



PROGRAM KREATIVITAS MAHASISWA

MINIATUR *POWER SUPPLY* SKALA KOMERSIAL DENGAN TEKNOLOGI *MICROFLUIDIC FUEL CELLS* UNTUK DAERAH PEDESAAN

BIDANG KEGIATAN :
PKM-GT

Diusulkan oleh:

Ketua	:	Esa Ghanim Fadhallah	C34080063	(2008)
Anggota	:	Siska Warsiyaningsih	C34080018	(2008)
		Aninta Saraswati	C34080038	(2008)

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2011



HALAMAN PENGESAHAN

1. **Judul Kegiatan** : Miniatur *Power Supply* Skala Komersial dengan Teknologi *Microfluidic Fuel Cells* untuk Daerah Pedesaan
2. **Bidang Kegiatan** : PKM-GT
3. **Bidang Ilmu** : Teknologi dan Rekayasa
4. **Ketua Pelaksana Kegiatan**
 - a. Nama Lengkap : Esa Ghanim Fadhallah
 - b. NIM : C34080063
 - c. Jurusan : Teknologi Hasil Perairan
 - d. Universitas : Institut Pertanian Bogor
 - e. Alamat Rumah : Perumahan Ciomas Permai D1/11. Bogor
 - f. No Hp. : 0856 8311 407
 - g. Alamat E-mail : dark_dragon416@yahoo.com
2. **Anggota Pelaksana Kegiatan** : 2 orang
3. **Dosen Pendamping**
 - a. Nama Lengkap dan Gelar : Bambang Riyanto, S.Pi., M.Si.
 - b. NIP : 196906031998021001
 - c. Alamat Rumah : Taman Yasmin, Jl. Katelia III/23, Bogor
 - d. No. Tel/Hp : 0812 8022 114

Bogor, 8 Maret 2011

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknologi Hasil Perairan Ketua Pelaksana Kegiatan

(Dr. Ir. Ruddy Suwandi, MS., M.Phil.)
NIP. 1958 0511 1985 031002

(Esa Ghanim Fadhallah)
NIM. C34080063

Wakil Rektor
Bidang Akademik dan Kemahasiswaan

Dosen Pendamping

(Prof.Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, MS.)
NIP. 1958 1228 19850 31003

(Bambang Riyanto, S.Pi., M.Si)
NIP. 1969 0603 19980 21001



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan karya tulis ini dengan baik. Karya tulis ini mengambil judul “Miniatur *Power Supply* Skala Komersial dengan Teknologi *Microfluidic Fuel Cells* untuk Daerah Pedesaan”. Kami berharap tulisan ini dapat memberikan suatu inspirasi dan gagasan baru dalam penerapan sumber energi terbarukan yang praktis untuk dapat dikembangkan di daerah pedesaan serta dapat memanfaatkan sumber potensi yang ada pada masing-masing daerah itu sendiri.

Kami mengucapkan terimakasih kepada Bapak Bambang Riyanto, S.Pi, M.Si. yang telah banyak mengarahkan, membimbing, dan memberikan banyak masukan serta inspirasinya untuk dapat menyelesaikan tulisan ini dengan baik.

Akhir kata, kami ucapkan terimakasih kepada pihak DIKTI yang telah memberikan kesempatan dan memfasilitasi kami untuk menuangkan ide-ide kreatif ke dalam suatu tulisan yang bermanfaat.

Bogor, Maret 2011

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Tujuan	2
Manfaat	2
GAGASAN	2
Berbagai Konsep <i>Microfluidic Fuel Cells</i>	2
Prinsip dan Teknologi Pembuatan <i>Microfluidic Fuel Cells</i> (MFC).....	5
Tantangan Implementasi Teknologi	7
Implementasi pada Pedesaan	8
KESIMPULAN	9
DAFTAR PUSTAKA	10
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	13

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema sistem <i>Microfluidic Fuel Cells</i>	5
---	---

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Keadaan listrik di pedesaan	12
Lampiran 2. Proses perbaikan jaringan listrik.....	12
Lampiran 3. Kondisi jaringan listrik di pedesaan.....	12

