



PROGRAM KREATIVITAS MAHASISWA

**SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN
BERBASIS TEKNOLOGI *MICROBIAL FUEL CELL* DI AREA
SEMBURAN LUMPUR PANAS SIDOARJO SEBAGAI
SUMBER ENERGI LISTRIK BAGI DAERAH TERTINGGAL
DI JAWA TIMUR**

**BIDANG KEGIATAN
PKM-GAGASAN TERTULIS**

Diusulkan oleh :

| | | |
|------------------------|-----------|---------------|
| Muhammad Iqbal Akbar M | G84070027 | Angkatan 2007 |
| Puji Astuti | G84080052 | Angkatan 2008 |
| Dian Rahmawati | G84080082 | Angkatan 2008 |

**INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2011**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Kegiatan : Sistem Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Berbasis Teknologi *Microbial Fuel Cell* di Area Semburan Lumpur Panas Sidoarjo Sebagai Sumber Energi Listrik Bagi Daerah Tertinggal di Jawa Timur
2. Bidang Kegiatan : () PKM-AI (✓) PKM-GT
3. Ketua Pelaksana Kegiatan:
 - a. Nama Lengkap : Muhammad Iqbal Akbar M.
 - b. NIM : G84070027
 - c. Jurusan : Biokimia
 - d. Universitas/Institut : Institut Pertanian Bogor

Menyetujui,
Ketua Departemen Biokimia

Bogor, 27 Februari 2011

Ketua Pelaksana Kegiatan

(Dr. Ir. I Made Artika, M.App Sc)
NIP. 19630117 198903 1 000

(Muhammad Iqbal Akbar M.)
NIM. G84070027

Wakil Rektor Bidang Akademik dan
Kemahasiswaan

Ketua Departemen Biokimia

(Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, MS)
NIP. 19581228 198503 1 003

(Dimas Andrianto, M.Si)
NIP. 1983119 200912 1 003

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami haturkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Program Kreativitas Mahasiswa-Gagasan Tertulis (PKM-GT) yang berjudul “Sistem Teknologi Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Berbasis *Microbial Fuel Cell* Di Area Semburan Lumpur Panas Sidoarjo Sebagai Sumber Energi Listrik Bagi Daerah Tertinggal di Jawa Timur”. Tulisan ini merupakan sebuah pemikiran baru dalam pemanfaatan potensi lokal di Sidoarjo, yakni banjir lumpur panas yang saat ini menjadi polemik dan menimbulkan banyak permasalahan.

Karya tulis ini ditujukan untuk mengikuti PKM-GT yang diadakan oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi - Departemen Pendidikan Nasional. Melalui PKM-GT ini, penulis ingin memberikan solusi alternatif terkait dengan sumber energi alternatif melalui teknologi pembangkit listrik yang ramah lingkungan.. PKM-GT ini sebagai bentuk kontribusi penulis dalam rangka mencari solusi terhadap ancaman krisis energi di Indonesia, sehingga sistem pembangkit listrik yang digagas pada tulisan ini dapat membantu mengentaskan permasalahan sumber listrik di daerah tertinggal di Indonesia, khususnya Jawa Timur dan sekitarnya. Semoga gagasan pada tulisan ini menjadi sebuah bentuk nyata dalam menciptakan keseimbangan lingkungan menuju kehidupan yang lebih baik.

