



ISSN : 1693-4393

SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA "KEJUANGAN" 2009

PROSIDING

*Pengembangan Teknologi Kimia
Untuk Pengolahan Sumber Daya
Alam Indonesia*

28 Januari 2009

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA**

2009

**SEMINAR NASIONAL
TEKNIK KIMIA "KEJUANGAN" 2009**

*Pengembangan Teknologi Kimia
untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*



Yogyakarta, 28 Januari 2009

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA**



SAMBUTAN KETUA PELAKSANA
Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2009
UPN "Veteran" Yogyakarta
28 Januari 2009

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.
Selamat Pagi dan Salam Sejahtera,

**Yang kami hormati Bapak Prof. Dr. Heri Susanto (staf pengajar ITB) dan Bapak Ir. MA Hanafi (PT AgipOil), sebagai pembicara kunci,
yang kami hormati Bapak Rektor UPN "Veteran" Yogyakarta,
para tamu undangan, peserta seminar, dan hadirin yang berbahagia.**

Pertama-tama kami panjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan berkat dan rahmatNya maka pada pagi hari ini kita dapat berkumpul di sini untuk menyelenggarakan acara yang sangat penting bagi para Dosen dan Peneliti yaitu Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2009 UPN "Veteran" Yogyakarta, pada tanggal 28 Januari 2009.

Selanjutnya kami ucapkan selamat datang dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para hadirin, khususnya para peserta seminar dari luar kota yang dengan rela meninggalkan tugas, baik di lingkungan kerja maupun keluarga untuk menghadiri acara ini.

Seminar yang diselenggarakan saat ini adalah merupakan pelaksanaan seminar yang ke sembilan dan sudah dijadikan agenda tahunan bagi Jurusan Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta dengan Prosiding Nomor ISSN 1693-4393 dan mengambil tema *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*.

Para hadirin yang berbahagia, perlu kami informasikan bahwa pada kesempatan seminar kali ini, dari sejumlah 96 (sembilan puluh enam) buah abstrak makalah yang telah masuk, sebanyak 74 (tujuh puluh empat) buah makalah akan dipresentasikan. Ketujuh puluh empat makalah tersebut berasal dari kalangan Perguruan Tinggi (UGM, ITS, UNRI, ITENAS Bandung, ITN Malang, UNPAR Bandung, UBAYA, UKM Malaysia, ITB, UNDIP, UAD, AKPRIND, POLTEK MAKASSAR, STTN BATAN, BPPT, BAPETEN, BALAI BATIK Yogyakarta dan UPN "Veteran" Yogyakarta) dan lembaga penelitian (LIPI), adapun pemakalah terbanyak dari ITS Surabaya. Makalah tersebut kami distribusikan ke dalam 6 (enam) kelompok, yaitu kelompok (A) Perpindahan Massa dan Panas, (B) Teknologi dan Pengendalian Proses, (C) Teknologi Pemisahan, (D) Teknologi Pengolahan Limbah, (E) Energi Baru dan Terbarukan, dan (F) Peningkatan Kualitas Produk. Jika didistribusikan berdasarkan wilayah, maka peserta seminar ini berasal dari Propinsi DIY, Jawa Tengah, Jawa Barat, Jawa Timur, dan Riau. Diantara makalah yang masuk dan dianggap baik akan dmuat dalam jurnal jurusan Teknik Kimia "Eksergi"

Pada kesempatan ini kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. DR. Heri Susanto dan Bapak Ir. MA Hanafi yang berkenan untuk hadir pada acara ini sebagai pembicara kunci (*keynote speaker*), serta para sponsor yang telah memberikan dukungan hingga terselenggaranya acara ini. Kepada Bapak Rektor, kami ucapkan terima kasih atas perhatian dan kehadirannya pada acara Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2009 ini, dan selanjutnya kami mohon untuk berkenan membukanya.