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

RINGKASAN

Teknologi *Microfluidic Fuel Cells* (MFC) merupakan pendekatan terbaru dalam pembangkit listrik (*bioelectricity*) dari biomassa menggunakan bakteri. Sel bahan bakar mikrofluida *co-laminar* dapat beroperasi pada media campuran antara kondisi asam dan basa. *Liquid oxidant* yang dapat digunakan pada mikrofluida merupakan cairan yang tersedia dengan kepadatan yang spesifik. *Power supply* dengan teknologi mikrofluida dikembangkan dengan pembuatan ruang anoda dan katoda yang dipisahkan oleh sebuah membran. Bagian anoda ditumbuhi oleh bakteri yang mampu mengoksidasi bahan organik, sedangkan bagian katoda disemprotkan udara untuk menyediakan oksigen terlarut yang diperlukan dalam reaksi elektron, proton dan oksigen. Sistem ini umumnya digunakan bakteri pemfermentasi yang dapat menghasilkan energi dari hasil reduksi ionik.

Konsentrasi lapisan pembatas *microfluidic fuel cells* dalam penerapannya dapat diisi ulang dengan modifikasi rancangan secara strategis untuk meningkatkan performa *fuel cells* secara keseluruhan. Banyak rancangan *microfluidic fuel cells* yang sangat cocok untuk digunakan dengan katalis biologis. Baru-baru ini beberapa metodologi telah dikembangkan untuk fungsionalisasi permukaan elektrode dan imobilisasi enzim aktif dengan tujuan meningkatkan karakteristik transfer elektron dan stabilitasnya.

Tantangan teknologi di masa depan adalah *microfluidic fuel cells* dengan kepadatan energi yang rendah dan penerapan sistem resirkulasi. Solusi teknik dalam penerapan teknologi ini antara lain integrasi penyimpanan sumber biomassa, karakterisasi dan penanganan limbah (biomassa), serta percepatan peningkatan tenaga biomassa yang dihasilkan. Pengaplikasian sistem ini di masyarakat pedesaan diharapkan dapat menjadi solusi dari masalah kekurangan listrik.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Saat ini terdapat lebih dari enam milyar manusia berada di muka bumi ini, dan diproyeksikan pada tahun 2050 akan mencapai 9,4 miliar jiwa (Lewis dan Nocera 2006). Bahan bakar fosil telah mendukung industrialisasi dan pertumbuhan ekonomi selama satu abad lebih, akan tetapi bahan bakar fosil ini tidak bisa selamanya mendukung perekonomian global. Selain itu, permintaan akan minyak bumi diperkirakan akan melebihi kapasitas produksi yang ada dalam jangka waktu tahun 2015-2025 (Rifkin 2002). Hal ini tentu perlu diantisipasi sedini mungkin. Kebutuhan energi global tentu memerlukan perubahan infrastruktur yang sangat besar dan mungkin perubahan tersebut menyangkut gaya hidup manusia.

Pengembangan daerah pedesaan di Indonesia akan energi listrik masih memerlukan perhatian yang sangat besar. Data menyebutkan bahwa desa-desa di seluruh Indonesia yang belum terjangkau jaringan listrik sampai tahun 2004 masih sebesar 47%. Akan tetapi pengembangan biomassa sebagai energi alternatif, hanya terbatas pada briket arang saja (Bappenas 2002).

Energi matahari (energi solar) untuk daerah beriklim tropis juga merupakan suatu solusi jangka panjang, namun semua itu tergantung pada bagaimana manusia menggunakan energinya. Energi biomassa adalah bentuk lain dari energi matahari (solar) melalui rangkaian proses fotosintesis, metabolisme, serta berbagai proses lainnya, seperti pelapukan. Teknologi *microbial fuel cells* (MFC) merupakan pendekatan terbaru untuk menghasilkan energi listrik dari biomassa dengan menggunakan bakteri. Penggunaan bakteri untuk menghasilkan listrik merupakan metode yang sangat baik, karena bakteri mampu bereplikasi secara mandiri sehingga proses pembentukan energi dapat berkelanjutan (Logan 2008).

Bakteri yang diperlukan untuk penerapan teknologi *microfluidic fuel cells* berupa bakteri fermentasi dan dapat diperoleh dari hasil samping proses pertanian atau pengolahan produk perikanan, yang merupakan potensi besar Indonesia, sehingga diharapkan dapat menekan biaya produksi dan baik untuk tujuan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

komersial. Penerapan teknologi *microfluidic fuel cells* dalam pembuatan *power supply* skala kecil dapat menjadi langkah awal produksi energi terbarukan untuk menghadapi krisis energi mendatang.