Penulis menyadari bahwa kelancaran selama penyusunan karya tulis ini tidak lepas dari kontribusi beberapa pihak. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dimas Andrianto, M.Si selaku dosen pendamping yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingannya selama penyusunan karya tulis ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan karya tulis ini. Karya tulis ini mungkin masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun akan penulis jadikan pelajaran yang berharga untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bogor, 27 Februari 2011

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI..... | iv |
| DAFTAR TABEL..... | v |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| RINGKASAN | vi |
| PENDAHULUAN | 1 |
| Latar Belakang | 1 |
| Rumusan Masalah | 4 |
| Tujuan dan Manfaat | 4 |
| GAGASAN | 5 |
| Kondisi Saat ini | 5 |
| Potensi Lumpur di Sidoarjo Sebagai Alternatif Substrat MFC..... | 7 |
| Rancangan Alat <i>Microbial Fuel Cell</i> | 9 |
| Tantangan dan Hambatan Pengembangan MFC | 10 |
| Pihak-pihak yang terlibat | 12 |
| KESIMPULAN..... | 13 |
| DAFTAR PUSTAKA | 14 |
| LAMPIRAN..... | 16 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|----------------|
| 1 Data kandungan mineral pada lumpur di Sidoarjo..... | 7 |
| 2 Data hasil pengujian toksikologi..... | 8 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| 1 Kondisi banjir lumpur Sidoarjo..... | 5 |
| 2 Desain alat MFC (a) dua ruang dengan oksigen sebagai penerima elektron pada katode, (b) MFC satu ruang dengan katoda udara (Liu dan Logan 2005), (c) MFC satu ruang dengan katoda udara dan <i>cloth electrode assembly separator</i> , (d) <i>A cassette electrode MFC</i> (Shimoyama <i>et al.</i> 2008). | 10 |
| 3 Prinsip kerja MFC pada sedimen lumpur. | 10 |
| 4 Model sederhana rangkaian MFC seri pada lumpur Sidoarjo..... | 10 |

RINGKASAN

Saat ini Indonesia sedang dilanda bencana banjir lumpur panas di Sidoarjo yang telah berlangsung sejak tahun 2006. Debit lumpur sekitar 50.000 m³/hari telah menenggelamkan 12 Desa di Sidoarjo, ratusan hektar lahan pertanian, bahkan telah menghancurkan sendi-sendi sosial, budaya, pendidikan, kesehatan, ekonomi, dan lingkungan di Jawa Timur. Hingga saat ini hiruk pikuk polemik terkait persoalan penyebab banjir lumpur dan proses penanggulangan lumpur juga masih berlangsung. Permasalahan klasik lain yang belum teratasi hingga saat ini yakni pemerataan pembangunan. Pembangunan yang masih tersentral di beberapa lokasi menyebabkan sejumlah daerah masih terpinggirkan dan minim sarana dan prasarana, salah satunya sumber energi listrik. Sebanyak 183 dusun di Probolinggo, 39 di Malang dan ratusan dusun lainnya di berbagai wilayah hingga kini masih belum teraliri listrik.

Senyawa organik *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH), logam karsenik (seperti timbal, arsen, mangan, besi, kadmium, klorin), dan gas metan ditemukan di titik semburan lumpur. Berdasarkan hasil uji diketahui bahwa kadar PAH sebesar 2128-55000 ppm dan gas metan sebesar 20-30% di udara. Kadar tersebut jauh di atas ambang batas normal yang ditetapkan oleh Gubernur Jawa Timur No 129 tahun 1996, yaitu ambang batas PAH sebesar 0,24 ppm (Utomo 2010) dan ambang batas CH₄ di udara sebesar 10% (Yuarso 2010). Sejalan dengan meningkatnya debit lumpur menjadi 100.000-150.000 m³/hari sejak tahun 2008, hasil uji menunjukkan terjadi akumulasi logam berat pada lumpur di atas ambang batas (Mukono 2006).

