

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Saat ini energi listrik merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan manusia, mulai dari sektor industri, transportasi, komersial hingga perumahan. Akibatnya manusia mengembangkan teknologi untuk pemenuhan energi hingga peningkatan efisiensi energi yang digunakan. Namun sayangnya pemenuhan energi sebagian besar menggunakan energi primer yang tidak dapat diperbaharui (energi fosil) seperti batubara dan minyak bumi. Energi fosil ini semakin menipis persediannya dan menghasilkan emisi gas buang hasil pembakaran yang berbahaya dan terbukti meningkatkan pemanasan global. Oleh karena itu manusia dituntut untuk dapat memenuhi kebutuhan energinya menggunakan sumber energi alternatif yang memiliki kerapatan energi tinggi dan ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang saat ini semakin berkembang dari segi teknologi dan kapasitasnya adalah sel bahan bakar (*fuel cell*).

*Fuel cell* adalah suatu perangkat elektrokimia yang berfungsi menghasilkan energi listrik dari suatu reaksi reduksi-oksidasi antara gas alam atau hidrogen dengan udara atau oksigen. Kelebihannya yaitu memiliki efisiensi yang

tinggi, kerapatan energi tinggi, rendah emisi (emisi adalah air), kontinuitas dan statis. Salah satu jenis *fuel cell* yang saat ini paling banyak digunakan terutama pada kendaraan dan pembangkit listrik adalah *PEM fuel cell* (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*). [13]

Di Indonesia pengembangan *PEM fuel cell* sebagai sumber energi alternatif masih sangat sedikit padahal dilihat dari potensi gas alam dan sumber-sumber hidrogen di Indonesia adalah cukup besar. Hal ini dikarenakan minimnya penelitian dan para ahli di Indonesia di bidang energi alternatif tersebut sangatlah terbatas. Salah satu kendala minimnya penelitian *PEM fuel cell* adalah karena biaya keseluruhan sistem *PEM fuel cell* sangat mahal dan memiliki tindakan keamanan sistem yang cukup tinggi. Untuk menjawab permasalahan tersebut adalah dengan membuat simulator *PEM fuel cell* yang memiliki karakteristik yang sama dengan karakteristik *PEM fuel cell* sebenarnya sehingga proses penelitian dan pengembangan dari sebuah *PEM fuel cell* dapat diketahui tanpa terhalang oleh kondisi apapun. Selain itu penelitian dengan menggunakan simulator, parameter pengujian dapat lebih variatif bahkan hingga parameter ekstrim sekalipun.

Inti dari penelitian ini adalah bagaimana menciptakan sebuah simulator *PEM fuel cell* berbasis Buck konverter dan mikrokontroler yang memiliki karakteristik yang sama dengan karakteristik *PEM fuel cell* sebenarnya terhadap beberapa variabel operasi sebuah *PEM fuel cell* seperti jumlah sel dalam *stack*, tekanan hidrogen dan oksigen, jumlah aliran bahan bakar dan temperatur operasi. Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian

mengenai simulator *PEM fuel cell* diantaranya ”*Design of a PEM Fuel cell Simulator Based on DC-DC Buck Converter*” oleh Georgi Georgievski dan Goce L. Arsov yang membahas sistem pemodelan dan simulasi *PEM fuel cell* menggunakan *software* ISIS PROTEUS. Dari penelitian ini didapatkan gambaran tentang penggunaan Buck konverter pada pembuatan simulator *PEM fuel cell*. Kemudian dengan judul “*Studi Pemodelan dan Simulasi Sel Bahan Bakar Membran Pertukaran Proton (Proton Exchange Membrane Fuel cell)*” oleh Muhammad Ismail Aji di Institute Teknologi Bandung yang membahas sistem pemodelan analisis kuantitatif *PEM fuel cell* sebagai pembangkit listrik residensial (perumahan). Dari penelitian ini didapatkan sistem pengoperasian dan variabel-variabel operasi pada *PEM fuel cell*. Dari kedua penelitian tersebut masih sebatas perancangan dan simulasi menggunakan program (*software*). Untuk itu tujuan dari penelitian ini selain melakukan pengembangan sistem pemodelan dan simulasi pada *PEM fuel cell* dengan menggunakan Simulink MATLAB juga merancang dan menciptakan sebuah perangkat keras (*hardware*) prototipe simulator *PEM fuel cell* berbasis Buck konverter dan mikrokontroler yang memiliki karakteristik yang sama dengan *PEM fuel cell* sebenarnya.

## **B. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membangun prototipe simulator *PEM fuel cell* berbasis Buck konverter dan mikrokontroler yang memiliki karakteristik yang sama dengan karakteristik *PEM fuel cell* sebenarnya.

2. Melakukan variasi nilai variabel operasi seperti jumlah sel dalam stack, tekanan reaktan, jumlah aliran hidrogen dan temperatur terhadap variabel elektrik yang dihasilkan oleh pemodelan dan simulator *PEM fuel cell* seperti tegangan, arus dan daya.
3. Membandingkan hasil keluaran prototipe simulator *PEM fuel cell* yang dibuat dengan produk referensi Horizon H-100 *PEM fuel cell stack*.
4. Membandingkan hasil keluaran prototipe simulator *PEM fuel cell* yang dibuat dengan pemodelan dan simulasi.