Tujuan

Tujuan karya tulis ini adalah mempelajari pengembangan miniatur *power supply* skala komersial dengan teknologi *microfluidic fuel cells* untuk daerah pedesaan

Manfaat

Inspirasi baru dalam pengembangan dan penerapan sumber energi terbarukan yang praktis di daerah pedesaan

GAGASAN

Berbagai Konsep *Microfluidic Fuel Cells*

Peranan dari *microfluidic fuel cells* dalam miniatur *power supply* diterapkan dalam beberapa mekanisme. Beberapa konsep yang telah dikembangkan meliputi *mixed media operation*, *air-breathing cathodes*, *liquid oxidants*, *flow-through porous electrodes*, *modeling advances*, *boundary layer mitigation*, *microfluidic biofuel cells*, dan *expanded cell architectures* (Kjeang *et al.* 2009). Masing-masing mekanisme tersebut adalah :

Mixed Media Operation

Sel bahan bakar mikrofluida *co-laminar* umumnya dapat beroperasi pada media campuran. Hal ini berbeda dengan jenis sel bahan bakar tradisional yang beroperasi di bawah kondisi asam atau basa. Fitur ini menyediakan kemungkinan kondisi *half-cell* yang bebas untuk reaksi kinetik optimum dan potensial sel yang ditingkatkan. Energi yang dihasilkan dalam konfigurasi dual elektrolit lebih dari dua kali lipat sistem elektrolit tunggal, meskipun reaksi kinetika oksidasi hidrogen relatif lambat pada media basa. Kinerja keseluruhan masih dibatasi oleh transportasi yang berkaitan dengan kelarutan gas yang rendah (Cohen *et al.* 2005).

Air-breathing Cathodes

Salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan kelarutan oksigen adalah menggabungkan struktur berpori dari katoda *air-breathing* yang memungkinkan transportasi gas oksigen dari udara. Difusi gas elektroda merupakan komponen kunci seperti desain sel bahan bakar berdasarkan PEM, yang menawarkan kepadatan tinggi. Jayashree *et al.* (2005), memperkenalkan sel bahan bakar mikofluida pertama dengan katoda *air-breathing* dengan menggunakan plat anoda grafit ditutupi dengan nanopartikel Pd hitam dan katoda karbon kertas berpori dilapisi dengan nanopartikel Pt hitam.

Liquid Oxidants

Sehubungan dengan pemilihan bahan bakar dan oksidan, terdapat bahan bakar cair yang tersedia dengan kepadatan energi tinggi yang spesifik, termasuk borohidrida natrium, metanol, asam formic dan hidrokarbon cair lainnya. Penggunaan oksidan cair tidak sering digunakan, kecuali untuk peroksida hidrogen yang sebelumnya bekerja sebagai oksidator dalam berbagai natrium borohidrida/sel bahan bakar hidrogen peroksida dengan desain KEP berbasis tradisional. Kinerja sel ini terutama dibatasi oleh konsentrasi hidrogen peroksida yang rendah (10 mM). Tiga metode untuk menstabilkan *co-laminar* cair baru-baru ini telah diusulkan yaitu menggunakan aliran-aliran magnetik yang dipisahkan, integrasi dari ketiga aliran elektrolit dan pemanfaatan alur geometri *microchannel* (Logan 2008).

Flow-through Porous Electrodes

Kjeang *et al.* (2008), memodifikasi model sel bahan bakar redoks vanadium dengan menyegel elektroda berpori antara substrat atas dan substrat bawah serta memberikan reaktan melalui aliran elektroda. Dua reaktan *stream meet* diatur dalam saluran pusat ortogonal. Dua reaktan *stream meet* tersebut diarahkan menuju outlet dalam format *co-laminar*. Berbagai warna yang melekat pada solusi vanadium yang berbeda memungkinkan visualisasi langsung dari operasi sel bahan bakar. Aliran melalui model elektroda diaktifkan pada tingkat kinerja yang sangat tinggi pada suhu ruangan. Sel bahan bakar juga memiliki kemampuan untuk menggabungkan pemanfaatan bahan bakar yang tinggi dengan tegangan sel yang tinggi.