Bentuk energi listrik merupakan energi yang paling praktis digunakan, namun konversi teknologi pembakaran yang biasa digunakan dalam pembangkit listrik berdampak terhadap penipisan cadangan bahan bakar fosil dan peningkatan jumlah CO₂ di udara, sedangkan konversi dari biogas menjadi listrik memiliki efisiensi yang rendah, yaitu kurang dari 40% (Rittmann 2008). Tantangan dalam pengembangan pembangkit listrik adalah menemukan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Microbial fuel cell (MFC) merupakan salah satu cara untuk memproduksi energi secara berkesinambungan dalam bentuk listrik dari bahan-bahan yang dapat didegradasi melalui bantuan bakteri (Kordesch dan Simader 2001). Bakteri yang teruji mampu menghasilkan energi listrik adalah bakteri pereduksi logam, yaitu *Geobacter sulfurreducens* (Pham *et al.* 2003), *Geobacter metallireducens* (Bond dan Lovley 2003), *Shewanella putrefaciens* (Kim *et al.* 2002), *Clostridium butyricum* (Park *et al.* 2001).

Gagasan yang diusulkan dalam karya tulis ini adalah memanfaatkan aktivitas mikroba pada lumpur dalam sistem MFC yang bersifat ramah lingkungan. Sumber hidrogen dari aktivitas mikroba ini dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik dalam sistem MFC yang diharapkan mampu mengatasi permasalahan krisis energi di Indonesia dengan pembuatan sumber energi alternatif bagi wilayah-wilayah di Indonesia yang belum teraliri listrik, khususnya kabupaten di sekitar daerah semburan lumpur panas Sidoarjo, Jawa Timur.

Kata kunci: *Microbial fuel cell* (MFC), lumpur Sidoarjo, sumber energi listrik, Jawa Timur.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia sebagai negara berkembang hingga kini masih mengalami permasalahan klasik layaknya negara berkembang lain, yakni pemerataan pembangunan. Pembangunan yang masih tersentral di beberapa lokasi menyebabkan sejumlah daerah masih terpinggirkan dan minim sarana dan prasarana, salah satunya sumber energi listrik. Sebanyak 183 dusun di Probolinggo, 39 di Malang dan ratusan dusun lainnya di berbagai wilayah hingga kini masih belum teraliri listrik. Padahal pendapatan, khususnya di daerah provinsi Jawa Timur hingga tahun 2008 mencapai Rp. 980.953.465.511. Pendapatan ini ternyata belum mampu memfasilitasi seluruh warga Jawa Timur untuk menikmati energi listrik sehingga berbagai upaya penciptaan sumber energi alternatif bagi wilayah-wilayah ini sangat diperlukan.

Di sisi lain, provinsi Jawa Timur juga sedang mengalami masalah lain yang muncul sejak empat tahun silam yakni banjir lumpur di Sidoarjo. Sejauh ini diketahui bahwa setiap hari ditemukan titik semburan lumpur di beberapa area Sidoarjo dan sekitarnya. Diketahui bahwa volume lumpur di Sidoarjo sekitar 50.000 m³ setiap harinya (Yuarso, 2010). Lumpur tersebut mengandung mineral silika 25.67%, natrium 1.17%, magnesium 1.75%, aluminium 13,27%, klorin 0.91%, kalium 1.93%, kalsium 1.54%, besi 7.89%, kadmium 0.3%, tembaga 0.4%, dan timbal 0.73% (Utomo, 2009). Selain mengandung mineral, aktivitas semburan lumpur juga mengeluarkan gas metana. Semburan gas metana ini keluar dari bawah permukaan tanah melalui celah akibatnya bau gas metana yang keluar dalam radius 25 meter dari titik semburan cukup terasa menyengat. Diprediksi pada jarak lebih dari tiga meter dari titik semburan kandungan gas metana yang terdeteksi sekitar 20 -30%. Sementara itu dalam radius di bawah tiga meter kadar gas metana di atas 100% yang mengakibatkan lumpur mudah terbakar jika terpercik api (Yuarso, 2010).

