

Pengaruh Bahan Bakar Terhadap Arus dan Tegangan yang Dihasilkan oleh *Polymer Electrolite Membrane Fuel Cell* yang Terintegrasi dengan Gasifier Sampah Organik

Ucik Ika Fenti Styana¹⁾, Nurul Muyasaroh²⁾, Muhammad Sigit Cahyono³⁾

^{1,2)} Staf Pengajar Program Studi Teknik Energi, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Yogyakarta

³⁾ Staf Pengajar Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45

Corresponding author. email: ucik_energi@ity.ac.id

Abstrak

Saat ini, kebutuhan bahan bakar fosil semakin meningkat dan ketersediannya semakin menipis. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan bakar alternatif seperti Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). Teknologi ini mampu mengkonversi hidrogen yang dihasilkan dari biomasa melalui proses gasifikasi, menjadi sumber energi listrik. Akan tetapi, kinerja PEMFC sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kualitas bahan bakar yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kualitas bahan bakar terhadap kinerja PEMFC yang terintegrasi dengan Fixed Bed Updraft Gasifier. Bahan baku yang digunakan pada proses gasifikasi adalah biomasa berupa tempurung kelapa yang diproses di dalam gasifier menghasilkan syn gas, untuk kemudian dimasukkan ke dalam PEMFC dengan variabel syn gas yang dimurnikan maupun tanpa pemurnian, serta hidrogen murni sebagai kontrol. Peralatan yang digunakan adalah satu set alat Fixed Bed Updraft Gasifier yang diintegrasikan dengan PEMFC. Tahap awal pengujian adalah proses gasifikasi tempurung kelapa di dalam gasifier menghasilkan syn gas yang akan langsung ditampung di dalam gas holder. Pengujian berikutnya dilakukan dengan cara yang sama, tetapi syn gas tersebut kemudian dimurnikan melalui satu set peralatan cyclone, filter, scrubber, dan condensor. Produk syn gas tersebut kemudian dimasukkan ke dalam PEMFC dengan pompa serta adanya penambahan oksigen menggunakan blower. Sebagai kontrol, dilakukan pengujian menggunakan hidrogen murni sebagai bahan baku PEMFC dengan laju alir 2,5 liter/menit dan tekanan gas 2 kg/cm². Analisa dilakukan dengan indikator arus dan tegangan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari Fuel Cell. Hasil penelitian menunjukkan bahwa syn gas hasil gasifikasi dapat digunakan sebagai bahan bakar PEMFC, namun arus dan tegangan yang dihasilkan sangat kecil. Untuk syn gas hasil pemurnian, arus yang dihasilkan sebesar 0,1 Ampere dan Tegangan 1 Volt dan lampu indikator bisa menyala agak redup. Hasil ini berbeda dengan pengujian menggunakan bahan bakar gas hidrogen murni, dimana mampu menghasilkan arus sebesar 1,4 Ampere dan tegangan 7 volt, serta lampu indikator bisa menyala dengan terang. Sementara untuk syn gas tanpa pemurnian, arus dan tegangan yang dihasilkan sangat kecil sehingga tidak terbaca oleh indikator.

Kata kunci : Proton Exchange Membrane Fuel Cell, Fixed-Bed Updraft Gasifier, Syn Gas, Hidrogen, Listrik

Abstrack

Alternative fuels such as the Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). This technology is able to convert hydrogen produced from biomass through a gasification process, into a source of electrical energy. However, PEMFC's performance is strongly influenced by several factors, including the quality of the fuel used. The purpose of this study was to determine the effect of fuel quality on PEMFC performance integrated with the Fixed Bed Updraft Gasifier. The raw material used in the gasification process is biomass in the form of a coconut shell which is processed in the gasifier to produce syn gas, to then be incorporated into PEMFC with a variable syn gas that is purified or without purification, and pure hydrogen as a control. The equipment used is a set of Fixed Bed Updraft Gasifier tools that are integrated with PEMFC. The initial stage of testing is the process of gasification of the coconut shell in the gasifier to produce syn gas which will be directly accommodated in the gas holder. Subsequent tests were carried out in the same way, but the syn gas was then purified through a set of cyclone equipment, filters, scrubbers, and condensers. The syn gas product is then put into PEMFC with a pump and the addition of oxygen using a blower. As a control, testing was conducted using pure hydrogen as PEMFC raw material with a flow rate of 2.5 liters / minute and a gas pressure of 2 kg / cm². Analysis is carried out with current and voltage indicators to determine the power generated from the Fuel Cell. The results showed that the syn gas produced from gasification can be used as PEMFC fuel, but the current and voltage produced are very small. For syn gas purification results, the resulting current is 0.1 Ampere and 1 Volt Voltage and the indicator light can be lit somewhat dimly. This result is different from testing using pure hydrogen gas fuel, which is able to produce a current of 1.4 Amperes and a voltage of 7 volts, and the indicator lights can be lit brightly. While for syn gas without purification, the current and voltage produced are so small that they cannot be read by indicators.

