

Sintesis *Nickel – Yttria Stabilized Zirconia* (Ni–YSZ) sebagai Anoda *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC)

Pulung Subuh Nur Baity, Suasmoro

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: suasm@physics.its.ac.id

Abstrak—Cermet *Nickel–Yttria Stabilized Zirconia* (Ni–YSZ) diperoleh dari proses reduksi pada material *Nickel Oxide–Yttria Stabilized Zirconia* (NiO–YSZ) yang disintesis menggunakan metode reaksi padat dari campuran serbuk NiO–7YSZ (7%mol Y₂O₃ dan 93%mol ZrO₂)–*poro former* (*white starch*) dengan perbandingan komposisi massa 4:6:1. Reduksi NiO–YSZ dalam bentuk pelet, dilakukan dengan temperatur reduksi 1000°C selama 3 jam dalam aliran gas 10%H₂ dan 90%Ar untuk menghasilkan material Ni–YSZ. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *Difraktometer Sinar-X* (XRD). Berdasarkan hasil penelitian, cermat Ni–YSZ dihasilkan pada temperatur reduksi 1000°C selama 3 jam dengan kuantitas komposisi fasa YSZ kubik 46,98%, YSZ monoklinik 18,39 %, Ni kubik 31,22% dan NiO kubik 3,40%.

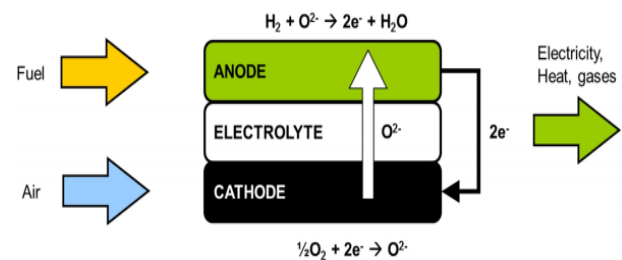
Kata Kunci— Anoda, porositas, reduksi.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan masyarakat akan energi listrik terus bertambah seiring dengan laju pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi dunia[1]. Berdasarkan laporan *The World Energy Council*, kebutuhan energi dunia akan mengalami peningkatan jumlah konsumsi dari 8,8 Gtoe (*gigatons of oil equivalent*) pada 1990 menjadi 11,3 sampai 17,2 Gtoe pada 2020[2]. Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat ini, mengakibatkan semakin besarnya konsumsi akan bahan bakar fosil. Sedangkan, bahan bakar fosil sebagai sumber energi yang tidak dapat diperbarui mulai terbatas, sehingga secara *financial* juga mengalami peningkatan. Disamping itu, pemakaian bahan bakar fosil juga menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan, mulai dari polusi udara, penipisan lapisan ozon, pemanasan global, serta emisi dari unsur radioaktif[3]. Oleh karena itu, dibutuhkan energi listrik alternatif yang dapat diperbarui (*renewable energy*), ramah lingkungan, serta mampu memenuhi kebutuhan energi dimasa mendatang dengan biaya yang relatif lebih murah.

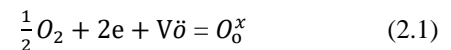
Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*). SOFC adalah sel bahan bakar keramik yang mampu mengkonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik. SOFC memiliki keunggulan seperti efisiensi daya konversi tinggi, rendah emisi polutan serta fleksibilitas untuk memanfaatkan berbagai bahan bakar sehingga menjanjikan jika digunakan sebagai teknologi konversi masa depan. Secara umum, SOFC terdiri dari anoda, elektrolit dan katoda[4]. Gambar 2.1 menggambarkan prinsip operasi dari SOFC[5]. Sebuah SOFC terdiri dari anoda, katoda

dan elektrolit. Fungsi dari komponen anoda adalah sebagai katalis gas yang mengubah gas menjadi ion bermuatan positif dan elektron dalam reaksi oksidasi, elektrolit berfungsi sebagai media yang mengantarkan ion negatif oksigen dari katoda menuju anoda dan komponen katoda berfungsi sebagai katalis yang mengubah gas oksigen menjadi ion negatif dalam reaksi reduksi[6].

