

Analisa Performa SOFC Proton Elektrolit Sistem Hibrid dengan Bahan Bakar Alternatif

Nizar Amir.¹⁾, Reymond Purnomo.²⁾

Jurusan Teknik Mesin Program Magister dan Doktor FT UB, Malang¹⁾

Jurusan Matematika Program Magister FMIPA UB, Malang²⁾

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

E-mail :nizaramr@gmail.com¹⁾

Abstract

This paper studied the modeling of proton conducting electrolyte SOFC hybrid system fueled by biofuel. The hybrid system consist of a proton conducting electrolyte SOFC stack, a gas turbine, a combustor, two external reformers, two compressors and heat exchangers. The results of study show that power of protonconducting electrolyte SOFC stack and also gas turbine power output when mixing methane with biofuel in externally reformed proton SOFC hybrid system is higher than pure methane, vice versa, the system efficiency is lower than pure methane as a fuel. However, when mixing methane with biofuel, the system efficiency increases with increasing operating pressure.

PENDAHULUAN

Saat ini, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan meningkatnya temperatur di bumi yang diakibatkan oleh banyaknya konsumsi bahan bakar fosil. Oleh karena itu, diperlukan usaha untuk mengurangi dampak negatif dari pemakaian bahan bakar fosil terhadap lingkungan dengan mencari bahan bakar pengganti yang terbaharukan dan sebuah teknologi pembangkit listrik yang ramah lingkungan adalah solusinya selama ini, gas metana digunakan sebagai bahan bakar *fuel cell* sistem hibrid karena mampu menghasilkan konsentrasi gas hidrogen yang tinggi dengan proses *steam reforming*. Tetapi, gas metana adalah salah satu gas rumah kaca yang harus dihindari, sehingga diperlukan bahan bakar pengganti untuk menggantikan gas metana sebagai bahan bakar *fuel cell*.

Bahan bakar alternatif seperti *isooctane* dapat dipertimbangkan sebagai bahan bakar yang terbaharukan dan ramah lingkungan karena dapat di produksi dari bahan alami [1]. Selain itu, bahan bakar *isooctane* juga sangat baik sebagai bahan bakar *fuel cell* karena mampu menghasilkan gas hidrogen dengan konsentrasi yang tinggi dengan proses *steam reforming* [2, 3]. *Fuel cell* adalah salah satu teknologi yang sangat ramah lingkungan karena dapat mengubah secara langsung energi kimia menjadi energi listrik tanpa

proses pembakaran dan air sebagai limbah dari proses tersebut [4]. *Solid oxide fuel cell* (SOFC) adalah salah satu jenis dari *fuel cell* yang memiliki banyak manfaat jika digabungkan dengan gas turbin mikro selain itu, keuntungan dari jenis ini adalah banyaknya jenis bahan bakar dapat dipakai dan dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Fuel cell jenis SOFC memiliki temperatur yang tinggi sekitar 900°C-1000°C dan memiliki banyak kerugian karena dibutuhkan material yang mahal, lama dalam *start up* dan *start down*, dan tidak cocok untuk aplikasi kecil oleh karena itu, untuk mengurangi biaya material yang sangat mahal dan penggunaan untuk aplikasi kecil, membutuhkan teknologi baru, yaitu sering disebut *intermediate temperature* dan range temperaturnya sekitar 500°C – 750°C [5].

Proton conducting electrolyte SOFC (SOFC-H⁺) adalah sebuah teknologi baru dimana proton (H⁺) yang mengalir pada elektrolit dan bereaksi dengan oksigen dan elektron pada katoda. Sehingga produksi air berada pada katoda hal ini diharapkan tidak ada pencairan terhadap gas hidrogen pada anoda, sehingga tekanan parsial hidrogen pada anoda menjadi tinggi dan *fuel cell* menghasilkan *power* yang besar. Oleh karena itu, diperlukan sebuah penelitian mengenai (SOFC-H⁺) sistem hibrid dengan bahan bakar alternatif sebagai solusi untuk penghasil listrik yang ramah lingkungan untuk saat ini.