Akhir kata, kami atas nama seluruh panitia pelaksana Seminar Nasional Teknik Kimia *Kejuangan* 2009 UPN "Veteran" Yogyakarta mohon maaf yang sebesar-besarnya jika selama persiapan sampai dengan penyelenggaraan seminar ini terdapat hal-hal yang kurang berkenan. Selanjutnya kami ucapkan selamat melaksanakan diskusi dan seminar, semoga apa yang telah kita laksanakan ini bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Yogyakarta, 28 Januari 2009

Ketua Panitia
ttd

Ir. Zubaidi Achmad, MT



REVIEWER

Reviewer pada Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2008 ini meliputi :

1. Prof. Dr. Ir. H. Supranto, SU (UPN "Veteran" Yogyakarta)
2. Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, PhD (UGM)
3. Prof. Ir. Suryo Purwono, MAsc, PhD (UGM)



F. Energi baru dan terbarukan

KODE	JUDUL MAKALAH	PEMAKALAH
F-01	Kajian Pemanfaatan Janggel Jagung Sebagai Sumber Energi PLTD Gasifikasi di Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut – Kalimantan Selatan	Sunu H Pranolo ¹ , Herri Susanto ¹ dan Ida Nurlaela ² ¹ Kelompok Keahlian Energi dan Sistem Pemroses Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesha 10, Bandung 40132 Fax. +62 22 250 1438 E-mail : herri@che.itb.ac.id ² PT Perkebunan Nusantara XIII (Persero) Kantor Perwakilan Jakarta Wisma Budi 1 st Floor, Jl. H.R. Rasuna Said Kav. C6, Jakarta
F-02	Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit Y dan ZSM-5	Didi Dwi Anggoro, Reska Damayanthi, dan Retno Martini Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNDIP Semarang Jln. Prof. Soedarto, SH., Tembalang – Semarang
F-03	PEMODELAN SEMI EMPIRIK PERSAMAAN KARAKTER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA	Tjukup Marnoto Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Yogyakarta JI SWK 104 Lingkar Utara Condongatur Yogyakarta telp. 0274 486889 E-mail : tjukup@gmail.com
F-04	Peranan Komponen Anorganik dalam Membran Nafion Sebagai Elektrolit Sel Bahan Bakar Hidrogen (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)	A. Mahreni, A.B. Mohamad, A.A.H. Kadhum, W.R.W Daud Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Bangi, Malaysia 43600 Email: mahreni_03@yahoo.com
F-05	PENINGKATAN PRODUKSI ENERGI TERBARUKAN GASBIO DAN MENGURANGI DEAD ZONE DALAM REAKTOR	Imam Syafril, Nonot Soewarno Laboratorium Proses Pemisahan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Kampus ITS Sukolilo Surabaya Telp. (031) 5961317 / (031) 599573
F-06	PEMANFAATAN DAUN JATI GUGUR DAN JERAMI UNTUK BIOARANG SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF	Sri Suhenry Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Yogyakarta JI SWK 104 Lingkar Utara Condongatur Yogyakarta telp. 0274 486889
F-07	Peningkatan Kadar Methane dengan Penambahan Effective Microorganism (EM) pada Produksi Biogas dari Limbah Padat Tapioka	G.A Mertahardianti dan S.R Juliastuti Pasca Sarjana Jurusan Teknik Kimia, FT Industri – ITS Jl. Arif Rahman Hakim, Keputih, Sukolilo Surabaya Telp. (031) 5946240 Fax. (031) 5999282 Email : mertahardianti@yahoo.co.id



Peranan Komponen Anorganik dalam Membran Nafion Sebagai Elektrolit Sel Bahan Bakar Hidrogen (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)

A. Mahreni, A.B. Mohamad, A.A.H. Kadhum, W.R.W Daud

Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Bangi, Malaysia 43600
Email: mahreni_03@yahoo.com

Abstract

Proton conductivity of Nafion membranes and series as well as perfluorosulfonic acid (PFSA) produced by Dow and Aciplex are strongly depend to the water content or water relative humidity on the membrane surface. At low relative humidity and high temperature condition, membrane dehydrated, membrane shrinking and the conductivity reduced dramatically. At high temperature and high relative humidity membrane swelling was occurred. Shrinking and swelling cause cell performance reduction. To overcome the problem, a hygroscopic and highly conductive component is introduced in the cluster of the Nafion polymer matrix. The aim of this study is prepared the nanocomposite membrane using Nafion-SiO₂-PWA mixture in a given composition. The performance of the composite membrane as electrolyte was examined by attaching electrode on both side of composite membrane electrolyte and placing them in a single PEMFC at 60-90°C temperature, 1-2 atm pressure, and 40-100% humidity. Transparent composite membrane was obtained at solvent evaporation temperature of 80°C, annealing temperature of 140°C and an annealing time 10 hour for PWA/TEOS ratio of 45/100 (w/w). The performance result of composite membrane in single PEMFC shows that at 100% humidity and temperature 60-90°C, the highest performance of 2.04 W is gained using Nafion membrane, while at 40% humidity and 60-90°C yielded maximum power performance of 2.66W for membrane NS15W. The result of data analysis and optimized polarization curve model shows that the mechanism of proton movement in the Nafion membrane followed the vehicular model, whereas in the composite membrane is close to the proton hopping model. The performance of the composite membrane Nafion-SiO₂-PWA is stable at low humidity operating at temperature 60-90°C. Since the humidity and operating temperature are low, the PEMFC using the nanocomposite membrane can be run with lower humidity and with higher power compared to a PEMFC using the pure Nafion membrane.