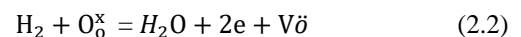


Gambar 1. Prinsip Kerja *Solid Oxide Fuel Cell*[7].

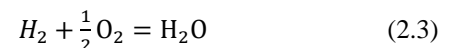
Dalam notasi Kröger, reaksi reduksi oksigen pada katoda adalah sebagai berikut:



Pada saat yang sama, molekul bahan bakar (misalnya, hidrogen) teroksidasi pada anoda dengan menggabungkan ion oksigen dan elektron dalam reaksi berikut:



Kombinasi dari reaksi (2.1) dan (2.2) menghasilkan reaksi keseluruhan sel bahan bakar[7].



Syarat-syarat material dapat digunakan sebagai anoda SOFC adalah memiliki kandungan porositas ~20–40% dan konduktivitas listrik 1–100 S/cm. Material yang sering digunakan sebagai anoda SOFC adalah *Nickel–Yttria Stabilized Zirconia* (Ni–YSZ). Ni–YSZ memiliki keunggulan seperti konduktivitas listrik mampu mencapai 10^2 – 10^3 S/cm, porositas ~20–40% stabilitas kimia dan aktivitas katalitiknya sangat baik terhadap oksidasi hidrogen serta reformasi bahan bakar hidrokarbon[8]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tahereh Talebi *et.al* pada 2010, Ni–YSZ dengan komposisi 50% Ni dan 50% YSZ, diperoleh konduktivitas listrik mencapai 1380 S/cm–1710 S/cm dan porositas mencapai 35–40% untuk variasi sintering 800–1620°C selama 3 jam pada temperatur reduksi 850°C dalam aliran gas 7% H₂ dan 93% Ar[9]. Sedangkan dalam penelitian Jong–Yeol Yo *et.al* pada 2011, Ni–YSZ dengan komposisi 60% Ni dan 40% YSZ,

diperoleh konduktivitas listrik mencapai 2000 S/cm dan porositas mencapai 33% dengan temperatur sintering 1400°C selama 4 jam pada temperatur reduksi 800°C dalam aliran gas 100% H₂[10].

Dalam penelitian ini, cermet *Nickel–Yttria Stabilized Zirconia* (Ni–YSZ) diperoleh dari proses reduksi pada *Nickel Oxide–Yttria Stabilized Zirconia* (NiO–YSZ) dengan temperatur dan waktu tahan reduksi dalam aliran campuran gas Hidrogen (H₂) dan Argon (Ar) sehingga material NiO dalam NiO–YSZ dapat tereduksi menjadi Ni.

II. METODE PENELITIAN

A. Sintesis Material Ni–YSZ

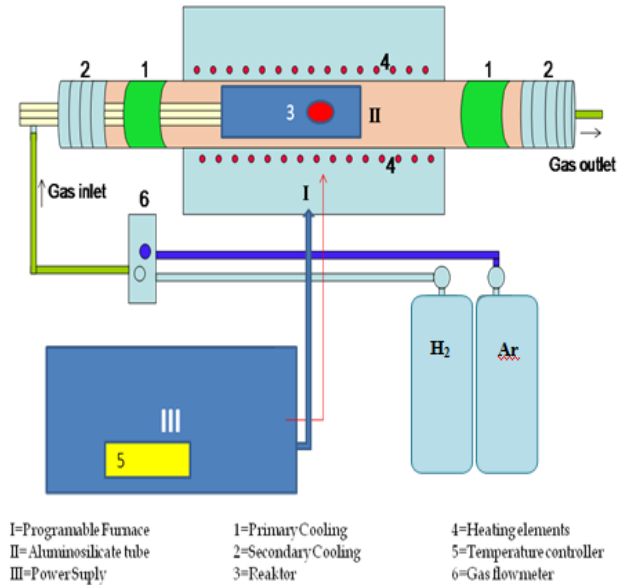
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah seperangkat *beaker glass*, timbangan digital *O'haus*, mortar, spatula, kawat nikelin 0,2 mm, *Furnace Carbolite* 1400°C, *Furnace Turbular*, Etanol, Difraktometer Sinar X, *Planetary mill*, Evaporator rotatif, bola zirconia, *Crucible* dan plat alumina, *Uni-axial Press* diameter 13 mm, *Software Match2!* dan *Rietica*. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah serbuk Y₂O₃ (*Yttrium Oxide* 99,999 % *RED Puratrem* 93-3925), serbuk ZrO₂ (*Zirkonium Oxide Purum Sigma-Aldrich* GMBH–D30926), serbuk CH₄Ni₃O₇.xH₂O (*Nickel Carbonat* Sigma/544183-250 6-A), serbuk *white starch*, *Silver Conductive Paste* (Ag) (Aldrich, 735825) dan *alcohol*.