Keywords: Proton Exchange Membrane Fuel Cell, Fixed-Bed Updraft Gasifier, Syn Gas, Hydrogen, Electricity

I. Pendahuluan

Sistem Pembangkit Listrik Fuel Cell (FC) adalah suatu bentuk sistem energi terbarukan yang tidak menghasilkan zat polutan, karena prinsip pembangkit jenis ini adalah elektrokimia, menggunakan hidrogen sebagai bahan reaktan dan oksigen sebagai oksidan. Sistem Pembangkit Listrik Fuel Cell umumnya memberikan keluaran listrik arus searah (DC) dari hasil reaksi H_2 dan O_2 . Pembangkit ini termasuk ramah lingkungan karena hanya menimbulkan panas dan air sebagai sisa reaksinya. Sisa reaksi ini dapat bermanfaat dan dapat pula menurunkan kinerja fuel cell secara keseluruhan. Air sisa reaksi dapat melembabkan membran namun membran juga tidak diperbolehkan menjadi terlalu basah, terlalu kering, ataupun terlalu panas karena jika uap air maupun panas berlebih maka arus listrik yang dihasilkan juga akan berkurang (Chandrasa, G.T., 2009)

Sel bahan bakar atau fuel cell merupakan jenis bahan bakar alternatif yang prospektif di masa depan. *Fuel cell* direkomendasikan sebagai salah satu energi alternatif untuk kegiatan transportasi dan penghasil listrik. Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan *fuel cell* di dunia semakin menarik karena sifatnya yang aman dan menghasilkan efisiensi yang tinggi (J. Larminie, A.L. Dicks.2000). *Fuel cell* dapat dikelompokkan berdasarkan karakteristik elektrolit dan suhu operasinya, yaitu Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC), Solid Oxide Fuel Cell (SOFC), Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC), dan Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) (Raharjo, J., Dedikarni, Wan, D. dan Wan, R. 2007)

Jenis fuel cell yang paling efektif digunakan adalah PEMFC, karena operasionalnya yang mudah yaitu menggunakan membran elektrolit untuk menghindari korosi, efisiensinya cukup tinggi, bebas polusi, dan dapat dioperasikan pada temperatur rendah. Beberapa faktor yang mempengaruhi kehandalan PEMFC di antaranya karakteristik material penyusun, kondisi operasi (kelembaban, temperatur, getaran), metode operasi (tunak dan start-stop), serta rancangan stack PEMFC. Faktor lain yang penting untuk diperhatikan adalah jenis bahan bakar yang masuk ke dalam sel. Sebisa mungkin bahan yang digunakan adalah bahan bakar yang didapatkan dengan cara mudah dan murah. Selama ini bahan bakar PEMFC adalah hidrogen yang didapatkan dari sumber energi fosil yang jumlahnya terbatas dan tidak dapat diperharui. Perlu alternatif bahan yang

ramah lingkungan, misalnya gas hidrogen dari *syn gas* yang dihasilkan oleh proses gasifikasi biomasa.

Hidrogen adalah bahan bakar terbarukan paling elektroaktif dan ramah lingkungan untuk semua jenis mesin. Ketersediaan hidrogen merupakan faktor yang menentukan perkembangan dan komersialisasi PEMFC. Oleh karena itu kajian mengenai teknologi produksi hidrogen yang efisien dan ekonomis sangat diperlukan.