Keyword: PEMFC, nanokomposit, kondensasi kapiler, konduktivitas.

Pendahuluan

Pada saat ini sel bahan bakar hidrogen sedang menuju tahap komersialisasi. Beberapa hambatan dalam usaha memersiliasi PEMFC diantaranya katalis Pt/C pada suhu rendah sangat sensitif terhadap CO didalam gas hydrogen. Sehingga kandungan CO harus dibatasi <10 ppm. Kandungan CO <100 ppm menyebabkan PEMFC tidak bisa menggunakan hidrogen yang dihasilkan dari proses reforming secara langsung karena kandungan CO hasil proses reforming >200 ppm. Untuk menghasilkan hidrogen dengan kandungan CO <10 ppm, diperlukan satu tahap pemurnian menyebabkan harga penyediaan hidrogen sebagai bahan bakar PEMFC menjadi mahal. Hambatan yang kedua adalah membran Nafion yang selama ini masih tetap digunakan sebagai elektrolit PEMFC, sangat sensitif

terhadap kandungan air dan kelembaban dipermukaan membran. Pada kelembaban rendah dan suhu tinggi membran mengkerut (*shrinking*) dan konduktivitas turun dengan tajam. Pada kelembaban tinggi dan suhu tinggi, membran membengkak. Pengerutan dan pembengkakan membran dapat merusak sambungan antara permukaan membran-elektrod dan katalis akan terlepas dari permukaan elektrod menyebabkan kinerja sel menurun (Bijay, et al. 2007). Masalah katalis dalam penelitian ini tidak dibahas dan penelitian memfokuskan mengenai perbaikan membran Nafion agar supaya dapat digunakan sebagai elektrolit PEMFC pada suhu tinggi dan kelembaban rendah. Operasi sel pada suhu tinggi lebih menguntungkan untuk mempercepat reaksi dipermukaan katod dan anod dan meningkatkan efisiensi. Operasi sel pada suhu tinggi juga dapat meningkatkan ketahanan katalis

Nafion. Silanol juga berikatan secara elektrostatis dengan ion PWA ikatan hidrogen antara silanol dan gugus sulfonat dan ikatan elektrostatis antara silanol dan ion PWA menyebabkan interaksi diantara komponen organik dan anorganik berlangsung secara molekuler. Interaksi secara molekuler ini penting dan dapat mencegah terjadinya pemisahan fase organik diantara komponen-komponen yang bereaksi. Interaksi secara kimia merupakan persyaratan penting didalam pembuatan komposit untuk menghasilkan struktur yang homogen. Pemisahan fase menghasilkan struktur bahan komposit tidak homogen dan mengurangi kekuatan mekanik bahan. Berdasarkan mekanisme reaksi seperti yang ditampilkan oleh persamaan (1)-(3) dapat diramalkan bahwa membran komposit Nafion-SiO₂-PWA mempunyai struktur homogen kerana interaksi diantara komponen-komponen yang terlibat adalah ikatan kimia walaupun jenis ikatan hidrogen dan elektrostatis lebih lemah dibandingkan dengan ikatan kovalen. Interaksi secara ikatan kimia berlangsung pada peringkat molekuler sehingga pembentukan agregat dan pengendapan partikel anorganik dapat dihindarkan.

Parameter yang berpengaruh terhadap sifat fisika-kimia dan sifat elektrokimia membrane adalah: (i) Suhu penguapan pelarut, (ii) suhu dan waktu *annealing*, konsentrasi komponen anorganik dan (iv) metode sintesis. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan telah dilaporkan pada makalah sebelumnya, suhu penguapan pelarut terbaik dicapai pada suhu 80°C, waktu *annealing* 10 jam dan kandungan komponen terbaik dalam ratio Nafion: SiO₂:PWA = 1: 0.043: 0.017 (berat: berat).

