

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan fundamental yang berperan penting dalam menggerakkan roda perekonomian Indonesia, terutama pada kebutuhan konsumsi dan aktivitas produksi berbagai sektor industri [1]. Sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi di Indonesia sangat beragam, tetapi eksplorasi sumber daya energi cenderung lebih dominan pada energi fosil yang bersifat tidak terbarukan [2]. Hal ini bersamaan dengan meningkatnya konsumsi energi fosil dari tahun ke tahun yang mengakibatkan banyaknya sumur-sumur produksi kehabisan sumber daya, sehingga eksplorasi baru perlu dilanjutkan. Namun, produksi sumur baru belum tentu dapat memenuhi lonjakan pemakaian. Belum lagi, dampak lingkungan dari kendaraan bermotor berbahan bakar energi fosil, yang mana telah menyumbangkan sebagian besar emisi gas rumah kaca dan kandungan CO₂ di udara, hal ini menyebabkan Indonesia termasuk dalam 8 besar negara penyumbang emisi terbesar [3]. Kondisi tersebut mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi terbarukan yang masih melimpah, dan terus berkomitmen untuk mengurangi emisi dan efek rumah kaca sekaligus melindungi roda perekonomian yang berdasarkan pada kebijakan energi nasional, yaitu bauran energi terbarukan ditargetkan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit 31% pada tahun 2050 [4].

Terdapat kriteria yang harus dipenuhi untuk memaksimalkan sumber daya energi terbarukan yaitu efisiensi, standar emisi, pengiriman bahan bakar, kelangkaan sumber daya, penilaian siklus hidup pembangkit listrik, keamanan pengiriman energi, diversifikasi teknologi energi, dan transisi pembangkit listrik stasioner besar ke sistem distribusi dalam bentuk *smart grid* [5]. Realisasi beberapa aspek tersebut sedikitnya telah dimulai, seperti percampuran biodiesel dan bioetanol pada bahan bakar fosil yang percampurannya masing-masing dimulai dari 20% pada tahun 2019, hingga ditargetkan mencapai 100% dan 85% pada tahun 2050 [4]. Bioenergi

berperan penting untuk mengurangi dampak emisi dan efek rumah kaca terutama proses peralihan dari kecenderungan penggunaan energi fosil. Namun, proses ini memerlukan dukungan teknologi yang didesain khusus agar dapat bekerja dengan maksimal untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan meminimalkan dampak emisi [6]. Teknologi tersebut harus dapat memenuhi kriteria yang dipaparkan sebelumnya. Salah satunya adalah *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) atau sel bahan bakar padat. Teknologi alternatif seperti SOFC dapat diterapkan dalam berbagai sektor di Indonesia karena sumber bioenergi yang mudah didapatkan dan berbiaya murah. Saat ini, penelitian dan pengembangan SOFC telah mengalami kemajuan yang signifikan, termasuk peningkatan material, teknik fabrikasi baru, upaya untuk meningkatkan masa pakai dan ketahanan tumpukan sel bahan bakar, serta desain sistem baru dari generasi ke generasi [7].

SOFC merupakan sel elektrokimia yang dapat menghasilkan listrik dari reaksi hidrogen dengan oksigen pada rentang suhu 450°-1000°C. Reaksi elektrokimia tersebut berlangsung di kedua elektroda SOFC pada zona yang dikenal sebagai batas tiga fase atau *Triple Phase Boundaries* (TPB). TPB merupakan titik bertemunya tiga fase yaitu fase katalis konduktor elektronik, fase konduktor ion oksida dan fase pori. Daerah TPB yang aktif akan selalu melakukan proses reaksi elektrokimia hingga menjadi produk serta proses pelepasan elektron. Oleh karena itu, jika daerah TPB diperbesar maka kinerja elektroda akan semakin baik. Pemilihan material elektroda dengan mikro struktur yang baik dapat meningkatkan kinerja sel karena berkaitan dengan jumlah dan panjang pada batas-batas TPB. Retakan mikro atau makro dapat terlihat dalam struktur elektroda karena tekanan termal yang dihasilkan oleh ekspansi termal yang tidak sesuai mengakibatkan munculnya zona tidak aktif di daerah TPB. Pada beberapa fabrikasi anoda atau katoda SOFC, pembentukan katalis konduksi elektronik dilakukan dengan mencampur sejumlah bahan elektrolit untuk memastikan kompatibilitas ekspansi termal yang terbentuk antara komponen yang berbeda untuk menghindari kerusakan mikro struktur. Selain itu, penambahan bahan elektrolit ke dalam lapisan elektroda SOFC telah meningkatkan panjang area TPB dan juga menunjang kinerja sel [8].

Pengujian lebih lanjut perlu dilakukan untuk memperhitungkan kinerja sel terhadap sifat elektrokimia pada suhu operasi menengah ($600^{\circ} - 800^{\circ} \text{ C}$) dan potensi gradien termal yang besar saat diberi penambahan bahan elektrolit di lapisan anoda. Pengujian tersebut dibutuhkan untuk melihat sifat elektrokimia terutama pada struktur anoda dengan lapisan pendukung. Tantangan seperti degradasi dan retak material pada zona TPB memerlukan biaya operasi yang tinggi, terutama dipengaruhi oleh pengurangan efisiensi saat percobaan pada struktur sel juga menjadi masalah kompleks yang telah menghasilkan ruang yang berkesinambungan pada desain dan proses yang optimal. Oleh karena itu, dibutuhkan pemodelan numerik yang dapat merepresentasikan kinerja SOFC yang optimal. Pada penelitian ini, penulis melakukan studi sifat elektrokimia melalui pemodelan numerik menggunakan *Finite Element Method* (FEM) terhadap SOFC berstruktur *planar* dengan lapisan pendukung anoda yang diberi tambahan lapisan GDC (*Gadolinium Doping Cerium*) dalam rentang suhu menengah (*Intermediate Temperature*). Sifat elektrokimia pada suhu menengah sangat menarik untuk diteliti lebih rinci karena diperlukan pendekatan yang optimal untuk mendapatkan desain yang maksimal agar dapat memenuhi kebutuhan teknologi energi yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka:

1. Bagaimana model numerik SOFC yang digunakan untuk simulasi yang merepresentasikan kinerja optimal.
2. Bagaimana perubahan sifat elektrokimia SOFC dalam rentang suhu menengah.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan model numerik SOFC dengan geometri tiga dimensi melalui pendekatan metode elemen hingga untuk mendapatkan kurva tegangan dengan distribusi arus yang menunjukkan kinerja dari SOFC.

2. Mengetahui kinerja SOFC dengan lapisan pendukung anoda untuk menentukan karakteristik sifat elektrokimia pada rentang suhu 600°, 700° dan 800° C.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini, yaitu pemodelan komputasi numerik melalui pendekatan *Finite Element Method* (FEM). Sedangkan batasan masalah pada penelitian ini adalah berkonsentrasi pada perhitungan simulasi yang dihasilkan oleh model numerik yang menggunakan modul COMSOL *Multiphysics*, yaitu modul baterai dan sel bahan bakar. Sementara itu parameter fisika yang digunakan adalah distribusi arus, perpindahan konsentrasi kimia dan aliran reaksi dalam media berpori.