Hidrogen dari bahan bakar fosil sampai saat ini mensuplai sebagian besar kebutuhan hidrogen. Setengah dari seluruh produksi hidrogen pada saat ini menggunakan bahan baku fosil melalui proses termokatalis dan gasifikasi dan hanya 4% saja yang menggunakan bahan baku air secara elektrolisis. Konsumsi hidrogen terbesar untuk membuat ammonia (49%), untuk pemurnian minyak bumi (37%), untuk memproduksi metanol (8%) dan untuk lainnya (6%). Rencana di masa yang akan datang hidrogen digunakan sebagai bahan bakar mesin transportasi dan menggunakan PEMFC sebagai mesin yang mempunyai efisiensi tiga kali lebih besar dibandingkan dengan mesin konvensional.

Hidrogen dari biomasa mendapatkan perhatian yang paling besar. Metode produksi hidrogen dari biomasa meliputi metode biologi dan secara kimia. Metode lain yang cukup prospektif dikembangkan adalah gasifikasi biomasa. Gasifikasi merupakan teknologi konversi biomasa menjadi bahan bakar gas atau synthesis gas. *Syn gas* adalah gas campuran H_2 dan CO serta bahan lainnya yang dihasilkan dari proses gasifikasi biomasa.

Gas hasil gasifikasi biomasa terdiri dari H_2 , CO, CH_4 , N_2 , CO_2 , O_2 , dan tar (karbon cair). Tar sangat susah dipisahkan dari *syngas*. Kandungan tar tergantung temperatur dan tipe reaktor. Tipe reaktor yang biasa digunakan untuk proses gasifikasi adalah reaktor *fixed bed*, *fluidized bed*, dan reaktor bentuk lain. Semua jenis reaktor memerlukan alat pembersih gas (gas cleaning). Uap air (steam) ditambahkan ke dalam water gas shift untuk mengkonversi $CO + H_2O$ menjadi CO_2 dan H_2 .

Teknologi pembuatan *syn gas* sebenarnya sudah umum dan bisa dikembangkan dengan mudah, melalui alat yang disebut dengan gasifier. Gasifier merupakan instrumen yang dapat mengkonversi bahan padat maupun cair menjadi *syn gas*. Gasifier merupakan reaktor dimana berbagai proses kimia dan fisika yang kompleks bisa terjadi, seperti pengeringan, pirolisis, oksidasi parsial, dan reduksi. Melalui gasifikasi, bahan padat karbonat

dipecah menjadi bahan-bahan dasar seperti H₂, CO, CO₂, H₂O dan CH₄ (Purwantana, B.2007).

Adanya berbagai jenis gas dalam *syn gas* bisa berdampak buruk terhadap kinerja PEMFC, karena tidak semua gas dibutuhkan untuk proses pembangkitan listrik. Beberapa gas berpotensi merusak PEMFC sehingga perlu dipisahkan dari input gas yang masuk ke dalam sel. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kualitas gas yang digunakan sebagai bahan bakar PEMFC, yang diintegrasikan dengan gasifier bahan organik. Hal ini sangat penting agar bisa dijadikan dasar dalam perancangan teknologi integrasi PEMFC dengan gasifier, yang potensinya sangat besar di Indonesia. Penelitian tentang Fuel Cell ini merupakan penelitian dasar yang dilakukan oleh peneliti sebagai dosen pemula, dan merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang difokuskan pada produksi hidrogen melalui proses gasifikasi. Harapannya kedepan bisa dikembangkan

lagi penelitian yang mengarah pada produksi energi baru terbarukan yang efisien dan ramah lingkungan.

