

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan komponen penting dalam kehidupan modern yang mendukung berbagai aspek kehidupan, mulai dari rumah tangga hingga industri. Perkembangan teknologi dan pertumbuhan populasi telah meningkatkan konsumsi energi listrik global. Namun, kebutuhan energi listrik yang meningkat berbanding terbalik dengan ketersediaan energi fosil yang semakin menipis [1]. Permintaan bahan bakar yang meningkat, berkontribusi pada pemanasan global melalui polusi dan emisi gas berbahaya. Kesadaran akan dampak lingkungan dan kekhawatiran tentang ketersediaan bahan bakar fosil telah mendorong penelitian mengenai sumber energi alternatif [2].

Salah satu langkah dalam mengadopsi energi alternatif adalah penggunaan kendaraan listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber daya. Pada tahun 2019, pemerintah meresmikan Peraturan Presiden Nomor 55 untuk mempercepat penggunaan kendaraan listrik dalam transportasi darat, mendorong lembaga pendidikan tinggi terlibat dalam penelitian dan inovasi terkait [3]. Perkembangan teknologi kendaraan listrik telah menjadi sorotan utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca, serta mendukung peralihan ke sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan [4].

Salah satu elemen inti kendaraan listrik adalah motor penggerak yang menggunakan energi listrik untuk menggerakkan roda dan menjalankan kendaraan, berbeda dengan kendaraan konvensional yang mengandalkan mesin pembakaran internal berbahan bakar fosil [4]. Jenis motor listrik yang sering digunakan adalah motor *Brushless Direct Current* (BLDC). Motor BLDC memiliki rotor yang terbuat dari magnet permanen dan stator yang terdiri dari kumparan yang dililitkan pada struktur lapisan plat besi. Motor BLDC dipilih karena memiliki karakteristik efisiensi yang tinggi, umur operasi lebih panjang, resiko keausan yang lebih rendah dan memerlukan perawatan yang lebih sedikit, serta tingkat polusi suaranya rendah karena tidak terjadi gesekan antara sikat dan komutator. Motor BLDC juga memiliki desain yang lebih ringkas sehingga membuatnya ideal untuk digunakan

dalam mobil listrik dimana ruang dan bobot adalah faktor penting. Desain kompak ini memungkinkan penempatan yang lebih fleksibel dalam kendaraan, memungkinkan ruang yang lebih besar untuk baterai atau komponen lainnya [5].

Motor BLDC juga memiliki tantangan, salah satunya adalah masalah *overheating* atau peningkatan suhu yang berlebihan pada motor. Rentang suhu operasi untuk motor BLDC biasanya berada antara 30°C hingga 70°C. Hal ini bertujuan untuk menjaga kinerja yang efisien dan umur pakai optimal, serta menghindari resiko *overheating* atau kerusakan komponen internal [6]. Analisis fenomena termal pada motor listrik penting untuk memastikan kinerja yang baik dan kemungkinan untuk mencegah serta mendeteksi kerusakan. Kenaikan suhu yang berlebihan dapat merusak isolasi gulungan stator dan menyebabkan korsleting. Suhu operasi motor yang tinggi dapat menyebabkan penuaan bantalan dan degradasi magnet permanen rotor, yang pada gilirannya mempersingkat umur pakai motor [7]. Umur motor dapat berkurang hingga 50% setiap kenaikan suhu 10°C di atas batas suhu maksimum yang ditetapkan oleh produsen. Produsen motor listrik biasanya menggunakan metode sistem pendinginan tambahan berupa kipas yang ditempatkan pada poros motor untuk melindungi dari operasi dalam jangka waktu lama pada batas suhu operasi maksimum [8].

Sistem pendingin yang paling umum digunakan untuk motor listrik adalah sistem pendingin udara (*air cooling*). Pada sistem ini, motor didinginkan oleh aliran udara yang dihasilkan oleh kipas yang dipasang di sekitar motor. Banyak sistem pendingin konvensional digunakan untuk mengatasi masalah *overheating* ini. Namun, sistem pendingin konvensional ini seringkali menggunakan sistem *on/off* yang kurang efisien dan tidak dapat beradaptasi dengan perubahan suhu secara dinamis [9].