Metodologi

Bahan: Larutan Nafion 5% berat (DuPont), Larutan TEOS 98% berat (Aldrich), (PWA, H₃PW₁₂O₄₀) 98% berat (Aldrich), (dymethylformamide, DMF) (Aldrich), H₂SO₄ 98% , larutan Hidrogen peroksid 30% berat (Aldrich) dan aquades, kertas karbon, Pt/C 20%, Iso prophyll alcohol (IPA), Vulcan XC 72 R dan PTFE 60%.

alat: Oven atmosferis, Oven Vakum, Pengaduk ultrasonik, petri dish, penekan panas (*hot press*), pisau kasting, sisten uji sel (Fuel cell test system, ARBIN FUEL CELL TEST SYSTEM).

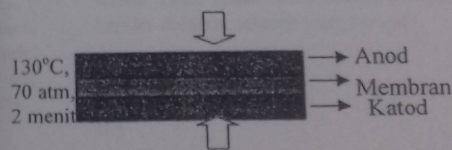
Sintesis membran komposit Nafion-SiO₂-PWA

Larutan Nafion diuapkan pada kondisi ruangan didalam lemari asam sampai semua pelarut menguap dan membentuk Nafion padat. Nafion padat dilarutkan kembali didalam pelarut DMF menghasilkan larutan Nafion 5% berat didalam DMF. Kedalam larutan ditambah dengan larutan (TEOS-methanol-air-PWA)

dengan ratio Nafion : SiO₂ : PWA = 1: 0.043: 0.017 (berat: berat). Larutan yang terdiri dari komponen organik dan anorganik diaduk dengan menggunakan pengaduk ultrasonik sampai larutan homogen. Untuk menghasilkan membran komposit dalam bentuk lapisan tipis, larutan diuapkan didalam oven pada suhu 80°C sampai semua pelarut menguap. Pemanasan dilanjutkan untuk menguatkan jaringan dan menyempurnakan reaksi diantara komponen organik dan anorganik, pada suhu 140°C dengan waktu divariansi (2, 4, 6, 8, 10, 13) jam sampai mendapatkan membran komposit dengan kenampakan transparan. Selanjutnya membran dicuci didalam larutan asam sulfat 0.5 M selama 1 jam kemudian didalam larutan peroksid 3 % berat selama 1 jam dan dibilas dengan air mendidih sampai air cucian netral (pH 6-7). Selanjutnya membran dianalisis menggunakan (*Scanning Electron Mycroscopy, SEM*), *Fourier Transform Infra Red, FTIR* dan *Transmission Electron Mycroscopy, TEM* untuk karakterisasi sifat fisika-kimia membran komposit yang dihasilkan.

Himpunan elektrod-membran (Membrane electrode assemblies, MEA)

Himpunan elektrod-membran dibuat dengan menyatukan mebran, anod dan katod. Katod dan anod dibuat dari logam Pt/C 20% dituang diatas permukaan kertas karbon dengan beban katalis 0.4 mg cm⁻². Membran diletakkan diantara anod dan katod kemudian ditekan menggunakan tekanan panas (*hotpress*) pada suhu 130°C dan tekanan 70 atm selama 2 menit untuk menghasilkan himpunan elektrod-membran (MEA). Gambar 2 menggambarkan fabrikasi himpunan elektrod-membran menggunakan *hotpress*.



Gambar 2. Himpunan elektrod-membran

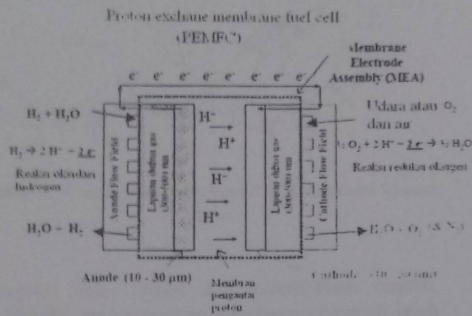
Uji sel tunggal PEMFC (Single cell test performance of PEMFC)

Himpunan elektrod-membran disatukan dengan plat dua kutub (*bipolar plate*), plat pengumpul arus (*current collector*) dan plat penutup (*end plate*) dengan susunan:

1. Plat penutup (*end plate*)
2. Pengumpul arus (*current collector*)
3. Plat dua kutub (*bipolar plate*)
4. Himpunan elektrod-membran (MEA)
5. Plat dua kutub (*bipolar plate*)