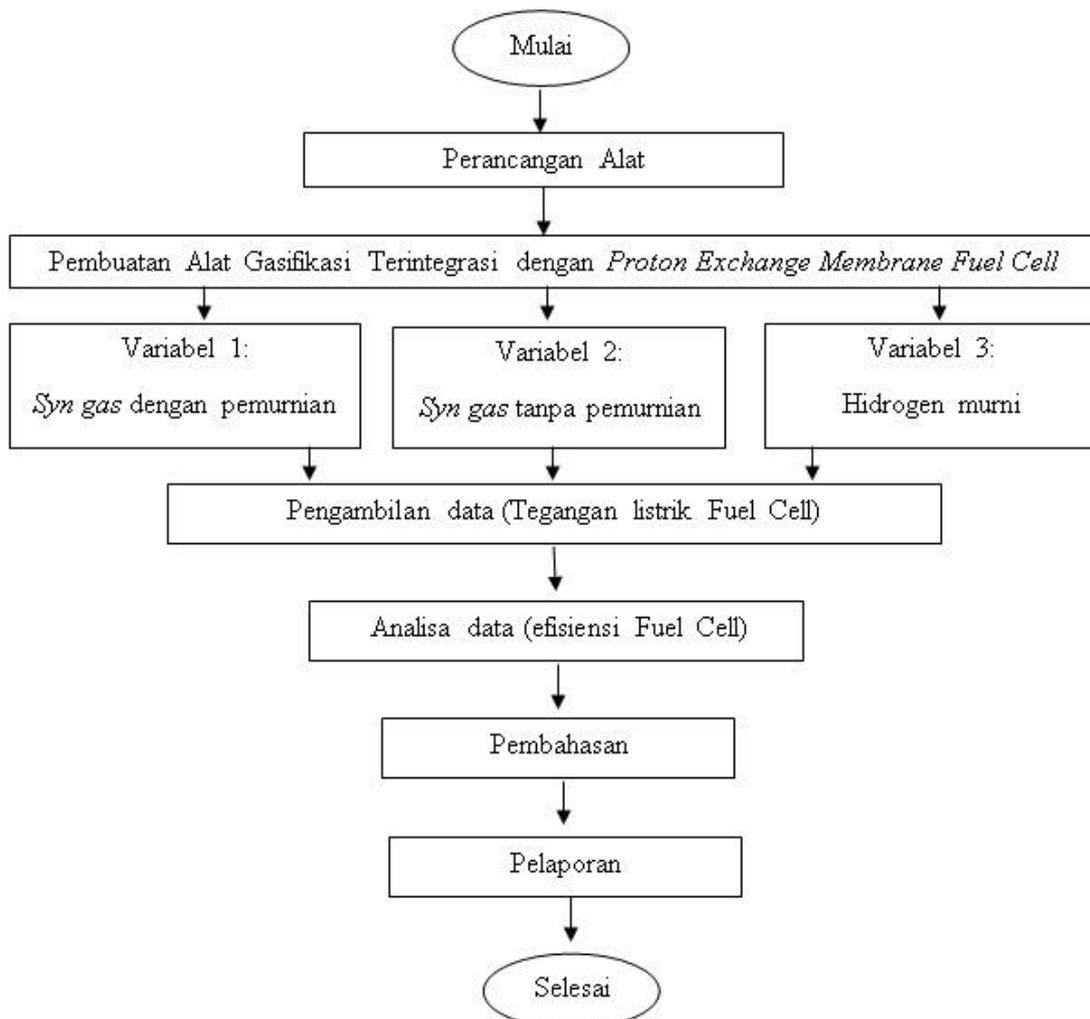
II. Metodologi

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tempurung kelapa yang didapatkan dari penjual kelapa di Pasar Kranggan, Kota Yogyakarta. Bahan baku tersebut sebelum digunakan, dikeringkan terlebih dahulu dengan cara dijemur di terik matahari selama satu hari. Setelah kering, sebagian bahan diambil untuk dianalisa kandungan *proximate*, sedangkan sisanya diproses gasifikasi.