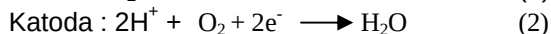
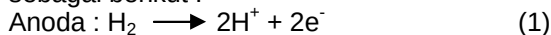
METODE PENELITIAN

Pemodelan Matematika

Penelitian ini menggunakan software Matlab versi 7.6 / Simulink versi 7.1 / Thermolib versi 5.1.1.5353. Pada umumnya, software Thermolib versi 5.1.1.5353 telah menyediakan sebuah komponen standar sistem konversi energi seperti alat penukar kalor, pompa, turbin, reaktor, ruang bakar, dan sebagainya. Komponen-komponen tersebut diintegrasikan dengan sistem (SOFC-H⁺) yang telah dibangun oleh peneliti [6]. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan beberapa asumsi untuk memudahkan proses studi, yaitu sebagai berikut :

1. Gas ideal
2. Aliran *steady state*
3. Tidak adanya kebocoran fluida pada sistem terhadap lingkungan
4. Kerugian panas sangat kecil, sehingga dianggap tidak ada
5. Komponen SOFC
 - a. Luas sel : 0.01 m²
 - b. Jumlah sel : 50 sel
 - c. *Fuel utilization* : 0.85
 - d. Temperatur inisial : 323 °K
6. Komponen sistem *hybrid* :
 - a. Efisiensi turbin : 85%
 - b. Efisiensi kompresor : 85%
 - c. Steam-to-carbon ratio : 2.2 (gas metana)

Reaksi elektrokimia pada (SOFC-H⁺) adalah sebagai berikut :



Pada (SOFC-H⁺), gas hidrogen dialirkan menuju anoda, kemudian gas hidrogen beroksidasi menjadi H⁺ dan e⁻. Proton dialirkan ke dalam elektrolit menuju katoda dan bereaksi dengan oksigen dan elektron sehingga menghasilkan air pada bagian katoda. Elektron mengalir menuju sebuah sirkuit listrik dan menghasilkan energi listrik. Keunggulan teknologi ini adalah air diproduksi pada bagian katoda, sehingga tidak ada pencairan gas hidrogen oleh air pada bagian

anoda. Tegangan (E) dihitung dengan rumus sebagai berikut [6]:

$$E = \ln \frac{K p_{\text{H}_2} (p_{\text{O}})}{p_{\text{H}_2}} \quad (3)$$

dimana R adalah universal gas konstan (J/mole °K), T adalah temperatur absolut (°K), F adalah *Faraday number* (°K/mol). Pada prakteknya, terdapat kerugian-kerugian (*ohmic loss*, *activation loss*, dan *concentration loss*) yang terjadi dan menyebabkan menurunnya tegangan yang dihasilkan oleh (SOFC-H⁺), sehingga tegangan aktualnya (Volt) sebagai berikut :

$$V_c = E - V_{\text{kerugian}} \quad (4)$$

dimana V_{kerugian} adalah jumlah kerugian yang terjadi pada (SOFC-H⁺). Pada studi ini, hanya *ohmic loss* dan *activation loss* yang dihitung, sedangkan *concentration loss* diabaikan karena, pada studi *concentration loss*, diasumsikan bahwa bahan bakar dan oksidan berdifusi dengan sempurna, sehingga *power*(kW) yang dihasilkan (SOFC-H⁺) adalah sebagai berikut:

$$P_{\text{pSOFC}} = I V_c A, \quad (5)$$

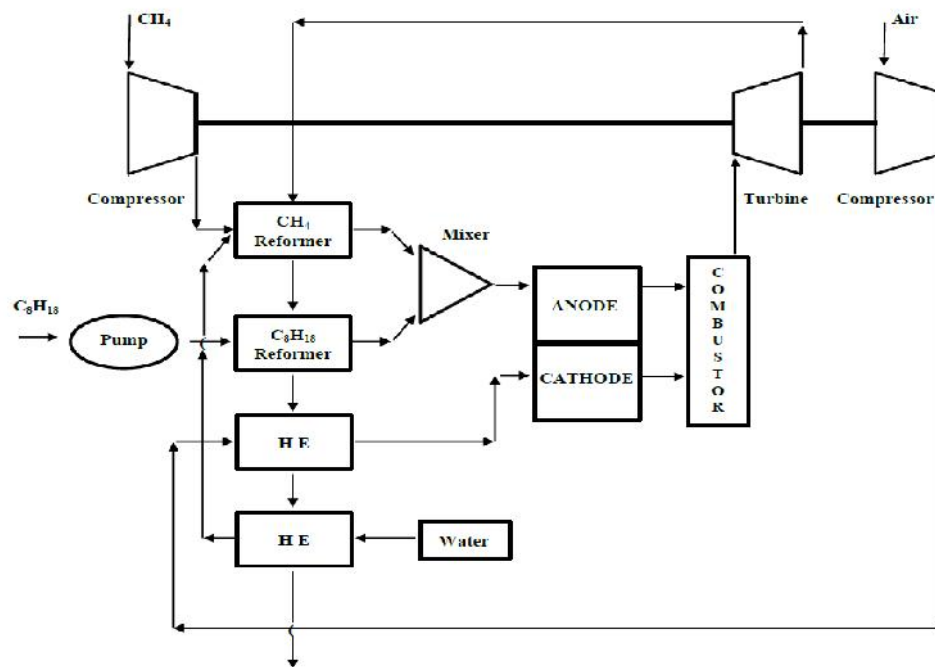
dimana I adalah densitas arus (A/cm²), A adalah luasan efektif (cm²). Efisiensi (SOFC-H⁺) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara *power* yang dihasilkan oleh (SOFC-H⁺) dengan LHV dan laju massa alir bahan bakar. Efisiensi (SOFC-H⁺) dievaluasi dari persamaan berikut :

$$\eta_{\text{pSOFC}} = \frac{P_{\text{pSOFC}}}{\dot{m}_f} \quad (6)$$

Efisiensi sistem hibrid adalah sebagai berikut:

$$\eta_{\text{Sistem}} = \frac{P_{\text{pSOFC}} + P_{\text{MGT}} - P_c}{\dot{m}_f \text{LHV}} \quad (7)$$

dimana P_{MGT} dan P_{Comp} adalah *power*(kW) yang dihasilkan oleh turbin gas mikro (MGT) dan *power* yang dikonsumsi oleh kompresor selama proses, berturut-turut. Perhitungan pertukaran kalor antara fluida panas dan fluida dingin pada alat penukar kalor berdasarkan metode *Effectiveness – number of transfer units* (NTU). Sistem hibrid ini menggunakan alat penukar kalor jenis *counterflow* dan semua parameter asumsi digunakan selama proses pengambilan data.



Gambar 1. Skema konfigurasi (SOFC-H⁺) sistem hybrid

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan sebuah skema konfigurasi sistem hybrid yang digunakan dalam studi ini. Sebuah *fuel cell* berjenis (SOFC-H⁺) menggunakan bahan bakar alternatif sebagai input bahan bakar dan digunakan secara berkala untuk menggantikan gas metana sebagai bahan bakar utama. Bahan bakar masuk kedalam masing-masing reformer kemudian di campur sebelum masuk kedalam fuel cell udara bertekanan dialirkan melalui compressor dan dipanaskan sebelum memasuki fuel cell. Reaksi elektrokimia berlangsung didalam (SOFC-H⁺) dan menghasilkan energi listrik. Selain itu, energi listrik juga dihasilkan dari turbin menggunakan gas buang yang telah dibakar didalam ruang bakar terlebih dahulu. Kemudian gas buang dari turbin gas digunakan untuk proses *reforming* dan memanaskan udara dan air. Uap air digunakan untuk proses *steam reforming* untuk mengubah metana menjadi gas hidrogen. Terakhir, gas buang bertemperatur rendah dibuang menuju atmosfer setelah digunakan untuk memanaskan air.