Solusi yang dapat diimplementasikan untuk mengatasi masalah *overheating* pada motor BLDC adalah penggunaan sistem pendingin udara yang menggunakan kipas dengan metode *fuzzy logic*. Kipas dapat dipasang pada motor untuk menghasilkan aliran udara yang cukup dan membantu mengurangi suhu operasional motor. *Fuzzy logic* adalah konsep dalam teori logika yang memungkinkan penanganan informasi yang tidak pasti atau bersifat ambigu. Dalam logika

konvensional, nilai kebenaran hanya bisa bernilai benar atau salah (1 atau 0). Namun, dalam *fuzzy logic*, nilai kebenaran bisa bersifat tidak pasti atau berada dalam rentang antara benar dan salah [10].

Pada penelitian ini dilakukan integrasi antara sistem pendingin udara yang menggunakan kipas dan pengendalian berbasis *fuzzy logic*. Kontrol *fuzzy logic* memungkinkan sistem untuk secara adaptif menyesuaikan kecepatan kipas berdasarkan kondisi aktual suhu motor agar dapat mencapai tingkat pendinginan yang optimal, tidak terlalu berlebihan atau kurang, sehingga menjaga motor beroperasi pada suhu yang aman.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pendingin berbasis udara yang menggunakan kipas dan dioptimalkan dengan menerapkan metode *fuzzy logic*. Sistem pendingin diharapkan dapat memberikan respon yang adaptif terhadap perubahan temperatur pada motor BLDC 10 kW yang digunakan dalam mobil listrik, agar kinerja dan efisiensi keseluruhan mobil listrik dapat ditingkatkan.

## 1.2. Kajian Riset Terdahulu

Kajian riset terdahulu merupakan suatu penegasan keaslian penelitian yang dilakukan dan menjelaskan perbandingan terhadap riset sebelumnya yang menjadi acuan dalam pembuatan tugas akhir ini. Dalam tahap ini, akan diuraikan secara singkat sebagai bentuk untuk memperkuat alasan mengapa penelitian ini dilakukan. Referensi dari beberapa jurnal penelitian sejenis yang dilakukan para peneliti sebelumnya disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Daftar referensi.

NO.	NAMA PENELITI	TAHUN	JUDUL PENELITIAN
1.	Selvakumar Raja, Nakandhrakumar R S, Jenoris Muthiya	2023	<i>Thermal Analysis of an Electric Motor in an Electric Vehicle</i>
2.	Shengnan Wu, Daquan Hao, Wenming Tong	2022	<i>Cooling System Design and Thermal Analysis of Modular Stator Hybrid Excitation Synchronous Motor</i>

NO.	NAMA PENELITI	TAHUN	JUDUL PENELITIAN
3.	Muhamad Rayhan Ramji	2021	<i>Thermal Management for Brushless DC (BLDC) Motor 120kW</i>
4.	Sibi R S, Khaja Najumudeen A, Rajeshkanna R	2021	<i>CFD Simulation on Cooling System of Electric Vehicle BLDC Motor</i>

Berdasarkan Tabel 1.1 dapat dilacak posisi penelitian yang dilakukan di antara penelitian yang sebidang. Penelitian oleh Selvakumar Raja dkk [11] membahas mengenai sebuah desain baru untuk sistem pendingin yang mengarahkan aliran udara melalui motor *Brushless Direct Current* (BLDC) dan desain tersebut dianalisis dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ujung belitan motor, suhu mencapai titik tertinggi dikarenakan adanya hambatan perpindahan panas yang signifikan melalui insulasi belitan dan celah udara. Meskipun catatan suhu tertinggi tersebut masih berada dalam batas keamanan yang ditetapkan untuk berbagai jenis isolator, penelitian ini menunjukkan bahwa analisis CFD dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja termal pada motor traksi kendaraan listrik berkapasitas tinggi. Pengaruh dari tiga desain *housing geometry* dievaluasi, dan hasilnya menunjukkan bahwa aliran fluida yang dioptimalkan meningkatkan efisiensi perpindahan panas, mengakibatkan penurunan suhu pada ujung belitan hingga sekitar 15%.

Penelitian oleh Shengnan Wu, Daquan Hao, Wenming Tong [12] pada tahun 2022 membahas mengenai rancang bangun *water cooling* dengan efisiensi pembuangan panas yang tinggi untuk mengurangi kenaikan suhu motor dan meningkatkan keandalan motor. Pelat *water cooling* dihubungkan secara seri dengan pipa *water cooling*. Pelat *water cooling* dipasang dekat dengan gigi stator dan kait stator, sedangkan belitan jangkar dan belitan eksitasi terikat langsung ke pelat *water cooling*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di bawah aliran pendinginan yang sama, semakin meningkat ketebalan pelat *water cooling*, kecepatan aliran rata-rata dan koefisien pembuangan panas konveksi rata-rata pada

pelat *water cooling* secara bertahap menurun. Ketika ketebalan pelat *water cooling* sama dan aliran air sama, peningkatan jumlah pelat berpendingin air dapat meningkatkan kapasitas perpindahan panas pelat *water cooling*.