Modelling Advances

Pemodelan matematis dan komputasi sangat penting dalam analisis fenomena transport dan reaksi elektrokimia yang bertempat di dalam *microfluidic fuel cells*. Area ini pertama kali diselidiki oleh Bazylak *et al* (2005) menggunakan model komputasi untuk menganalisa suatu *microfluidic fuel cells* bentuk-T. Geometri saluran yang berbeda dan konfigurasi elektroda dianalisis, menargetkan peningkatan penggunaan bahan bakar sambil meminimalisir pencampuran bahan bakar atau oksidan. Proses transportasi diselesaikan dalam 3D menggunakan dinamika fluida komputasi *framework* dan digabungkan dengan konveksi atau transportasi massal difusif (pengenceran tak terbatas) dan model laju reaksi elektrokimia untuk kedua anoda dan katoda (Kjeang *et al.* 2009).

Boundary Layer Mitigation

Konsentrasi lapisan pembatas dalam *microfluidic fuel cells* dapat diisi ulang dengan modifikasi rancangan secara strategis untuk meningkatkan performa *fuel cells* secara keseluruhan. Yoon *et al.* (2006) mengemukakan tiga strategi berbeda untuk mengontrol konsentrasi lapisan pembatas : (i) menghilangkan *consumed species* melalui beberapa outlet yang ditempatkan secara berkala; (ii) menambah reaktan melalui inlet yang ditempatkan secara berkala; dan (iii) menghasilkan *transverse flow* sekunder dengan pola *herringbone* topografis pada dinding saluran.

Microfluidic Biofuel Cells

Banyak arsitektur *microfluidic fuel cells* yang sangat cocok untuk digunakan dengan katalis biologis. *Biofuel cells* memanfaatkan molekul biologis seperti enzim dan mikroba untuk mengkatalisis reaksi kimia, dan menggeser elektrokatalis tradisional. Secara konvensional, entitas biokatalis ditempatkan dalam sel elektrokimia dua-kompartemen yang mengandung larutan penyangga dengan *concentrated fuel* dan oksidan dalam kompartemen anolit dan katolit. Laju transfer elektron tergantung pada laju difusi redoks ini dan permeabilitas ion dari membran yang memisahkan kedua kompartemen. Selain itu, enzim dalam larutan hanya stabil untuk beberapa hari. Baru-baru ini beberapa metodologi telah dikembangkan untuk fungsionalisasi permukaan elektrode dan imobilisasi enzim aktif dengan tujuan meningkatkan karakteristik transfer elektron dan stabilitas.

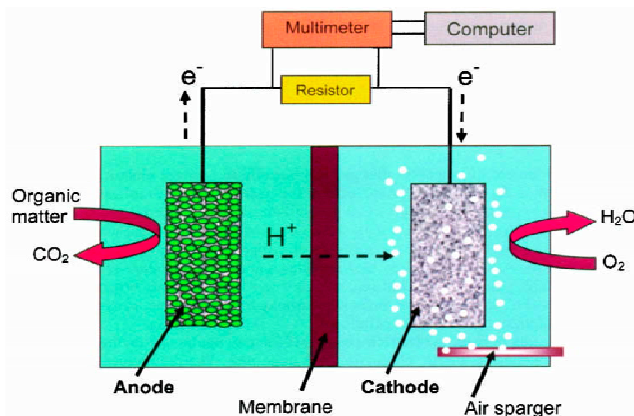
Imobilisasi enzim memungkinkan rancangan *microfluidic biofuel cells* terpadu. Saat ini, jumlah *microfluidic biofuel cells* masih terbatas (Kjeang *et al.* 2009).

Expanded Cell Architecture

Mayoritas alat *microfluidic fuel cells* yang dilaporkan sampai saat ini merupakan bukti konsep sel unit. Keseluruhan voltase dan *power output* pada sel unit ini umumnya kurang dari 1V dan 10mW, kurang mencukupi bagi mayoritas aplikasi *portable power*. Teknologi *microfluidic fuel cells* dapat ditingkatkan berdasarkan metodologi ekspansi. Ferrigno *et al.* (2002) menunjukkan *array planar* dari tiga sel dengan inlet dan outlet terpisah, berdasarkan geometri saluran berbentuk Y dengan *streaming* berdampingan dan elektroda ditempatkan pada dinding bagian bawah (Kjeang *et al.* 2009).