Gambar 2 menunjukkan efek dari tekanan operasi terhadap arus listrik dimana dengan meningkatnya tekanan operasi, arus listrik semakin menurun. Sebagai contoh untuk kasus 30% bahan bakar alternatif, tekanan operasi meningkat dari 3 [bar] – 5 [bar], *electrical current* menurun dari 34 [A] ke 29 [A]. Selanjutnya, gambar 3 menunjukkan efek tekanan operasi terhadap *power* (SOFC-H⁺), dimana dengan meningkatnya tekanan operasi dari 3 [bar] ke 5 [bar], *power* (SOFC-H⁺) menurun dari 1244 [W] menuju 1138 [W] untuk kasus 30% bahan bakar alternatif.

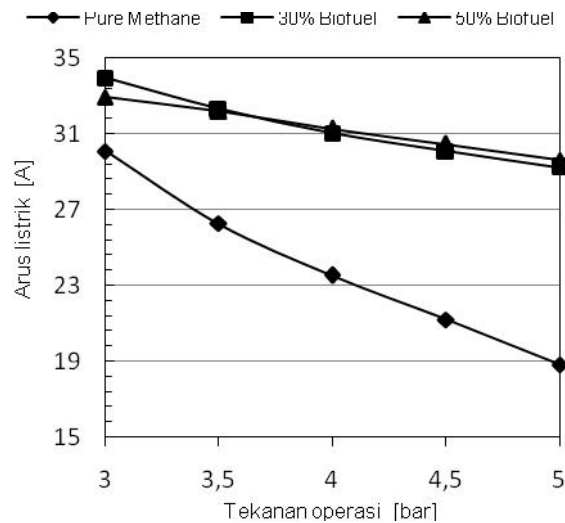
Dengan meningkatnya tekanan operasi, secara otomatis temperatur akan meningkat dan pada sistem mengakibatkan produksi gas hidrogen dari proses *reforming* menurun, sehingga hal tersebut sangat mempengaruhi dari arus yang dihasilkan oleh (SOFC-H⁺) dari proses elektrokimia. Maka dengan menurunnya produksi arus, *power*(SOFC-H⁺) semakin menurun. Meskipun dalam lain hal, dengan meningkatnya tekanan operasi menyebabkan proses elektrokimia dari (SOFC-H⁺) meningkat dan secara implisit dapat dikatakan bahwa (SOFC-H⁺) bekerja lebih efisien, tetapi

efek tersebut lebih kecil dari pada menurunnya gas hidrogen dari *reformer* yang menjadi sumber bahan bakar *fuelcell*.

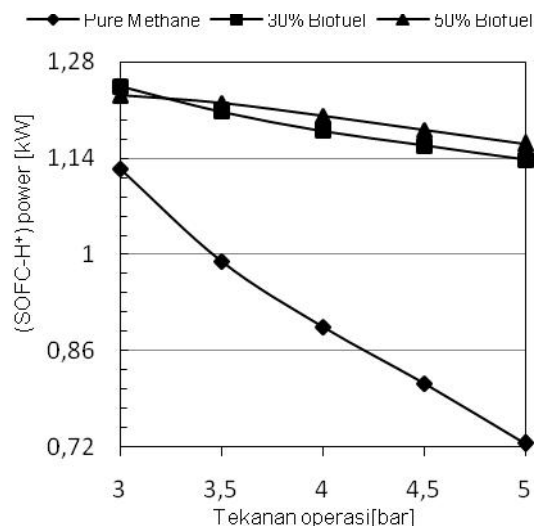
Dengan menggantikan bahan bakar metana dengan bahan bakar alternatif, *power* (SOFC-H⁺) meningkat secara signifikan. Sehingga secara implisit dapat dikatakan bahwa dengan penambahan bahan bakar alternatif sebanyak 30% dan 50 % dapat meningkatkan *power* (SOFC-H⁺). Saat mula-mula, penambahan bahan bakar alternatif 30% dapat menghasilkan *power*(SOFC-H⁺) yang paling tinggi dibanding penambahan bahan bakar alternatif 50%. Akan tetapi saat tekanan mulai melebihi 3.5 [bar], dengan penambahan 50% bahan bakar alternatif dapat menghasilkan *power* (SOFC-H⁺) yang paling tinggi.

