

BAB I

PENDAHULUAN

1.2. Latar Belakang Masalah

Kesadaran akan dampak negatif penggunaan energi fosil terhadap lingkungan, serta keterbatasan sumber daya tidak terbarukan, mendorong peningkatan kebutuhan terhadap sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah teknologi Proton Exchange Membrane *Fuel cell* (PEMFC), yang bekerja dengan mengubah hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia tanpa pembakaran langsung[1]. Teknologi ini sangat menarik untuk berbagai aplikasi, termasuk pada kendaraan berbasis *fuel cell* dan sistem energi gedung, karena memberikan efisiensi tinggi serta emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan energi konvensional[2]. Prinsip kerja *Electrolyzer* PEM (Proton Exchange Membrane) melibatkan reaksi elektrokimia untuk memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen. Dalam proses ini, air mengalir menuju anoda, di mana molekul air terurai melalui reaksi oksidasi menjadi oksigen, proton (H^+), dan elektron (e^-). Proton bergerak melintasi membran konduktor proton ke sisi katoda, sedangkan elektron mengalir melalui rangkaian eksternal, menyediakan energi listrik yang diperlukan untuk mendukung reaksi. Di sisi katoda, proton dan elektron bergabung kembali untuk membentuk gas hidrogen[3].

Namun, pengembangan PEMFC dan PEM *Electrolyzer* menghadapi tantangan utama dalam pengaturan suhu yang efektif selama operasi. PEMFC memiliki suhu operasi yang relatif rendah yaitu dari $30^{\circ}C$ sampai $100^{\circ}C$ [4]. Ketidakmampuan untuk menjaga suhu dalam rentang tersebut dapat menurunkan kinerja serta memperpendek umur *fuel cell*[5]. Kondisi suhu yang tidak terkontrol juga meningkatkan resiko kerusakan komponen akibat panas yang berlebih. Studi sebelumnya menunjukkan beberapa pendekatan pengontrolan suhu pada sistem *fuel cell*. Salah satu metode yang disarankan adalah penggunaan sistem pendinginan berbasis kipas (fan cooling system), yang dinilai lebih praktis dan ekonomis dibandingkan dengan sistem pendingin cair[6]. Suhu operasi *Electrolyzer* PEM

biasanya berkisar antara 20°C hingga 80°C[3]. Pendinginan dengan kipas lebih mudah dalam pengaturan terhadap perubahan suhu hingga mencapai nilai tertentu seperti 72 °C, 70 °C, 65 °C, 60 °C dan paling rendah hingga mencapai 45 °C, serta membutuhkan biaya implementasi yang lebih rendah, sehingga cocok untuk diterapkan dalam berbagai kondisi operasi, termasuk dalam kendaraan berbasis *fuel cell*[2][7]. Selain itu, sistem kipas dapat bekerja secara efektif untuk mengontrol panas pada *fuel cell* tanpa memerlukan desain yang kompleks[8].

Penggunaan *Fuzzy logic Control* (FLC) dalam pengaturan suhu sistem berbasis kipas ini juga telah terbukti memberikan hasil yang efektif. FLC memungkinkan penyesuaian kecepatan kipas berdasarkan perubahan suhu secara real-time, dengan hasil yang lebih akurat dibandingkan kontrol tradisional seperti PID[9]. Keunggulan FLC dibandingkan PID meliputi kemampuan menangani karakteristik nonlinier pada sistem *fuel cell* serta respons yang lebih cepat terhadap gangguan tanpa overshoot yang signifikan[10]. FLC juga dilengkapi dengan mekanisme anti-windup yang mengurangi waktu saturasi, menghasilkan efisiensi sistem yang lebih tinggi[10][11]. Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu ini, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pengontrol suhu berbasis FLC yang diintegrasikan dengan kipas pada PEMFC. Diharapkan bahwa sistem ini mampu menjaga suhu operasional pada tingkat optimal, sehingga meningkatkan keandalan dan efisiensi *fuel cell* dalam aplikasi nyata.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, masalah yang akan dikaji adalah:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol suhu yang efektif untuk sistem *fuel cell* menggunakan kontrol *Fuzzy*?
2. Seberapa efektif penerapan kontrol *Fuzzy* dalam mengendalikan suhu pada sistem *fuel cell* dalam berbagai kondisi operasional?

1.3. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol suhu yang efektif pada *fuel cell* dan *Electrolyzer* menggunakan metode kontrol *Fuzzy*.

2. Menganalisis efektivitas sistem kontrol suhu menggunakan kontrol *Fuzzy* dalam mengendalikan suhu yang optimal pada *fuel cell* dan *Electrolyzer*.