Prinsip dan Teknologi Pembuatan Microfluidic Fuel Cells (MFC)

Teknologi *Microfluidic Fuel Cells* (MFC) merupakan pendekatan terbaru untuk pembangkit-pembangkit listrik *bioelectricity* dari biomassa menggunakan bakteri. Dalam teknologi MFC, mikroorganisme mendegradasi (mengoksidasi) bahan organik, dan menghasilkan elektron yang berjalan melalui serangkaian enzim pernafasan dalam sel dan membuat energi untuk sel dalam bentuk ATP. Elektron ini kemudian dilepaskan ke akseptor elektron terminal yang menerima elektron dan menjadi berkurang (Logan 2008). Skema dari sistem MFC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem *Microfluidic Fuel Cells*
Sumber: Logan (2008)

Oksigen di ruang anoda akan menghambat pembangkit listrik, sehingga sistem dirancang untuk menjaga agar bakteri dipisahkan dari oksigen (bagian

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

katolit dalam contoh ini). Pemisahan bakteri dari oksigen dapat dicapai dengan menempatkan membran yang membentuk dua ruang terpisah, yaitu ruang anoda dimana bakteri tumbuh dengan mengoksidasi bahan organik, dan ruang katoda dimana elektron bereaksi dengan katolit tersebut. Bagian katoda disemprotkan dengan udara untuk menyediakan oksigen terlarut yang diperlukan untuk reaksi elektron, proton dan oksigen di katoda (Logan 2008).

Kedua elektroda ini dihubungkan dengan kawat yang mengandung beban (misal perangkat yang bertenaga), tetapi laboratorium resistor digunakan sebagai beban. Pada prinsipnya, membran permeabel untuk proton yang dihasilkan pada anoda, sehingga mereka dapat bermigrasi ke katoda dimana mereka dapat menggabungkan dengan elektron yang ditransfer melalui kawat dan oksigen, membentuk air. Arus yang dihasilkan oleh MFC biasanya dihitung di laboratorium dengan pemantauan penurunan tegangan resistor baik menggunakan tegangan volt (sampling *intermittent*) atau potensiostat multimeter yang dihubungkan ke komputer untuk akuisisi data dasarnya secara kontinu (Logan 2008).

Bakteri yang digunakan dalam MFC dikenal mampu mentransfer elektron ke permukaan melalui dua mekanisme, yaitu produksi mediator elektron yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri (seperti *pyocyanin* dan senyawa terkait yang diproduksi oleh *Pseudomonas aeruginosa* dan *nanowires* yang dihasilkan oleh spesies *Geobacter* dan *Shewanella*). Di samping itu, penelitian menunjukkan bahwa reduksi ion besi oleh *Shewanella* melibatkan pembawa elektron yang terikat membran. Namun, informasi pada mekanisme transfer elektron tersebut tidak cukup untuk menggambarkan bagaimana bakteri membentuk koloni dan mempertahankan sel di permukaan (Logan 2008).

Bakteri yang memproduksi energi dari fermentasi substrat memperoleh energi melalui fosforilasi tingkat substrat, mengambil substrat (contohnya glukosa) dan memproduksi produk akhir yang berbeda. Saat mikroba menghasilkan asetat, mikroba ini dapat menghasilkan ATP terbanyak dari fermentasi. Bakteri fermentasi dapat mereduksi ion dan dapat menyediakan listrik dalam MFC. Bakteri fermentasi yang dapat digunakan yaitu *Clostridium pasfeurianum*, *C. acidiurici*, *Chromafium vinosum*, *Desulfovibrio gigas*,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Escherichia coli dan *Azofobacter vinelandii* (Logan 2008). Aelterman *et al.* (2006) menambahkan bahwa bakteri yang dapat digunakan adalah dari golongan *Proteobacteria* gram negatif (seperti *Geobacter* dan *Shewanella*) yang sangat penting sebagai suatu gabungan untuk bakteri penghasil listrik.