Hal ini dapat dijelaskan bahwa, bahan bakar alternatif seperti *isooctane* memerlukan temperature yang tinggi untuk mengubah menjadi hidrogen dengan proses steam reforming. Semakin tinggi kadar prosentasi penambahan bahan bakar alternatif, semakin tinggi pula kebutuhan temperatur untuk proses *steamreforming*. Oleh karena itu, saat tekanan melebihi angka 3.5 [bar], penambahan bahan bakar alternatif 50% dapat menghasilkan *power*(SOFC-H⁺) yang paling tinggi, seperti pada gambar 2 dan 3.

Gambar 4 menunjukkan efek dari tekanan operasi terhadap temperatur inlet turbin (TIT), dimana dengan meningkatnya tekanan operasi, TIT yang dihasilkan akan menurun. Akan tetapi, semakin tinggi penambahan bahan bakar alternatif, TIT semakin meningkat. Karena, gas metana dapat dikonversi secara maksimal menjadi hidrogen akan tetapi *isooctane* tidak pada *intermediate temperature*. Sehingga semakin banyak bahan bakar alternatif yang dapat dibakar di ruang bakar untuk meningkatkan temperatur.



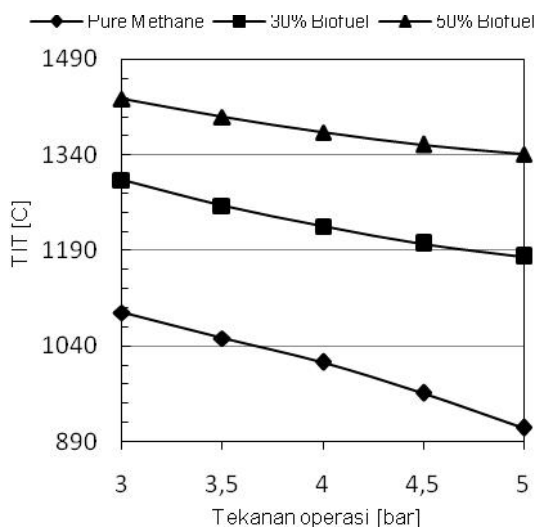
Gambar 2. Efek tekanan operasi terhadap arus listrik



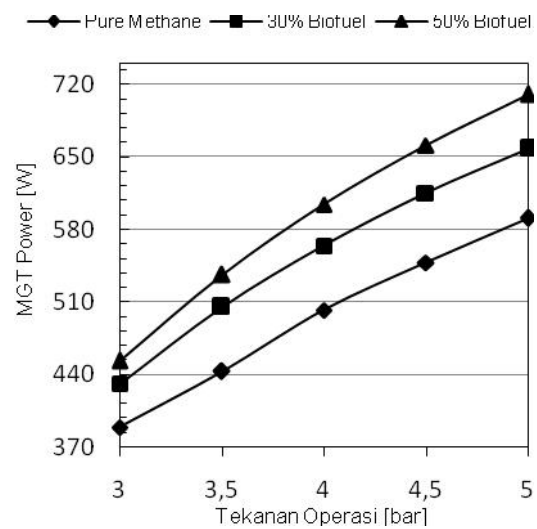
Gambar 3. Efek tekanan operasi terhadap arus listrik

Gambar 5 menunjukkan efek dari tekanan operasi terhadap *power*MGT, dimana dengan meningkatnya tekanan operasi, *power* MGT yang dihasilkan juga meningkat. Semakin tinggi tekanan operasi, maka semakin tinggi pula energi yang dapat digunakan untuk menggerakkan MGT, sehingga *power* MGT meningkat. Meskipun TIT semakin menurun dengan meningkatnya tekanan operasi, hal ini mempunyai efek yang relatif kecil dibanding meningkatnya energi input yang dapat digunakan MGT dengan meningkatnya tekanan operasi.