Penelitian oleh Rayhan Ramji [13] pada tahun 2021 membahas mengenai pemodelan variabel *losses* yang dihasilkan oleh motor dan analisis thermal kemudian dilakukan desain sistem pendingin untuk motor BLDC dengan media pendingin berupa angin dan fluida cair pada motor BLDC 120kW. Sistem pendingin yang dibuat memiliki sirkulasi air dan angin pada motor, yang bertujuan untuk mentransferkan panas didalam motor keluar sehingga suhu di dalam motor dapat terjaga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan digunakannya sistem pendingin menggunakan fluida cair mampu menurunkan suhu motor cukup drastis dibandingkan dengan tidak digunakannya sistem pendingin.

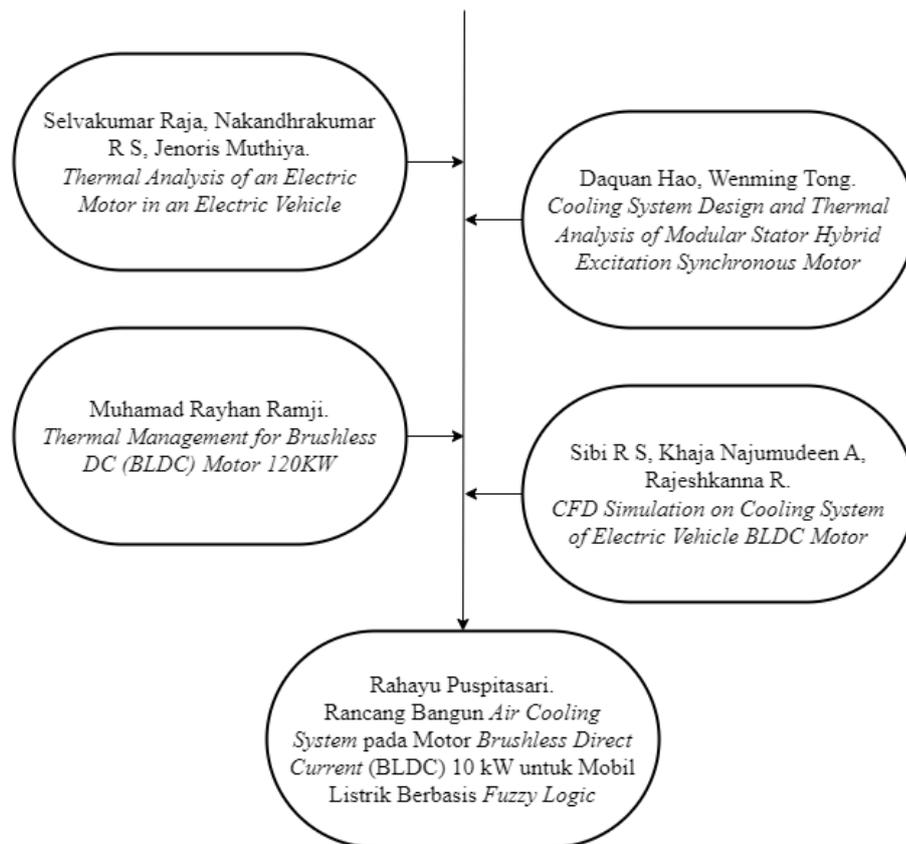
Penelitian oleh Sibi R S, Khaja Najumudeen A, Rajeshkanna R [14] pada tahun 2021 membahas mengenai simulasi 3D *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang dibentuk pada udara tertutup di atas motor BLDC yang didinginkan oleh kipas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada belitan ujung, suhu tertinggi terjadi dan dapat diminimalkan hingga 15%. Untuk mengurangi suhu belitan dan untuk melindungi insulasi motor, penting adanya pendinginan tambahan pada belitan. Maka dapat digunakan teknik CFD untuk meningkatkan performa pendinginan motor listrik.