Tantangan Teknologi Masa Depan

Secara keseluruhan, pengembangan sel bahan bakar mikrofluida sampai saat ini luar biasa, mengingat ini adalah penemuan yang relatif baru. Penelitian sejauh ini telah menghasilkan perangkat operasi dengan kinerja yang menjanjikan dalam hal kerapatan daya dan tegangan sel operasional. Untuk mewujudkan perangkat maupun miniatur yang praktis, efisien dan kompetitif dengan kepadatan energi yang tinggi dan pemanfaatan bahan bakar yang tinggi, maka masih banyak yang harus dilakukan. Kendala yang paling menonjol yang telah diidentifikasi untuk saat ini adalah sel bahan bakar mikrofluida yang rendah kepadatan energi, yang didefinisikan sebagai energi per volume keluaran sistem atau massa. Inti fisik dari konfigurasi aliran *co-laminar* mengharuskan bahwa kedua aliran harus cair dan mengandung elektrolit (Kjeang *et al.* 2009).

Penerapan sistem resirkulasi untuk elektrolit adalah tugas yang menantang karena kendala ruang dan tak terelakkannya pencampuran/masalah kontaminasi. Dengan infrastruktur yang terintegrasi, unit sel bahan bakar mikrofluida bisa *on chip* atau mudah diintegrasikan sebagai sumber listrik untuk berbagai perangkat dan sistem mikrofluida, sebagai unit yang berdiri sendiri atau dalam konfigurasi hibrid yang dikombinasikan dengan baterai sekunder kecil (Kjeang *et al.* 2009). Perkembangan teknologi sel bahan bakar mikrofluida sebagian besar akan mendapat keuntungan dari pemodelan secara teoritikal dan numerikal dari faktor pembatas kinerja, serta model sistem dan optimasi arsitektur sel yang didirikan.

Hanya sedikit kontribusi pemodelan yang telah dilaporkan sampai saat ini. Sebagai contoh, tidak ada upaya pemodelan tersebut yang diterapkan pada arsitektur sel bahan bakar *air-breathing* atau salah satu sel bahan bakar vanadium redoks. Berbagai macam teknologi planar tunggal sel bahan bakar mikrofluida telah dibuktikan sejauh ini. Bahan bakar baru dan kombinasi oksidan masih mungkin dilakukan, dan prospek untuk menemukan elektrolit baru dengan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

fungsionalitas canggih yang tinggi, misalnya untuk cairan ionik dan pelarut non-air, serta teknik-teknik baru untuk pemisahan fasa pada *interface co-laminar* diaktifkan dengan menggunakan campuran pelarut, gradien densitas dan viskositas, atau medan magnet (Kjeang *et al.* 2009).

Selain itu, arsitektur sel baru yang mengakomodasi komponen gas diprediksi akan memiliki dampak yang besar. Ada juga banyak kesempatan untuk meningkatkan nano mikro dan struktur elektroda yang digunakan dalam sel bahan bakar mikrofluida. Arsitektur sel bahan bakar mikrofluida sangat cocok untuk integrasi dengan teknologi sel biofuel dan dapat membantu dalam pengembangan perangkat praktis sel biofuel (Bullen *et al.* 2006). Kinerja sel biofuel yang disajikan hingga kini belum memadai untuk aplikasi yang praktis, terutama disebabkan kepadatan daya rendah dan stabilitas yang rendah. Namun, imobilisasi rapat arus elektroda biokatalis menggunakan enzim dalam hidrogel redoks sering dikendalikan oleh transportasi difusif dari reaktan dari larutan ke polimer matriks aktif, untuk kedua bioanoda glukosa (Mano *et al.* 2005; Mano *et al.* 2004) dan biokatoda oksigen (Mano *et al.* 2003; Soukharev *et al.* 2004; Mano *et al.* 2006).

Kinerja dari sistem sel bahan bakar dapat dibatasi oleh konduktansi proton karena jarak proton yang dihasilkan pada anoda, perlu melakukan perjalanan untuk mencapai katoda. Keterbatasan resistensi ini dapat diatasi dengan menambahkan sumber proton ke katoda dan atau aliran anoda, sehingga memberikan pasokan proton lebih dekat ke katoda sementara tetap mempertahankan gradien proton akibat konsumsi proton pada katoda. Berbagai sumber proton yang dapat ditambahkan antara lain hidrogen, metanol dan asam format (Choban *et al.* 2004).

