation methods of heat produced by a lithium-ion battery under charging-discharging condition. *Fire and materials*, 43(2), 219-226.