Pembangunan pembangkit listrik konvensional berbahan bakar fosil bagi daerah-daerah tersebut sulit untuk diimplementasikan. Data Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM) tahun 2006 menyatakan bahwa pemakaian

energi di Indonesia saat ini lebih dari 90 % menggunakan energi fosil, yaitu minyak bumi 51,66 %, gas bumi 28,57 %, batu bara 15,34 %, sedangkan sumber energi lain meliputi tenaga air 3,11 %, panas bumi 1,32 %, serta energi baru dan terbarukan (EBT) yang hanya sekitar 0,2 %. Tingginya penggunaan minyak bumi dan gas alam sebagai sumber energi berdampak pada menipisnya cadangan fosil tersebut. Cadangan minyak bumi dan gas bumi Indonesia hanya 1% dan 1.4% dari total cadangan minyak dan gas dunia. Cadangan minyak bumi Indonesia hingga tahun 2030 diperkirakan sekitar 9.1 barel dengan produksi sebesar 387 barel/tahun maka rasio cadangan minyak bumi tersebut tanpa eksploitasi baru hanya mampu bertahan selama 23 tahun mendatang sedangkan kebutuhan energi Indonesia hingga tahun 2030 sekitar 504.46 miliar barel (Sulistjono, 2009). Hal ini mengindikasikan Indonesia mengalami keterbatasan energi dan terancam mengalami krisis energi di masa mendatang.

Sejauh ini solusi untuk mencari teknologi pembangkit listrik yang ramah lingkungan sudah banyak dilakukan. Namun, teknologi tersebut dinilai belum efisien untuk diterapkan. Efisiensi konversi pada sistem bioetanol sebesar 10-25%, pada sistem biogas sebesar 80% lebih, dan pada sistem gas hidrogen sebesar 90%. Persentase efisiensi kerja sistem tersebut masih memiliki potensi menimbulkan pencemaran lingkungan akibat produk samping hasil pengolahan (Rabaey *et al.*, 2004).

. *Fuel cell* merupakan teknologi elektrokimia yang secara kontinyu mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik selama terdapat bahan bakar dan pengoksidan (Shukla *et al.*, 2004). MFC merupakan salah satu dari *fuel cell* berbasis biologi. Teknologi MFC merupakan pendekatan baru pembangkit tenaga listrik. MFC merupakan sistem bioelektrokimia yang dapat membangkitkan listrik dari oksidasi substrat organik dan anorganik dengan bantuan katalisis mikroorganisme (Logan *et al.*, 2006). Di antara pilihan teknologi pembangkit energi listrik, sistem MFC memiliki nilai efisiensi konversi mendekati 100%. Jadi, penggunaan MFC ini dinilai menguntungkan, karena nilai efisiensi konversinya merupakan yang tertinggi di antara sistem pengkonversi biomassa lainnya (Rabaey *et al.*, 2004).

Sebagian besar bakteri yang telah diidentifikasi mampu menghasilkan listrik pada *fuel cell* adalah bakteri pereduksi logam, seperti *Geobacter sulfurreducens* (Pham *et al.*, 2003), *Geobacter metallireducens* (Bond dan Lovley, 2003), *Shewanella putrifaciens* (Kim *et al.*, 2002), *Clostridium butyricum* (Park *et al.*, 2001), *Rhodospirillum rubrum* (Chaudhuri dan Lovley, 2003), dan *Aeromonas hydrophila* (Pham *et al.*, 2003). Penelitian terakhir menunjukkan bakteri *Bacillus cereus* mampu mengkonversi bahan organik menjadi energi listrik pada sistem MFC (Silvikasari *et al.*, 2009).

Marwati (2010) menyatakan bahwa *Bacillus* mampu mengikat logam pada lumpur di Sidoarjo. Selain *Bacillus*, bakteri lain yang teridentifikasi terdapat pada lumpur di antaranya *E. coli*, *Salmonella*, dan *Staphylococcus aureus* yang tergolong bakteri patogen. Aktivitas konsorsium bakteri diduga menjadi pemicu tingginya kadar gas metana yang berpotensi menimbulkan efek rumah kaca dan pemanasan global. Terlepas dari hal itu, kondisi ini sebetulnya menjadi potensi lokal yang dimiliki Indonesia sekaligus menjadi solusi alternatif dalam menghadapi ancaman krisis energi. Gas metana hasil aktivitas mikrob dapat digunakan sebagai sumber hidrogen melalui serangkaian proses dalam *reformer* MFC untuk memproduksi elektron dan menghasilkan arus listrik (Rabaey *et al.*, 2004). Adanya aktivitas mikrob dan keberadaan logam di dalam lumpur berpotensi menjadi sumber energi listrik alternatif melalui teknologi MFC.