Sintesis cermet Ni–YSZ terdiri dari tiga proses sintesis bahan dasar yaitu pembentukan senyawa NiO dalam bentuk serbuk, sintesis serbuk YSZ dan sintesis material NiO–YSZ dalam bentuk pelet. Material NiO–YSZ dalam bentuk pelet ini selanjutnya direduksi dengan variasi temperatur dan waktu tahan sehingga didapatkan cermet Ni–YSZ.

Serbuk CH₄Ni₃O₇.xH₂O dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 3 jam untuk membentuk senyawa NiO. Sedangkan sintesis YSZ dilakukan dengan mencampur serbuk 7% mol Y₂O₃ dan 93% mol ZrO₂ menggunakan *planetary milling* dengan frekuensi putar 150 rpm selama 5 jam. Kemudian campuran dikalsinasi pada temperatur 1350°C selama 1 jam untuk membentuk fasa YSZ. Sintesis NiO–YSZ dilakukan dengan mencampur serbuk NiO (*Nickel Oxide*), serbuk YSZ (7% mol Y₂O₃ dan 93% mol ZrO₂) dan serbuk *white starch* dengan komposisi perbandingan masa 4:6:1. Kemudian, campuran serbuk dikompaksi menggunakan *uni-axial press* pada tekanan 9,32 MPA. Tahap ini menghasilkan sampel dalam bentuk pelet yang selanjutnya disintering pada temperatur 1200°C selama 4 jam. Reduksi terhadap material NiO–YSZ dilakukan dalam aliran gas 10% H₂/90% Ar menggunakan *furnace turbular*. Temperatur dan waktu tahan yang digunakan adalah 1000°C selama 3 jam.

B. Karakterisasi

Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *Difraktometer Sinar-X (XRD)*. Analisis data XRD dilakukan dengan menggunakan *software Match!* dan *Rietica*.

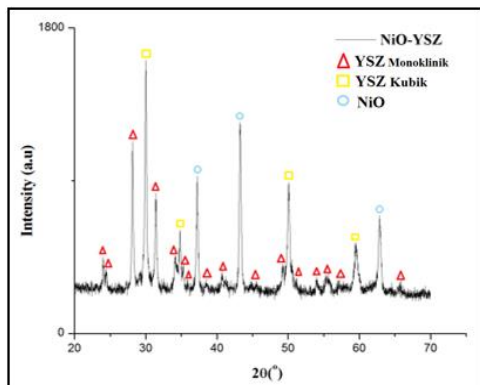


Gambar 2. Skema Alat *Furnace Turbular* dalam Aliran Gas 10% H₂/90% Ar.

III. HASIL DAN DISKUSI

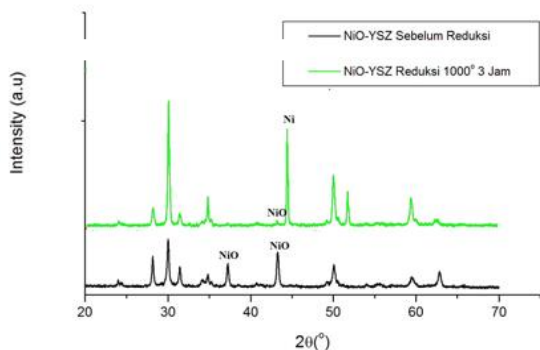
Material NiO–YSZ (*Nickel Oxide–Yttria stabilized Zirconia*) disintesis menggunakan metode reaksi padat dari campuran serbuk serbuk NiO (*Nickel Oxide*), YSZ (7% mol Y₂O₃ dan 93% mol ZrO₂) dan serbuk *white starch* (tepung tapioka) dengan perbandingan komposisi masa 4:6:1. Analisa data dilakukan dalam 2 tahap yaitu berdasarkan hasil karakterisasi XRD dan karakterisasi densitas dan SEM.