2.2 Metode Penelitian

Tahapan penelitian “Pengaruh Kualitas Bahan Bakar terhadap Kinerja *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)* yang Terintegrasi dengan Gasifier Sampah Organik” ini ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan dan Pembuatan Alat
 - Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah reaktor gasifikasi tipe *Fixed-bed updraft gasifier* berkapasitas 5 kg yang ada di laboratorium Bioenergi Institut Teknologi Yogyakarta. Alat ini akan dimodifikasi dengan penambahan filter, scrubber, dan condensor untuk memisahkan hidrogen yang ada di syn gas dari bahan lainnya, serta gas holder untuk menampung hidrogen dan gas-gas tersebut.
 - Peralatan lain yang digunakan adalah Prototipe *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)* berupa 5 cell PEMFC, yang tersusun dari endplate (plastik, GasHub Co.), current collector (plate Cu, GasHub Co.), bipolar plate sebagai separator (Grafit, GasHub Co.), gasket (silikon), serta MEA (membrane electrode assembly). MEA yang digunakan dimanufaktur dengan menyusun elektroda dan membran dengan cara hotpress. Elektroda yang digunakan adalah carbon paper (GasHub Co), diolesi dengan tinta katalis Pt/C dengan loading 0.5 mg/cm². Membran yang dipakai adalah Nafion 50 μm (NRE 212, DuPont) [5].
2. Pengujian reaktor gasifikasi
 - Proses gasifikasi diawali dengan memasukkan bahan baku tempurung kelapa yang sudah seragam ukuran dan kadar airnya ke dalam reaktor gasifikasi.
 - Selama di dalam gasifier, tempurung kelapa akan mengalami proses pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduksi membentuk H₂, CO, CO₂, CH₄, dan gas-gas lainnya, meninggalkan abu yang akan tertahan di dalam reaktor. Gas tersebut akan keluar dari pipa di ujung atas gasifier dan mengalami pemurnian di dalam rangkaian alat purifikasi yaitu siklon, kondensor, filter, dan scrubber. Gas-gas tersebut kemudian ditampung dalam gas holder sebelum digunakan sebagai bahan fuel cell.
 - Selama proses gasifikasi, dilakukan pencatatan suhu reaktor, waktu proses, dan kandungan syn gas yang dihasilkan sebelum maupun sesudah pemurnian.
3. Pengujian alat *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*

- Pengujian performa fuel cell dilakukan dengan inlet bahan baku 0,5 L/min, dan inlet oksigen dengan menggunakan pompa udara. Tekanan yang digunakan adalah 4 psi. (Dewi, E.L., dkk. 2008)
- Penyusunan single cell dilakukan dengan seri sehingga mendapatkan potensial dan daya yang lebih besar.
- Pengujian fuel cell akan dianalisa dengan Prodigit 3311D discharge analyzer, dimana akan dihasilkan data berupa potensial, arus, daya, dan kerapatan arus hasil dari Fuel Cell.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Jenis Bahan terhadap Suhu Reaktor

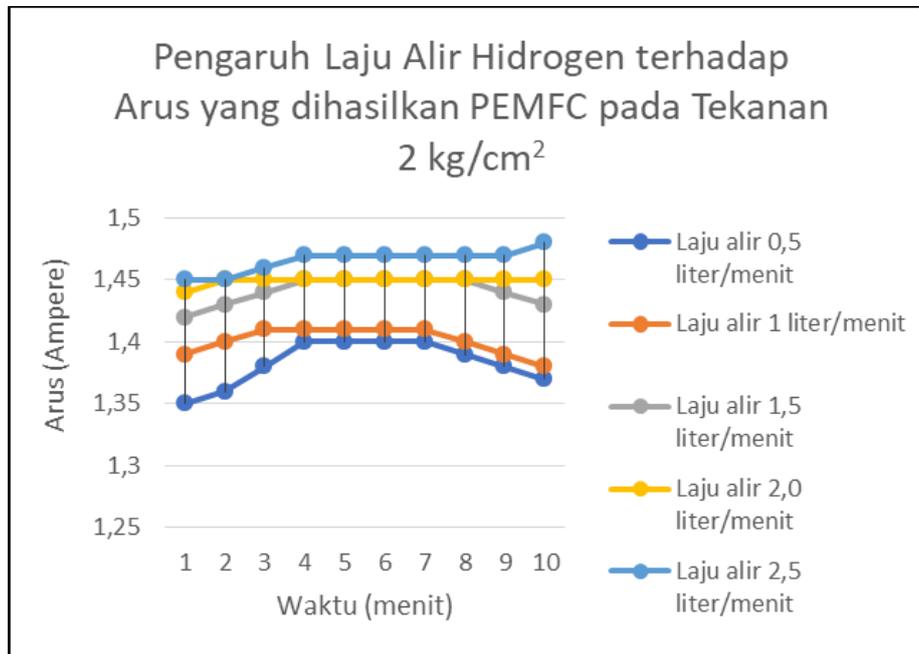
Gas yang digunakan untuk bahan bakar PEMFC di variasikan dengan menambah tekanan menjadi 2 kg/cm², baik gas sintetik maupun gas hidrogen. Pada penambahan tekanan gas, dihasilkan 2 grafik seperti yang di sajikan pada gambar-gambar di bawah ini.