Gagasan yang diusulkan dalam karya tulis ini adalah memanfaatkan aktivitas konsorsium mikrob untuk mengkonversi logam pada lumpur menjadi energi listrik melalui aktivitas respirasi anaerob melalui teknologi MFC. Kadar gas metana yang tinggi dimanfaatkan sebagai sumber hidrogen untuk menghasilkan arus listrik dalam sistem MFC. Berdasarkan hasil beberapa penelitian selain mampu menghasilkan energi listrik, sistem MFC juga telah terbukti mampu mengolah limbah cair organik yang toksik menjadi limbah yang terstandarisasi untuk di buang ke lingkungan. Oleh karena itu, melalui pengolahan lumpur dalam sistem MFC diharapkan dapat mengurangi produksi gas metana akibat aktivitas mikrob dan mampu dihasilkan energi listrik yang menjadi solusi alternatif terhadap ancaman krisis energi di Indonesia.

Rumusan Masalah

1. Potensi apa saja yang dimiliki oleh lumpur di Sidoarjo yang mendukung dikembangkannya teknologi MFC?
2. Bagaimana desain reaktor pengolahan lumpur dan mekanisme kerja MFC?
3. Bagaimana cara menjaga kestabilan energi listrik yang dihasilkan?
4. Melalui gagasan ini, peluang dan tantangan apa saja yang mungkin akan terjadi?

Tujuan dan Manfaat

Penulisan karya ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mempelajari potensi lumpur di Sidoarjo sebagai sumber pembangkit listrik dengan menggunakan teknologi MFC.
2. Memberikan gagasan terkait dengan pemanfaatan potensi lokal di area semburan lumpur panas Sidoarjo dalam rangka mitigasi pemanasan global dan solusi alternatif terkait dengan ancaman krisis energi.

Manfaat yang ingin dicapai dari gagasan dalam karya tulis ini antara lain:

1. Diharapkan dapat memberikan pemahaman kepada para pembaca bahwa lumpur di Sidoarjo dapat disikapi secara arif dan bijak sehingga menjadi berkah bagi Indonesia.
2. Memberikan pengetahuan dan informasi mengenai potensi lumpur di Sidoarjo dan alternatif pengembangannya melalui teknologi *microbial fuel cell* sehingga dapat bermanfaat sebagai pembangkit listrik baru.
3. Gagasan ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif untuk mencegah luapan lumpur, mencegah pencemaran lingkungan, pemanasan global serta menciptakan desa yang mandiri.

GAGASAN

Kondisi Saat ini

Indonesia adalah negara yang memiliki letak geografis dan posisi strategis sehingga mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap keindahan dan sumber daya alam, keanekaragaman hayati, serta situasi politik dan ekonomi Indonesia. Namun, posisi inilah yang membuat Indonesia rentan terhadap dampak perubahan iklim. Salah satu faktor terbesar penyebab terjadinya perubahan iklim adalah penyimpangan aktivitas manusia yang tidak menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan. Perubahan iklim yang belakangan ini terjadi di Indonesia memicu terjadinya bencana alam (Koopmans, 1998).