6. Pengumpul arus (*current collector*)
7. Plat penutup (*end plate*)

Diantara pengumpul arus di sisi anod dan katod dihubungkan oleh penghantar arus. Rangkaian sel tunggal PEMFC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sel tunggal PEMFC

Selanjutnya sel tunggal PEMFC diuji dengan alat uji satu system yang dilengkapi dengan alat kontrol kecepatan gas hydrogen dan udara, tekanan dan alat control suhu humidifikasi gas dan suhu sel. Voltase dan arus yang dihasilkan dicatat oleh satu set komputer. Suhu tes antara 30-90 °C dengan humiditas diatur pada 100% RH dan 40% RH. Data hasil uji FCTS (I-V) dioptimasi dengan satu model PEMFC untuk mendapatkan parameter sifat elektrokimia membran yaitu voltase circuit terbuka (E_0), hambatan internal (R), konstante flooding (γ) dan konstante fitting (ω). Model yang digunakan adalah model polarisasi untuk sistem sel tunggal PEMFC seperti yang ditampilkan dalam persamaan (4) (Baschuk, et al. 2000):

$$V = E_0 - b \ln \sigma_g(i) - R(i) - \gamma \exp(\omega i) \quad (4)$$

Konduktivitas membran dihitung berdasarkan persamaan empiris :

$$\sigma = \left(\frac{1}{R} \right) \left(\frac{l}{S} \right) \quad (5)$$

Hasil dan pembahasan

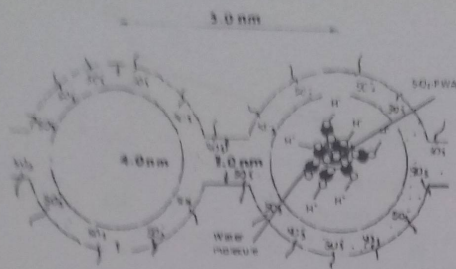
Sifat fisis dan kimia membran komposit Nafion-SiO₂-PWA

Sifat fisika-kimia membran telah ditulis didalam makalah sebelumnya. Hasil analisis SEM (*Scanning electron microscopy*) dan TEM (*Transmission electron microscopy*), membran komposit Nafion-SiO₂-PWA (NS15W) mempunyai struktur homogen, dengan ukuran partikel SiO₂ dan PWA rata-rata dibawah 10 nm. Nafion mempunyai struktur polimer yang terdiri dari rantai utama Polytetrafluoroethylene (PTFE) bersifat hidropobik dan rantai cabang perfluorovinylether yang ujungnya mengikat gugus sulfonat bersifat hidropilik. Gugus sulfonat didalam polimer membentuk satu kluster yang berukuran lebih kecil dari 10 nm. Ukuran kluster tergantung kepada kandungan air didalam membran. Makin tinggi kandungan air, ukuran kluster makin besar dan sebaliknya (Ramani, et al. 2005). Dengan diameter partikel lebih kecil dari 10 nm dapat diramalkan bahwa partikel berada didalam kluster Nafion. Kehadiran partikel SiO₂ dan PWA yang bersifat higroskopis dan PWA mempunyai konduktiviti proton tinggi pada suhu rendah menyebabkan membran tidak terdehidrasi apabila kelembaban air dipermukaan membrane rendah. Hal ini disebabkan partikel PWA dapat mengikat sejumlah air kristal. Sifat air kristal terikat kuat dengan partikel PWA. Air kristal didalam kluster Nafion juga dapat menjadi fasilitator lompatan perpindahan proton dari satu kluster ke kluster lainnya sehingga pada kelembaban rendah konduktivitas membran tetap tinggi. Kehadiran komponen SiO₂ dan PWA didalam kluster Nafion dapat menciptakan efek kondensasi kapiler seperti yang telah dijelaskan dalam laporan (Celestini, et al. 1997) menggunakan persamaan Klein. Teori Klein menjelaskan mengenai kondensasi kapiler didalam saluran yang sempit:

$$\ln \frac{P}{P^0} = \frac{4\tau V \cos \theta}{DRT} \quad (6)$$

Secara singkat teori Klein menjelaskan bahwa pada suatu kondisi tertentu air dapat mengembun pada tekanan dibawah tekanan uap jenuhnya ($P < P^0$). Kondisi yang sesuai untuk berlakunya kondensasi kapiler tergantung kepada sifat cairan dan diameter kapiler. Sifat cairan meliputi tegangan permukaan, volu molar dan sudut kontak cairan dengan permukaan. Hal perhitungan dengan menggunakan persamaan Klein, pada 40% RH atau tekanan uap air didalam kluster lebih ke dibandingkan tekanan uap jenuhnya pada suhu tersebut ($P=0.4 P^0$), dengan memperhitungkan sifat air didalam kluster Nafion, kondensasi air didalam kapiler dapat terjadi didalam kluster Nafion yang terisi oleh partikel SiO₂ dan PWA. Kondensasi kapiler yang terjadi didalam kluster Nafion dapat dilihat pada Gambar 4. Kondensasi kapiler akan dibuktikan oleh

komposit digunakan sebagai elektrolit didalam PEMFC.



Gambar 4. Komponen SiO₂ dan PWA didalam kluster Nafion

Pada kondisi suhu tinggi dan kelembaban rendah, kinerja PEMFC menggunakan membran komposit lebih tinggi dibandingkan dengan membran Nafion murni. Stabilitas kinerja membran komposit disebabkan karena konduktivitas membran komposit lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas membran Nafion pada suhu yang sama. Gambar 5 dan table 1 dibawah ini menampilkan kinerja PEMFC dengan menggunakan membran Nafion dan membran komposit sebagai elektrolit. Gambar 5.a menampilkan kinerja membran Nafion murni (N112) pada suhu 60-90°C pada kelembaban 100% RH dan Gambar 5.b menampilkan kinerja sel dengan membran N112 pada suhu yang sama dan kelembaban 40% RH. Pada kelembaban 100% RH, densitas arus yang dihasilkan makin tinggi apabila suhu naik dari 60°C - 90°C dan tenaga tertinggi dihasilkan pada kondisi suhu 90°C yaitu 2.04 wat lihat (Tabel 1). Tetapi pada kelembaban 40% RH pada daerah suhu yang sama 60°C-90°C, makim tinggi suhu, kinerja sel makin menurun dan tenaga paling kecil dihasilkan oleh sel pada suhu 90°C yaitu 0.5 watt (Tabel 1). Hal ini disebabkan karena pada kelembaban rendah, membran Nafion murni terdehidrasi dan membran mengkerut. Pengerutan membran meningkatkan hambatan perpindahan proton dari satu kluster ke kluster berikutnya sehingga konduktivitas proton dan kinerja sel turun. Makin tinggi suhu, dehidrasi membran makin cepat dan kinerja sel makin menurun, lihat Gambar 5.b. Kinerja sel tunggal PEMFC menggunakan membran komposit sebagai elektrolit ditunjukkan oleh Gambar 5 (c) dan 5. (d). Gambar 5 (c) menunjukkan kinerja sel pada kelembaban 100% RH. Gambar 5 (c) menunjukkan apabila suhu operasi naik, kinerja sel semakin tinggi dan tenaga tertinggi dicapai pada suhu 90°C. Kinerja sel pada suhu yang sama dan kelembaban