- a. Grafik pengaruh laju alir gas sintetik terhadap tegangan yang dihasilkan PEMFC pada tekanan 2 kg/cm².

Penelitian menggunakan bahan bakar gas sintetik untuk PEMFC pada variasi tekanan gas 2 kg/cm² disajikan pada gambar 2 berikut. Gambar 2. Pengaruh laju alir gas sintetik terhadap tegangan yang dihasilkan PEMFC pada tekanan 2 kg/cm². Gambar 2 menunjukkan bahwa sintetik gas belum pada tekanan 2 kg/cm² masih belum memberikan pengaruh terhadap penambahan tegangan, arus, nyala kipas PEMFC maupun pada nyala lampu rangkaian PEMFC. Pada variasi laju alir keluaran gas yang di variasikan pun belum memberikan pengaruh terhadap penambahan tegangan, arus, nyala kipas PEMFC maupun pada nyala lampu rangkaian PEMFC. Penambahan waktu juga belum memberikan perubahan pengaruh terhadap penambahan tegangan, arus, nyala kipas PEMFC maupun pada nyala lampu rangkaian PEMFC.
- b. Grafik pengaruh laju alir gas hidrogen terhadap arus yang dihasilkan PEMFC pada tekanan 2 kg/cm².

Penggunaan Bahan bakar gas hidrogen pada PEMFC dengan penambahan variasi tekanan

gas sebesar 2 kg/cm² ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Laju Alir Hidrogen terhadap Arus yang dihasilkan PEMFC pada Tekanan 2 kg/cm²

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada percobaan perlakuan uji PEMFC dengan beberapa variasi inlet laju alir hidrogen ini, didapatkan hasil bahwa semakin bertambah inlet yaitu dalam hal ini laju alir gas hidrogen maka semakin bertambah nilai tegangan, arus serta daya yang dihasilkan. Lamanya waktu pengujian mem-pengaruhi bertambahnya keluaran yang dihasilkan, waktu pengujian bertambah maka semakin bertam-bah kondisi stabilnya tegangan yang dihasilkan, secara otomatis akan diikuti oleh bertambahnya arus dan daya yang dihasilkan.
2. Sementara pengujian menggunakan syn gas sebagai bahan bakar, hanya menghasilkan arus dan tegangan yang kecil, yaitu 1 V dan 0,1 A.

V. Daftar Pustaka

Chandrasa, G.T., 2009. *Penelitian Pengaruh Pengontrol Panas Terhadap Daya Keluaran Stack Fuel Cell Pem Dengan Beban Dinamis*. Jurnal Ilmiah Teknologi Energi Vol. 1 No. 9 Agustus 2009: 22-39.

J. Larminie, A.L. Dicks. 2000. *Fuel Cell Systems Explained*, Wiley, New York, 308.

Raharjo, J., Dedikarni, Wan, D. dan Wan, R. 2007. *Perkembangan Teknologi Material pada Sel Bahan Bakar Padat Suhu Operasi Menengah*, Indonesian Journal of Material Science, 10, 28-34

Purwantana, B. 2007. *Pengembangan Gasifier untuk Gasifikasi Limbah Padat Pati Aren (Arenga Pinnata Wurmb)*. Agritech, Vol.27 No. 03

Eniya L. Dewi. 2008. *A Key of Good MEA Preparation Methods and Single Stack Proton Exchange Membrane Fuel Cell Test Using Hydrogen as Fuel*. Procc. Sriwijaya International Seminar on Energy Science and Technology, FC08, 42.

Dewi, E.,L., dkk. 2008. *Pengembangan dan Aplikasi Fuel Cell*. Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Mesin. A51-A54