Salah satu bencana alam yang selama empat tahun telah melanda Indonesia bahkan hingga saat ini belum terselesaikan adalah munculnya semburan lumpur panas di Sidoarjo yang diduga dipicu oleh kegagalan eksplorasi minyak bumi dan gas alam yang dilakukan oleh suatu perusahaan pertambangan. Terlepas dari hal tersebut, permasalahan yang kini dilanda oleh Indonesia adalah semburan lumpur yang mengandung 70% cairan dan 30% zat padat telah membanjiri daerah Sidoarjo. Diketahui pula saat ini kandungan logam pada lumpur semakin meningkat seiring dengan meningkatnya volume lumpur yakni sekitar 150.000 m³/hari (Setyawan, 2010). Hal ini diperparah dengan meningkatnya gas metan pada lumpur, yang diprediksi kadarnya 20-30% pada jarak 3 meter dari sumber semburan lumpur (Utomo, 2010).



Gambar 1 Kondisi banjir lumpur Sidoarjo.

(Sumber: www.kompas.com 2010)

Saat ini tercatat sebanyak lima desa yang telah terendam lumpur panas dan dinyatakan tidak layak huni, yaitu desa Besuki, Mindi, Jatirejo, Siring Barat, dan Pamotan (Yuarso, 2010). Sejauh ini upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah untuk mengurangi dampak negatif semburan lumpur adalah dengan pembuatan tanggul lumpur seluas 720 hektar pada bulan Agustus 2006 (Yuarso, 2010). Lumpur tersebut selanjutnya disalurkan ke sungai Porong tanpa pengolahan lebih lanjut. Upaya tersebut dinilai belum efektif untuk memecahkan permasalahan semburan lumpur di Sidoarjo sebab akan timbul permasalahan lain yang risikonya jauh lebih besar. Permasalahan yang muncul adalah saat ini diketahui bahwa sungai Porong diprediksi hanya mampu menampung lumpur sekitar $5.000.000 \text{ m}^3$ artinya dengan mengalirkan lumpur sekitar $50.000 \text{ m}^3/\text{hari}$, Sungai Porong hanya mampu mengurangi lumpur di Sidoarjo hingga tahun 2010 dengan pengikisan sungai Porong (Utomo, 2009). Volume lumpur yang begitu besar menyebabkan kegiatan pengerukan dasar sungai terjadi terus menerus. Jika hal ini dibiarkan maka akan memicu terjadinya erupsi sungai bahkan diprediksi pulau Jawa akan tenggelam pada tahun 2020 (Yuarso, 2010).

Kondisi lain yang tidak kalah menarik untuk diangkat pada tulisan ini mengenai permasalahan krisis energi yang melanda bumi Indonesia terutama di daerah Jawa Timur. Dinas Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Kabupaten Malang menyebutkan terdapat sekitar 39 dusun di Kabupaten Malang, Jawa Timur, sampai saat ini belum teraliri listrik (Pitakasari, 2011). Sementara itu, Sebanyak 183 dusun di Probolinggo dan 12 dusun yang tersebar di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur mengalami nasib yang sama, yakni belum tersentuh aliran listrik (Arif, 2010). Hal serupa dialami oleh sekitar 365 Kepala Keluarga (KK) di empat desa di Kabupaten Jombang, Jawa Timur (Arif, 2010). Kondisi ini tentunya sangat ironis, karena keberadaan dan keberdayaan energi listrik merupakan sebuah keharusan sebagai motor penggerak roda kehidupan pada sebuah bangsa untuk tetap bergerak dan mengarah maju ke depan. Tanpa keberadaan dan keberdayaan energi listrik akan menghambat hingga menghentikan aktivitas masyarakat dunia usaha dan rumahan, serta berujung terhambatnya atau terhentinya kemajuan umat pada suatu bangsa.