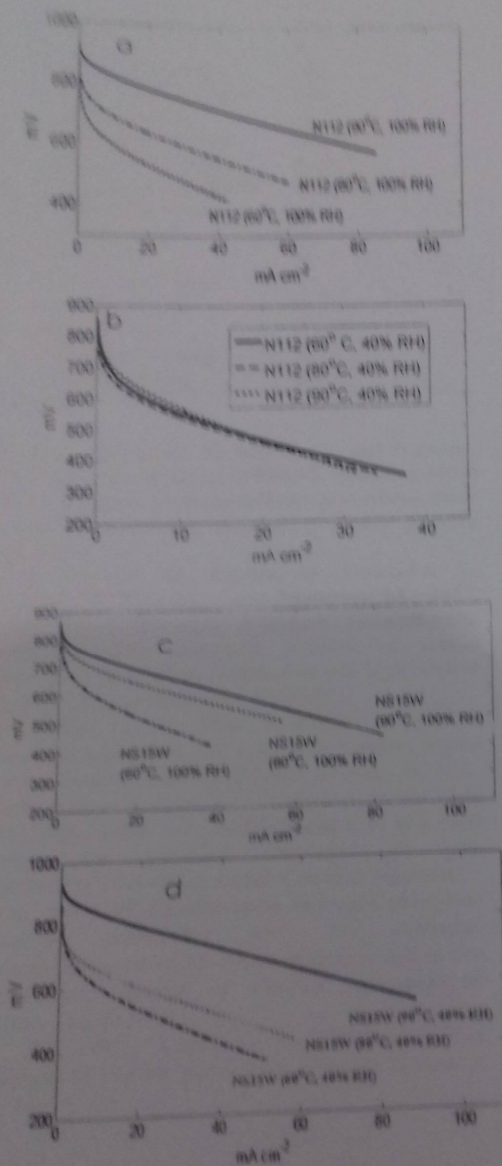
rendah ditampilkan oleh Gambar 5 (d). Gambar 5 (d) menunjukkan apabila suhu operasi naik, kinerja sel semakin baik dan tenaga paling tinggi dicapai pada suhu 90°C. Dari Gambar 5.(c) dan 5.(d) membuktikan bahwa penurunan humiditas dipermukaan membran tidak mempengaruhi kinerja membran dan kinerja sel tetap tinggi. Seperti telah dijelaskan didalam persamaan Klein, didalam membran komposit Nafion-SiO₂-PWA, komponen SiO₂ dan PWA yang berukuran dibawah 10 nm diramalkan berada didalam kluster Nafion. Kehadiran komponen yang bersifat higroskopis dan mempunyai konduktivitas proton tinggi menimbulkan dua efek yaitu efek kondensasi kapiler dan efek lompatan proton (*proton hopping*) dari satu molekul air ke molekul air lainnya yang terikat sebagai air Kristal didalam kluster. Efek kondensasi kapiler menyebabkan air terkondensasi pada kelembaban rendah dan dapat mempertahankan membran tetap basah dan konduktivitas tidak menurun. Dengan demikian kinerja sel tetap tinggi.

Tabel 1. Konduktivitas proton, tahanan dalam dan tenaga maksimal sel tunggal PEMFC menggunakan membran Nafion (N112) dan membran komposit (NS15W)

Membran	Kondisi operasi		Tahanan dalam ($\Omega \text{ cm}^2$)	σ (S cm^{-1}) 10^2	Pmax (wat)
	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban (% RH)			
N112	60	100	2.50	2.79	0.83
N112	80	100	2.30	3.03	1.42
N112	90	100	2.10	3.33	2.04
NS15W	60	100	3.03	2.31	0.82
NS15W	80	100	2.50	2.97	1.24
NS15W	90	100	2.13	3.29	1.75
N112	60	40	4.21	1.66	0.63
N112	80	40	4.56	1.53	0.51
N112	90	40	6.01	1.16	0.5
NS15W	60	40	3.15	2.22	1.0
NS15W	80	40	2.85	2.37	1.2
NS15W	90	40	2.45	2.85	2.6

Gambar 5 (a) dan 5.(b) dan Tabel 1 menunjukkan bahwa konduktivitas proton membran Nafion sangat tergantung kepada kelembaban air dipermukaan membran (%RH) sesuai dengan model perpindahan proton (*vehicular model*). Gambar 5 (c) dan Gambar 5 (d) menunjukkan bahwa konduktivitas proton membrane komposit Nafion-SiO₂-PWA tidak terpengaruh oleh kelembaban dipermukaan membran sesuai dengan model perpindahan lompatan proton (*proton hopping*) (Ramani, et al. 2005) dan (Kreuer 1997).

kelembaban 100% RH dan (d) membran komposit pada kelembaban 40% RH.



Gambar 5. Kinerja sel tunggal PEMFC pada suhu 60-90°C menggunakan elektrolit. (a) membran Nafion murni (N112) pada kelembaban 100% RH, (b) membran N112 pada kelembaban 40% RH, (c) membran komposit NS15W pada