Analisa data XRD pada serbuk CH₄Ni₃O₇.xH₂O tanpa perlakuan kalsinasi memiliki fasa *amorf* yang diindikasikan dari tidak adanya puncak–puncak pada sudut 2θ, namun setelah serbuk CH₄Ni₃O₇.xH₂O melalui proses kalsinasi pada temperatur 500°C selama 3 jam, serbuk CH₄Ni₃O₇.xH₂O ini mengalami perubahan fasa dari *amorf* menjadi kristal yang diindikasikan melalui terbentuknya puncak–puncak difraksi pada sudut 2θ yaitu 37,24°, 43,3° dan 62,92° dimana dengan menggunakan *software Match!* dan *rietica* dengan basis nomor COD–230029 menunjukkan adanya puncak fasa NiO. Analisa data XRD pada serbuk YSZ menggunakan *software Match!* dan *rietica* dengan basis data PDF no. 00–030–1468, 00–072–1669 dan 00–076–0151 diperoleh informasi persentase berat yaitu YSZ kubik=46,77(09)%, YSZ Monoklinik= 50,70(48)%, Y₂O₃ kubik=2,53(43)%. Analisa data XRD pada pelet NiO–YSZ–*white starch* menggunakan *software Match!* dan *rietica* dengan basis data data PDF no. 00–078–0423, 00–086–1451, 00–082–1243 diperoleh informasi persentase berat yaitu YSZ kubik=26,13(28)%, YSZ Monoklinik=31,51(44)%, NiO kubik=42,36(51)%. Hasil penghalusan *Rietveld* ini sesuai dengan persentase masa NiO–YSZ yang dicampurkan di dalam campuran NiO–YSZ yaitu mendekati 40%:60%.



Gambar 3. Hasil karakterisasi XRD pada pellet YSZ – NiO –white starch (4:6:1) setelah proses sinting pada temperatur 1200°C selama 4 jam.

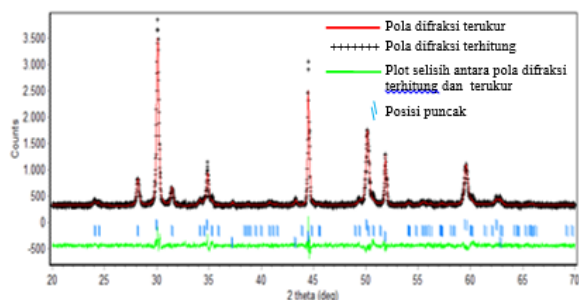
Gambar 3 menunjukkan hasil karakterisasi XRD pada Pelet NiO–YSZ–white starch (4:6:1) dan hasil analisis data XRD secara kualitatif dengan menggunakan *software Match!*.



Gambar 4. Hasil analisis data XRD secara kualitatif dengan menggunakan *software Match!* pada YSZ–NiO–white starch (4:6:1) sebelum dan setelah proses reduksi dengan temperatur dan waktu tahan 1000°C 3 jam.

Terlihat pada gambar 4, bahwa puncak difraksi NiO telah berubah menjadi puncak Ni, walaupun masih ada sedikit puncak NiO yang teramati. Hal ini menunjukkan bahwa pada temperatur 1000°C selama 3 jam, energi aktivasi yang diterima oleh NiO mampu memutus ikatannya walaupun tidak seluruhnya sehingga sebagian oksigen yang tereduksi diikat oleh H₂ menjadi H₂O (air). Untuk mengetahui pengaruh proses reduksi terhadap fraksi berat relatif (%) NiO yang tereduksi menjadi Ni, maka dilakukan analisis data secara kuantitatif dengan *rietica* menggunakan metode *Rietveld*.

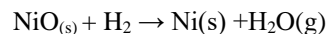
NiO – YSZ Reduksi 1000°C selama 3 jam



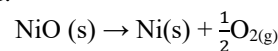
Gambar 5. Hasil penghalusan *Rietveld* pada pola difraksi NiO–YSZ setelah melalui reduksi pada temperatur 1000°C selama 3 jam.