Implementasi pada Pedesaan

Indonesia saat ini masih menghadapi persoalan disparitas atau kesenjangan antara daerah maju dan daerah tertinggal. RPJM Nasional telah menetapkan 199 kabupaten yang dikategorikan sebagai daerah tertinggal, dimana 62% (123 kabupaten) ada di KTI, 29 % (58 kabupaten) di Sumatera, dan 9 % (18 kabupaten) ada di Jawa dan Bali. Daerah tertinggal umumnya tidak mendapatkan akses tenaga listrik dari PLN yang ditandai dengan masih rendahnya

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

rasio elektrifikasi (kurang dari 66%), yang berarti lebih dari 34% penduduk Indonesia belum menikmati listrik. Kendala utama dalam penyediaan listrik di daerah tertinggal disebabkan karena letak geografi dan topografi Indonesia yang tidak memungkinkan perpanjangan jaringan listrik PLN, dan belum optimalnya pemanfaatan sumberdaya energi setempat (energi baru dan terbarukan) (Rosyid 2010).

Di sisi lain, daerah tertinggal umumnya memiliki potensi sumber energi baru dan terbarukan yang cukup besar dan bervariasi jenisnya, seperti energi surya, angin, air, biomasa, biogas, dan sebagainya. Namun demikian pemanfaatannya masih sangat rendah. Hal ini disebabkan karena tingginya biaya investasi, sumber energi yang berfluktuasi, kurangnya tenaga ahli, dan sebagainya (Rosyid 2010). Konsep pembangkit listrik menggunakan *microfluidic fuel cells* yang memadukan aktivitas bakteri untuk menghasilkan energi listrik merupakan salah satu solusi alternatif dalam mengatasi krisis bahan bakar minyak dan ketiadaan listrik di pedesaan, daerah-daerah terpencil, dan pulau-pulau terluar di Indonesia. Dengan adanya miniatur *power supply* dengan konsep *microfluidic fuel cells* diharapkan dapat menyediakan catu daya listrik yang kontinu dengan efisiensi yang optimal.

KESIMPULAN

Microfluidic Fuel Cells (MFC) dapat dimanfaatkan dalam pembuatan miniatur *power supply*. Teknologi MFC tersebut berprinsip produksi muatan dari kegiatan mikroorganisme pada anoda dan reaksi hantaran elektron dengan katolit. Tantangan teknologi di masa depan adalah *microfluidic fuel cells* dengan kepadatan energi yang rendah, penerapan sistem resirkulasi, kurangnya solusi teknik untuk fungsi-fungsi penting seperti integrasi penyimpanan bahan bakar dan oksidan, penanganan limbah, dan pengiriman tenaga fluida rendah. Penerapan sistem ini di pedesaan diharapkan dapat menjadi solusi dari kurangnya sumber listrik..