Saat ini diketahui bahwa pada lumpur tidak hanya mengandung gas metan dan logam berat tetapi juga mengandung bakteri patogen yang keberadaannya menimbulkan masalah kesehatan. Adanya teknologi MFC yang terbukti mampu mengkonversi senyawa logam dengan bantuan bakteri menjadi energi listrik, menimbulkan suatu gagasan sebagai solusi alternatif penyelesaian masalah lumpur di Sidoarjo melalui pemanfaatan aktivitas konsorsium bakteri, logam berat, dan gas metan pada lumpur sebagai sumber energi baru yang direalisasikan melalui pembangkit listrik ramah lingkungan. Gagasan ini sekaligus solusi terhadap ancaman krisis energi yang melanda Indonesia. Untuk merealisasikan gagasan tersebut perlu dilakukan analisis terhadap potensi lumpur di Sidoarjo yang mendukung penerapan sistem MFC di area semburan lumpur.

Potensi Lumpur di Sidoarjo Sebagai Alternatif Substrat MFC

Lumpur di Sidoarjo mengandung 70% cairan dan 30% padatan. Diketahui pula lumpur mengandung sejumlah mineral (Tabel 1) dan logam berat (Tabel 2) (Setyowati, 2007). Sementara itu, berdasarkan hasil uji toksikologi pada tahun 2006 yang dilakukan di tiga Laboratorium Terstandarisasi (Sucofindo, Corelab, dan Bogorlab) diketahui bahwa lumpur juga mengandung logam berat namun kadarnya masih di bawah ambang batas menurut standar baku mutu lingkungan PP No 18/1999 (Mukono, 2006). Hasil penelitian terakhir menyatakan lumpur di Sidoarjo juga mengandung bakteri patogen seperti *E. coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, dan *Bacillus sp* (Marwati, 2010). Adanya aktivitas metabolisme bakteri diduga sebagai penyebab timbulnya gas metan pada semburan lumpur.

Tabel 1 Data kandungan mineral pada lumpur di Sidoarjo

| Element | mass % | Error % | Compound | Mass % | |
|---------|--------|---------|--------------------------------|--------|-------|
| O | 45.88 | | | | |
| Na K | 1.17 | 1.10 | Na ₂ O | 1.57 | 0.43 |
| Mg K | 1.75 | 1.00 | MgO | 2.90 | 0.60 |
| Al K | 13.27 | 1.09 | Al ₂ O ₃ | 25.07 | 4.12 |
| Si K | 25.67 | 1.18 | SiO ₂ | 54.92 | 7.65 |
| Cl K | 0.91 | 0.65 | Cl | 0.91 | 0.00 |
| K K | 1.93 | 0.98 | K ₂ O | 2.32 | 0.41 |
| Ca K | 1.54 | 1.31 | CaO | 2.16 | 0.32 |
| Fe K | 7.89 | 2.54 | FeO | 10.15 | 1.18 |
| Total | 100.00 | | 100.00 | | 14.71 |

Sumber: Depudi Bidang TPSA-BPPT

Tabel 2 Data hasil pengujian toksikologi

| Beberapa Hasil Pengujian | | |
|--------------------------|--------------------|--|
| Parameter | Hasil uji maksimum | Baku Mutu (PP Nomor 18/1999) |
| Arsen | 0,045 Mg/L | 5 Mg/L |
| Barium | 1,066 Mg/L | 100 Mg/L |
| Boron | 5,097 Mg/L | 500 Mg/L |
| Timbal | 0,05 Mg/L | 5 Mg/L |
| Raksa | 0,004 Mg/L | 0,2 Mg/L |
| Stanida Bebas | 0,02 Mg/L | 20 Mg/L |
| Trichlorophenol | 0,017 Mg/L | 2 Mg/L (2,4,6 Trichlorophenol) 400 Mg/L (2,4,4 Trichlorophenol) |

Penelitian terbaru menyatakan bahwa *Bacillus* pada lumpur di Sidoarjo memiliki kemampuan dalam mereduksi logam. Hal ini karena bakteri bacillus memiliki kemampuan sebagai phenol degrader (termasuk senyawa hidrokarbon yang menghasilkan minyak bumi) dan heavy metal accumulation (mereduksi logam) (Marwati, 2010). Penelitian lain juga membuktikan bahwa konsorsium mikrob pada limbah cair terasi udang, teridentifikasi 98% kelompok *Bacillus sp* terbukti mampu mengkonversi limbah organik pada limbah menjadi energi listrik pada sistem MFC (Silvikasari *et al.*, 2009).