### C. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat tercapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menghasilkan suatu prototipe simulator *PEM fuel cell* berbasis Buck konverter dan mikrokontroler yang bersifat interaktif, terkontrol dan aplikatif dengan aplikasi menu yang dapat melakukan variasi variabel operasi.
2. Mengetahui hubungan variabel operasi seperti jumlah sel dalam stack, tekanan reaktan, jumlah aliran hidrogen dan temperatur terhadap variabel elektrik yang dihasilkan *PEM fuel cell* seperti tegangan, arus dan daya.
3. Mengetahui hubungan hasil keluaran simulator *PEM fuel cell* yang dibuat dengan produk referensi Horizon H-100 *PEM fuel cell stack*.
4. Mengetahui hubungan hasil keluaran simulator *PEM fuel cell* yang dibuat dengan hasil pemodelan dan simulasi menggunakan MATLAB simulink.

#### D. Kerangka Pemikiran

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai rancang bangun prototipe simulator *PEM fuel cell* berbasis Buck konverter dan mikrokontroler. Proses perancangan prototipe simulator *PEM fuel cell* mula-mula dimodelkan dengan menggunakan program Simulink MATLAB. Pemodelan dilakukan berdasarkan model matematik dari suatu sistem *PEM fuel cell* sebenarnya. Model matematik *PEM fuel cell* ini secara umum terdiri dari potensial standar *PEM fuel cell* ( $E_0$ ), persamaan Nernst dan rugi-rugi yang berlaku pada *PEM fuel cell* seperti rugi aktivasi, rugi arus internal, rugi ohmik dan rugi konsentrasi. Untuk setiap segmen model *PEM fuel cell* direpresentasikan sebagai subsistem menjadi kesatuan sistem model *PEM fuel cell*. Subsistem ini masing-masing mewakili persamaan Nernst dan rugi-rugi pada *PEM fuel cell*. Emulator *PEM fuel cell* yang dibuat secara umum terdiri atas beberapa komponen utama yaitu *PEM fuel cell model*, PWM generator, kontroler P-I dan Buck konverter. Prinsipnya yaitu mengontrol Buck konverter agar memiliki karakteristik pembebanan yang sama dengan *PEM fuel cell* model. Karakteristik *PEM fuel cell* ini dinyatakan sebagai karakteristik arus-tegangan yaitu perubahan pembebanan akan mengakibatkan tegangan jatuh tertentu sesuai dengan karakteristik dan parameter *PEM fuel cell model* yang dibuat. Untuk itu arus keluaran Buck konverter akan diumpanbalikan ke *PEM fuel cell model* yang selanjutnya akan dikonversikan sebagai tegangan *set point* bagi Buck konverter. Kemudian melalui pengontrol P-I-D akan didapatkan suatu nilai *duty cycle* ( $D$ ) yang sesuai. Lalu nilai *duty cycle* ini akan dikonversi oleh PWM generator untuk membangkitkan gelombang pulsa

dengan frekuensi 40 KHz. Gelombang pulsa akan digunakan sebagai pemicu *gate* MOSFET pada Buck konverter yang selanjutnya akan menghasilkan tegangan yang sesuai dengan karakteristik *PEM fuel cell model* yang dibuat. Dalam hal ini *PEM fuel model*, PWM generator dan kontroler P-I-D merupakan komponen kode program terstruktur dalam mikrokontroler sehingga perangkat yang digunakan secara umum terdiri atas mikrokontroler, *gate driver*, Buck konverter, perangkat masukan seperti *keypad*, *push botton* dan potensiometer dan perangkat keluaran seperti *LCD* dan komputer. Pengujian simulator *PEM fuel cell* yang dibuat secara umum terdiri dari dua buah kondisi yaitu kondisi operasi dasar (*base condition*) dan kondisi variasi variabel operasi. Kondisi operasi dasar adalah pengujian *PEM Fuel cell* simulator mengikuti produk referensi yang bertujuan untuk mengetahui apakah *PEM Fuel cell* yang dibuat memiliki kesamaan karakteristik terhadap produk *PEM Fuel cell* referensi dimana produk referensi *PEM Fuel cell stack* yang digunakan adalah *PEM Fuel cell Stack Horizon H-100*. Kemudian pengujian variasi variabel operasi bertujuan untuk mengetahui hubungan variabel operasi seperti jumlah sel dalam *stack*, tekanan hidrogen, jumlah aliran hidrogen dan temperatur terhadap variabel elektrik seperti tegangan, arus dan daya yang dihasilkan *PEM fuel cell*. [3]

## **E. Hipotesis**

Tegangan yang dihasilkan oleh sebuah *PEM fuel cell* dipengaruhi oleh faktor eksternal dan internal diantaranya yaitu temperatur, tekanan, jumlah aliran hidrogen dan faktor dinamik dalam *PEM fuel cell*. Faktor-faktor tersebut dapat

mengakibatkan kenaikan atau penurunan tegangan yang dihasilkan. Penurunan tegangan pada *PEM fuel cell* ini dinyatakan sebagai rugi-rugi diantaranya yaitu rugi aktivasi, rugi arus internal, rugi resistansi, dan rugi konsentrasi. Rugi-rugi ini secara khusus membentuk karakteristik pembebanan pada *PEM fuel cell*, dimana karakteristik ini dinyatakan sebagai karakteristik arus-tegangan *PEM fuel cell*.