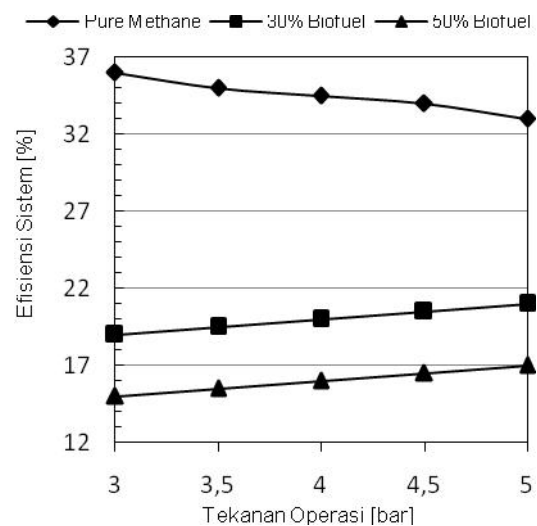
Gambar 6 menunjukkan efek dari tekanan operasi terhadap efisiensi sistem, dimana dengan meningkatnya tekanan operasi, efisiensi sistem yang dihasilkan dari gas metana akan menurun. Namun, penambahan bahan bakar alternatif sebanyak 30% dan 50%, akan meningkatkan efisiensi sistem. Akan tetapi, efisiensi yang dihasilkan dengan penambahan bahan bakar alternatif masih lebih rendah dari yang menggunakan gas metana. Hal ini dapat dijelaskan karena pada *intermediate* temperatur, *isooctane* tidak dapat secara efektif dikonversi menjadi gas hidrogen, sehingga masih banyak bahan bakar *isooctane* yang tidak dapat dimanfaatkan maka menurunkan efisiensi sistem.



Gambar 4. Efek tekanan operasi terhadap TIT



Gambar 5. Efek tekanan operasi terhadap MGT power



Gambar 6. Efek tekanan operasi terhadap efisiensi sistem

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. (SOFC-H⁺) mempunyai banyak keuntungan dengan dapat bekerja pada temperatur yang rendah.
2. Bahan bakar alternative *iso octane*, dapat dijadikan salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.
3. Penggabungan (SOFC-H⁺) dengan MGT dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi.
4. Dengan meningkatnya tekanan operasi, efisiensi menurun untuk bahan bakar gas metana, akan tetapi dengan bahan bakar bahan bakar alternatif meningkat.
5. Efisiensi sistem dengan bahan bakar bahan bakar alternatif masih di bawah bahan bakar gas metana karena bahan bakar alternative *iso octane* tidak dapat dikonversi secara sempurna pada temperatur rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shahli M., 2004, "Study on the concentration of isooctane from oleic acid", *Master thesis*, Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.
- [2] Rajesh B. Biniwale, *et al.*, 2005, "Production of hydrogen-rich gas via reforming of iso-octane over Ni-Mn and Rh-Ce bimetallic catalysts using spray pulsed reactor", *Catalysis Letters*, Vol. 100, No. 1-2.
- [3] Praherso, *et al.*, 2004, "Kinetic study of iso-octane steam reforming over a nickel-based catalyst", *Chemical Engineering Journal*, Vol. 99, 131-136.
- [4] O'Hayre R., 2009, "*Fuel Cell Fundamentals*", 2nd edition, John Wiley & Sons, New York.
- [5] Steele B. C. H., 2001, "Material science and engineering: The enabling technology for the commercialisation of fuel cell systems", *Journal of Materials Science*, Vol. 36, Issue 5, 1053-1068.
- [6] Amir N. Tseng C. J., 2013, "IT PSOFC-GT hybrid system fuelled by methane mixed biofuel", The First Annual International Scholars Conference in Taiwan 2013, Taiwan, 27-29 April.
- [7] Demin A. K., 2001, "Thermodynamic of the sofc based on the proton conductive electrolyte".