1.4. Manfaat Hasil Penelitian

Manfaat yang didapatkan adalah:

1. Meningkatkan efisiensi energi dalam *fuel cell* dan *Electrolyzer* dengan menjaga suhu operasional dalam rentang yang optimal.
2. Mendukung aplikasi energi terbarukan dengan mengendalikan suhu yang lebih efisien.
3. Memperpanjang usia pemakaian dari *fuel cell* dan *electrolyzer* melalui kontrol suhu yang tepat.
4. Menjadi acuan pada pengembangan sistem kontrol suhu pada aplikasi yang serupa.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam jurnal ini difokuskan pada :

1. *Fuel cell* yang digunakan dalam penelitian ini adalah modul reversible PEM EATAD2221. Sumber energi utama untuk proses elektrolisis berasal dari adaptor daya AC/DC dengan *output* yang dapat diatur (DC 3-12V, 2A). Dengan demikian, performa sistem, terutama laju reaksi elektrolisis untuk menghasilkan hidrogen, akan bergantung pada pengaturan tegangan dan arus dari adaptor tersebut.
2. Kontrol suhu menggunakan kipas ini hanya diterapkan pada *fuel cell* dan *electrolyzer* dengan kapasitas daya 0.6W (1.0A dan 0.6V) dan area aktif membran 625 mm², sesuai dengan skala laboratorium yang dirancang dalam penelitian ini. Sistem ini tidak ditujukan untuk aplikasi skala industri yang lebih besar.
3. Sistem kontrol suhu hanya diuji pada kondisi lingkungan yang terkontrol (indoor) untuk mengurangi pengaruh eksternal seperti hujan, kelembapan tinggi, dan fluktuasi suhu ekstrim yang tentunya dapat memengaruhi hasil pengukuran. (hapus)

4. Penelitian ini tidak mencakup analisis kerusakan atau kegagalan komponen pada *fan*, *electrolyzer* dan *fuel cell*, tetapi berfokus pada aspek kontrol suhu dan kinerja efisiensi energi.
5. Simulasi yang dilakukan hanya untuk sistem *fuzzy logic control*, tidak dilakukan simulasi pemodelan karakteristik *fuel cell* dan *electrolyzer* secara keseluruhan.

1.6. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah:

1. Studi Literatur: Studi Literatur: Dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait dengan sistem *fuel cell*, prinsip kerja kontrol suhu menggunakan metode *fuzzy*, dan penelitian terdahulu tentang topik ini.
2. Simulasi: Penggunaan *software* MATLAB hanya difokuskan pada *fuzzy logic Analyzer* untuk memvalidasi sistem kontrol suhu, bukan untuk memodelkan *fuel cell* dan *electrolyzer* secara keseluruhan karena hal tersebut diuji langsung melalui prototipe.
3. Desain Kontrol *Fuzzy* : Perancangan dan implementasi sistem kontrol *fuzzy* untuk mengatur kecepatan kipas dalam menjaga suhu yang optimal pada *fuel cell*.
4. Pengujian Empiris: Pengujian empiris dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem kontrol suhu berbasis fan pada *fuel cell* secara langsung yang melibatkan pemantauan suhu dan kestabilan kontrol di berbagai tingkat *output* daya yang dihasilkan oleh *fuel cell* dalam lingkungan laboratorium.
5. Analisis Data Eksperimental: Data yang diperoleh dari pengujian empiris akan dianalisis secara statistik untuk menentukan efektivitas sistem kontrol suhu untuk membantu mengukur seberapa baik fan mampu menjaga suhu dalam rentang optimal yang telah ditentukan.
6. Perancangan dan Implementasi Sistem: Sistem kontrol suhu berbasis fan akan dirancang dan diimplementasikan pada sistem *fuel cell* untuk mengonfirmasi kesesuaian hasil simulasi pada performa aktual sistem dalam menjaga suhu yang stabil.

1.7. Proyeksi Pengguna

Target proyeksi pengguna yang diharapkan akan memanfaatkan hasil penelitian ini adalah:

1. Industri Energi dan Transportasi : Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh industri energi dan transportasi untuk mengembangkan teknologi energi terbarukan dan sistem transportasi berbasis *fuel cell*.
2. Peneliti dan Akademisi: Hasil penelitian ini dapat menjadi pembelajaran dan referensi bagi akademisi dan peneliti terutama yang mendalami bidang energi terbarukan, kontrol suhu, dan teknologi *fuel cell*.
3. Masyarakat umum: Masyarakat yang tertarik pada energi terbarukan terutama sistem *fuel cell* dapat mempelajari atau membuat sistem *fuel cell* untuk kebutuhan pribadi atau komunitas.