Berdasarkan studi literatur dari penelitian sebelumnya, bahwa untuk menjaga suhu operasi yang optimal dari motor BLDC yang digunakan dalam mobil listrik, sistem pendinginan yang efisien dan canggih sangat diperlukan. Penurunan efisiensi motor BLDC dapat terjadi jika suhu operasi motor tidak terkendali. Oleh karena itu, pengembangan sistem pendinginan yang tepat untuk motor BLDC pada mobil listrik adalah tantangan yang signifikan.

Penelitian ini mengombinasikan antara sistem pendingin udara menggunakan kipas dan pengendalian berbasis *fuzzy logic* yang diharapkan dapat mengoptimalkan suhu operasi motor BLDC. Sehingga memungkinkan mobil listrik berperforma tinggi dengan efisiensi tinggi dan umur pakai yang lebih panjang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan *air*

*cooling system* yang dioptimalkan menggunakan metode *fuzzy logic* untuk motor BLDC 10 kW pada mobil listrik agar dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan mobil listrik.

Kajian riset menggunakan rujukan empat jurnal yang mencakup jurnal nasional dan internasional. Hubungan penelitian ini digambarkan seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Hubungan penelitian.

### 1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa hal berikut ini:

1. Bagaimana rancang bangun *air cooling system* pada motor BLDC 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*?
2. Bagaimana kinerja dari *air cooling system* pada motor BLDC 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*?

## **1.4. Tujuan dan Manfaat**

Adapun tujuan dan manfaat yang ingin dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **1.4.1. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan *air cooling system* pada motor BLDC 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*.
2. Menguji dan menganalisis kinerja dari *air cooling system* pada motor BLDC 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*.

### **1.4.2. Manfaat Penelitian**

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh manfaat dari segi praktis maupun akademisnya, diantaranya yaitu:

1. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk pengoptimalan motor BLDC yang nantinya sistem kontrol dari *air cooling* ini dapat diimplementasikan pada mobil listrik untuk meminimalisir kerusakan motor BLDC akibat panas berlebih (*overheating*) sehingga umur pakai motor dapat menjadi lebih panjang.

2. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik di bidang keilmuan sistem kontrol pada mesin listrik khususnya terkait *air cooling system* pada motor BLDC 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic* untuk mengatur kecepatan kipas sesuai dengan suhu yang dihasilkan motor.