DAFTAR PUSTAKA

- Aelterman P, Rabaey K, Pham HT, oon N, Verstraete W. 2006. Continuous electricity generation at high voltages and currents using stacked microbial fuel cells. *Journal of Environmental Science and Technology* 40(10): 3388-3394.
- Bappenas. 2002. Briket batubara bisa bersaing bila seluruh subsidi BBM dihapus. <http://els.bappenas.go.id> (2 Maret 2011)
- Bazylak A, Sinton D, Djilali N. 2005. Improved fuel utilization in microfluidic fuel cells: a computational study. *Journal of Power Sources* 143: 57-66
- Bullen RA, Arnot TC, Lakeman JB, Walsh FC. 2006. Biofuel cells and their development. *Biosensors & Bioelectronics* 21: 2015-2045.
- Choban ER, Markoski LJ, Wieckowski A, Kenis PJA. 2004. Microfluidic fuel cells based on laminar flow. *Journal of Power Resources* 128: 54-60.
- Ferrigno R, Stroock A, Clark AD, Mayer M, Whitesides GM. 2002. Membraneless vanadium redox fuel cell using laminar flow. *Journal of the American Chemical Society* 124: 12930-12931.
- Jayashree RS, Gancs L, Choban ER, Primak A, Natarajan D, Markoski LJ, Kenis PJA. 2005. Air-breathing laminar flow-based microfluidic fuel cell. *Journal of the American Chemical Society* 127: 16758-16759.
- Kjeanga E, Djilali N, Sintona D. 2009. Microfluidic fuel cells: a review. *Journal of Power Sources* 186: 353-369.
- Kjeang E, Michel R, Sinton D, Djilali, Harrington DA. 2008. An alkaline microfluidic fuel cell based on formate and hypochlorite bleach. *Electrochimica Acta* 54: 698-705.
- Kjeang E, Michel R, Harrington DA, Djilali N, Sinton D. 2008. Microfluidic fuel cell with flow-through porous electrodes. *Journal of the American Chemical Society* 130: 4000-4006.
- Kjeang E, Brolo AG, Harrington DA, Djilali N, Sinton D. 2007. Hydrogen peroxide as an oxidant for microfluidic fuel cells. *Journal of The Electrochemical Society* 154(12): 1220-1226.
- Lewis NS dan Nocera DG. 2006. Powering the planet: chemical challenges in solar energy utilization. *PNAS* 103(43): 15729-15735.
- Logan BE. 2008. *Microbial Fuel Cell*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Mano N, Fernandez JL, Kim Y, Shin W, Bard AJ, Heller A. 2003. Oxygen is electroreduced to water on a "wired" enzyme electrode at a lesser overpotential than on platinum. *Journal of the American Chemical Society* 125: 15290-15291.
- Mano N, Mao F, Heller A. 2004. A miniature membrane-less biofuel cell operating at +0.60 V under physiological conditions. *ChemBiochem* 5:



1703-1705.

- Mano N, Soukharev, Heller A. 2006. A laccase-wiring redox hydrogel for efficient catalysis of O₂ electroreduction. *Journal of Physical Chemistry B* 110: 11180-11187.
- Rifkin J. 2002. *The Hydrogen Economy*. New York : Tarcher/Putnam
- Rosyid OA. 2010. Hybrid solar power generator for rural electricity in Indonesia. *Journal of Indonesian Material and Energy* 1(1): 31-38.
- Salloum KS, Hayes JR, Friesen CA, Posner JD. 2008. Sequential flow membraneless microfluidic fuel cell with porous electrodes. *Journal of Power Sources* 180 243–252.
- Soukharev V, Mano N, Heller A. 2004. A four-electron O₂-electroreduction biocatalyst superior to platinum and a biofuel cell operating at 0.88 V. *Journal of the American Chemical Society* 126: 8368-8369.
- Yoon SK, Fichtl GW, Kenis PJA. 2006. Active control of the depletion boundary layers in microfluidic electrochemical reactors. *Laboratorium Chip* 6: 1516-1524.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Keadaan krisis listrik di pedesaan



Lampiran 2. Proses perbaikan jaringan listrik di pedesaan



Lampiran 3. Kondisi jaringan listrik di pedesaan



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Daftar Riwayat Hidup Ketua dan Anggota Pelaksana

1. Ketua Pelaksana Kegiatan :

- a. Nama Lengkap : Esa Ghanim Fadhallah
- b. Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 29 Januari 1991
- c. Alamat Bogor : Perwira 19/HP 08568311407

TANDA TANGAN

2. Anggota Pelaksana Kegiatan :

- a. Nama Lengkap : Aninta Saraswati
- b. Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 28 Juni 1991
- c. Alamat Bogor : Balumbang Jaya/ HP 085710221134

TANDA TANGAN

3. Anggota Pelaksana Kegiatan :

- a. Nama Lengkap : Siska Warsiyaningsih
- b. Tempat, tanggal lahir : Bogor, 19 November 1990
- c. Alamat Bogor : Jalan Ciherang Kidul, Laladon Indah
Bogor, 16610/ HP 085692519251

TANDA TANGAN

Nama Dan Biodata Dosen Pendamping

- a. Nama Lengkap dan Gelar : Bambang Riyanto, S.Pi. M.Si.
- b. NIP : 19690603 199802 1 001
- c. Pangkat/Golongan/Jabatan: Penata/IIIc/Lektor
- g. Fakultas/Program Studi : Perikanan dan Ilmu Kelautan/Teknologi
Hasil Perairan
- q. E-mail : bambangriyanto_ipb@yahoo.com

TANDA TANGAN

Bambang Riyanto, S.Pi., M.Si.