Gambar 5 menunjukkan hasil karakterisasi XRD yang dianalisis secara kuantitatif dengan menggunakan *software rietica* untuk mengetahui kuantitas komposisi fasa setelah melalui proses reduksi. Komposisi fasa NiO–YSZ setelah melalui proses reduksi pada temperatur 1000°C selama 3 jam menghasilkan material dengan kuantitas komposisi fasa YSZ kubik 46,98%, YSZ monoklinik 18,39 %, Ni kubik 31,22% dan NiO kubik 3,40%. Berikut adalah reaksi persamaan terputusnya ikatan pada NiO menjadi Ni.

Reaksi yang terjadi pada proses reduksi NiO menjadi Ni dengan pemanasan dalam aliran gas 10% H₂/90% Ar adalah sebagai berikut.



Nilai fraksi berat (%) NiO yang tereduksi menjadi Ni berkurang dari 42,36% NiO menjadi 31,22% Ni dan NiO kubik 3,40% karena oksigen pada NiO terikat oleh H₂ menjadi uap air.



IV. KESIMPULAN

Material NiO dalam NiO–7YSZ (7%mol Y₂O₃ dan 93%mol ZrO₂)–pore former (*white starch*) dengan perbandingan komposisi masa 4:6:1 dapat tereduksi menjadi Ni pada temperatur 1000°C selama 3 jam dalam aliran gas 10% H₂ dan 90%Ar. Reduksi NiO–YSZ pada temperatur 1000°C selama 3 jam menghasilkan material dengan kuantitas komposisi fasa YSZ kubik 46,98%, YSZ monoklinik 18,39 %, Ni kubik 31,22% dan NiO kubik 3,40% .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, kedua orang tua, Bapak Prof. Dr. Suasmoro, DEA selaku dosen pembimbing sekaligus penyandang dana dan riset, seluruh elemen pengajar dan staf jurusan Fisika, serta teman-teman Penulis yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada Penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Boudghene Stambouli, A., Traversa, E., 2002. Fuel cells, an alternative to standard sources of energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 6, 295–304. doi:10.1016/S1364-0321(01)00015-6.
- [2] Webmaster@iea-dpc.de, n.d. IEA: SITES 2006 [WWW Document]. URL http://www.iea.nl/sites_2006.html (accessed 6.16.16).
- [3] Raharjo, Jarot. 2008. *Perkembangan Teknologi Material pada Sel Bahan Bakar Padat Suhu Operasi Menengah*. Institute Fuel Cell, University Kebangsaan Malaysia : Malaysia.
- [4] Horri, B.A., Selomulya, C., Wang, H., 2012. Electrochemical characteristics and performance of anode-supported SOFCs fabricated using carbon microspheres as a pore-former. *Int. J. Hydrog. Energy*, 2011 International Workshop on Molten Carbonates & Related Topics 37, 19045–19054. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.10.005.

- [5] Halinen, M., others, 2015. Improving the performance of solid oxide fuel cell systems.
- [6] Sulistyono. 2015. Pengontrolan Kualitas *Anode Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) melalui Pengontrolan Porositas. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro : Indonesia.
- [7] Zuo, C., Liu, M., Liu, M., 2012. Solid oxide fuel cells, in: *Sol-Gel Processing for Conventional and Alternative Energy*. Springer, pp. 7–36.
- [8] Fergus, J., Hui, R., Li, X., Wilkinson, D.P., Zhang, J., 2008. *Solid oxide fuel cells: materials properties and performance*. CRC press.
- [9] Talebi, T., Sarrafi, M.H., Haji, M., Raissi, B., Maghsoudipour, A., 2010. Investigation on microstructures of NiO–YSZ composite and Ni–YSZ cermet for SOFCs. *Int. J. Hydrog. Energy*, The 1st Iranian Conference On Hydrogen & Fuel Cell 35, 9440–9447. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.04.156.
- [10] Yoo, J.-Y., Cho, C.-K., Shon, I.-J., Lee, K.-T., 2011. Preparation of porous Ni–YSZ cermet anodes for solid oxide fuel cells by high frequency induction heated sintering. *Mater. Lett.* 65, 2066–2069. doi:10.1016/j.matlet.2011.04.032.