## **1.5. Batasan Masalah**

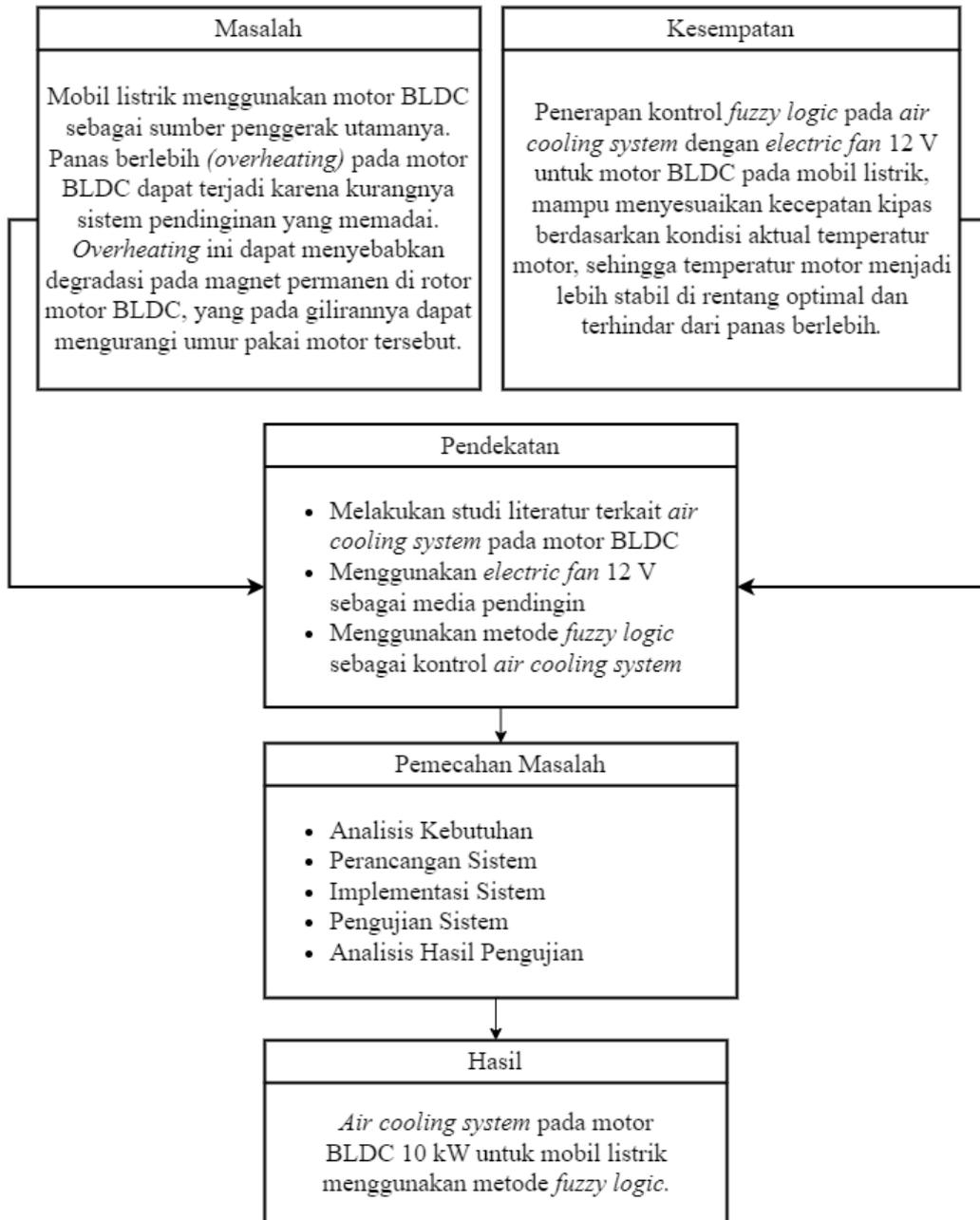
Masalah yang berkaitan dengan penelitian ini sangat luas, oleh karena itu diperlukan adanya batasan masalah pada penelitian ini untuk menghindari adanya penyimpangan atau perluasan topik, agar penelitian lebih spesifik, terarah dan mudah dibahas. Batasan masalah dari penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Motor listrik yang digunakan adalah motor *Brushless Direct Current* (BLDC) dengan kapasitas daya 10 kW.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino UNO.
3. Alat pendingin yang digunakan berupa *electric fan* 12 V dengan diameter sebesar 30 cm.
4. Pemantauan informasi temperatur motor menggunakan LCD 16×2.
5. Temperatur *setpoint* motor yang ingin dicapai yaitu 40°C.
6. Mobil listrik yang digunakan adalah mobil uji dengan jenis mobil Toyota Innova Reborn.
7. Kecepatan mobil ketika pengujian berlangsung <45km/h.
8. Pengujian dilakukan pada temperatur *ambient* yang normal (tidak ekstrim) berada di rentang 28-33°C.

#### **1.6. Kerangka Berpikir**

Kerangka berpikir memuat uraian sistematis mengenai alur pemikiran hasil perumusan masalah penelitian yang dirancang. Secara umum, kerangka berpikir dalam penelitian ini digambarkan seperti pada Gambar 1.2.





Gambar 1. 2 Kerangka berpikir.

## **1.7. Sistematika Penulisan**

Dalam mendapatkan struktur penyusunan data dan penulisan yang baik, tugas akhir ini memiliki kerangka dan sistematika yang mengikuti aturan yang telah ditentukan. Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari enam bab, berikut penjabarannya:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang, tinjauan penelitian sebelumnya, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, kerangka berpikir dan sistematika penulisan.

### **BAB II TEORI DASAR**

Bab ini berisikan tinjauan pustaka atau penjelasan terkait seluruh aspek yang terkait dengan sistem, yakni teori tentang *air cooling system*, serta komponen-komponen dari perancangan *air cooling system* pada motor *Brushless Direct Current* (BLDC) 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*.

### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini berisikan metode dan tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian terkait *air cooling system* pada motor *Brushless Direct Current* (BLDC) 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*.

### **BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI**

Pada bab ini menjelaskan tahapan yang dilakukan ketika melakukan perancangan pada alat dan melakukan implementasi pada *air cooling system* pada motor *Brushless Direct Current* (BLDC) 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*.

### **BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Pada bab ini menjelaskan tentang pengujian pada alat dan menganalisis hasil dari pengujian *air cooling system* pada motor *Brushless Direct Current* (BLDC) 10 kW menggunakan metode *fuzzy logic*.

### **BAB VI PENUTUP**

Pada bab ini menjelaskan bagian penutup dari penelitian yang didalamnya termasuk kesimpulan serta saran pengembangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.