Kesimpulan

Membran komposit telah disintesis dengan metode sol-gel fase larutan. Metode sol-gel fase larutan merupakan metode baru didalam sintesis membran komposit untuk memperbaiki metode sol-gel dispersi dan impregnasi. Hasil analisis menggunakan SEM dan TEM, terbukti dapat memperbaiki struktur komposit dari mikrokomposit menjadi nanokomposit. Ukuran partikel SiO_2 dan PWA rata-rata dibawah 10 nm sehingga penambahan komponen PWA sebagai (*conductivity enhancer*) sangat efektif. Hal ini dibuktikan oleh hasil analisis FCTS, terhadap membran komposit NS15W dengan ratio Nafion: SiO_2 :PWA (1: 0.0432: 0.0173) dapat meningkatkan tenaga sel PEMFC pada suhu 90°C dan kelembaban 40% RH hampir 4 kali lipat dibandingkan dengan membran Nafion murni. Dengan demikian membran komposit Nafion- SiO_2 -PWA dapat menggantikan membran Nafion untuk digunakan sebagai elektrolit pada kondisi suhu 60-90°C dan kelembaban rendah dengan menghasilkan tenaga lebih tinggi dibandingkan dengan membran Nafion murni. Fenomena fisik yang melatar belakangi peningkatan kinerja membran adalah efek kondensasi kapiler yang menyebabkan perubahan mekanisme perpindahan proton dari model perpindahan *vehicular* ke model *proton hopping* sehingga konduktivitas proton melalui membran komposit tidak banyak dipengaruhi oleh kelembaban air dipermukaan membran.

Daftar Notasi

P	Tekanan	atm
T	Suhu	°C
R	Konstante gas	Atm liter mol ⁻¹ K ⁻¹
P ^o	Tekanan uap jenuh	atm
V	Volume Molar molekul	liter
D	Diameter kapiler	m
τ	Tegangan permukaan	N m ⁻²
σ	Konduktivitas proton	S cm ⁻¹
R	Tahan dalam sel PEMFC	Ohm cm ⁻²
S	Luas kontak membran	m ²
l	Tebal membran	m
V	Voltase sel	V
E _o	Voltase open circuit	V
b	Konstante Tafel	V
i	Densitas arus	A cm ⁻²
γ	Konstante flooding	V
ω	Konstante fitting	cm ² A ⁻¹

Daftar pustaka

- Demian, K.T., Srinivasan, S., Benziger J. and Bocarsly, A.B., 2002., Investigation of PEMFC operation above 100 C employing perfluorosulfonic acid silicon oxide composite membranes, *Journal of Power Sources*, 109, 356.
- Alberti, G., Casciola, M., Capitán, D., Donnadio, A., Narducci, R., Pica M., and Sganappa, M., 2007, Novel Nafion-zirconium phosphate nanocomposite membranes with enhanced stability of proton conductivity at medium temperature and high relative humidity., *Electrochim Acta*, 52, 8125.
- Baschuk J.J. and Li, X., 2000., Modelling of polymer electrolyte membrane fuel cells with variable degree of water flooding, *Journal of Power Sources*, 86, 181.
- Bhure, M.H., Kumar, I., Natu, A.D., Chikate R.C. and Rode C.V., 2008., Silica with modified acid sites as a solid catalyst for selective cleavage of tert-butyl dimethylsilyl ethers, *Catal. Commun. (impress)*.
- Bijay, D.N., 2007, SPEEK-zirconium hydrogen phosphate composite membranes with low methanol permeability prepared by electro-migration and in situ precipitation, *Journal of Colloid and interface science.*, 316, 612-621.
- Celistini, F., 1997., Capillary condensation within nanopores of various geometries., *Physics Letters. A* 228, 84.
- Haebold, H.G., Vad, T.H., Jungbluth H. and Hiller, P., 2001., Nano structure of Nafion a SAXS study, *Electrochim Acta.*, 46, 1559.
- Klein L.C, Daiko Y, Apparicio M, Damag F. 2005. Method for modifying proton exchange membrane using the sol-gel process. *Journal of polymer* 46: 4504-4509.
- Kreuer K.D. 1997. On the development on proton conducting materials for technological applications. *Journal of solid state ionic* 97: 1-15.
- Mahreni., A. Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., Daud, W. R. W. and Iyuke, S. E., 2008. Nafion/silicon oxide/phosphotungstic acid nanocomposite membrane with enhanced proton conductivity, available online on 7 November in *Journal of Membrane science*.
- Ramani, V., Kunz, H.R. and Fenton, J.M., 2005., Effect of particle size reduction on the conductivity of Nafion/phosphotungstic acid composite membranes, *Journal of Membrane Sci.*, 266, 110.
- Staiti, P., Arico, A.S., Baglio, V., Lufrano, F., Passalacqua E. and Antonucci, V., 2001., Hybrid Nafion-silica membranes doped with heteropolyacids for application in direct methanol fuel cells., *Solid State Ionics*, 145, 101.