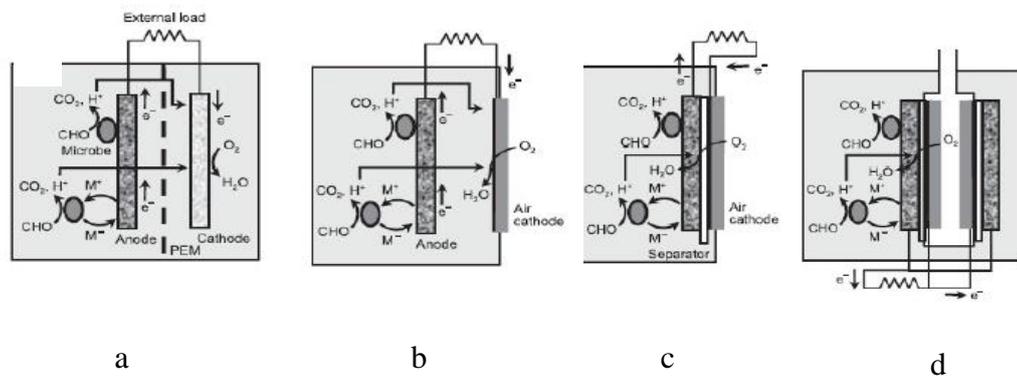
Data tersebut menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus* memanfaatkan substrat dari bahan organik maupun inorganik sebagai sumber energi untuk kehidupannya. Adanya konsorsium mikrob pada lumpur yang salah satunya adalah *Bacillus* maka lumpur di Sidoarjo berpotensi sebagai sumber pembangkit energi baru pada sistem MFC. Potensi lain yang dimiliki oleh lumpur adalah tingginya gas metan pada lumpur (20-30%) yang telah melebihi ambang batas normal yakni 10% berpotensi besar untuk diterapkan dalam sistem MFC. Rabaey *et al.* (2004)

menyatakan gas metan dapat digunakan sebagai sumber hidrogen melalui serangkaian proses dalam *reformer* MFC untuk memproduksi elektron dan menghasilkan arus listrik.

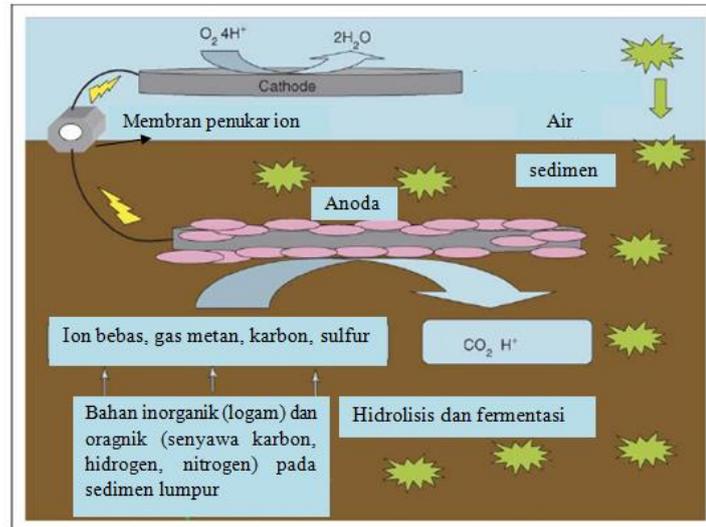
Hal lain yang mendukung lumpur sebagai substrat dalam MFC adalah debit air yang rata-rata meluap berkesinambungan 5.000 m³/hari mendukung kestabilan arus listrik yang dihasilkan. Hal ini karena kestabilan produksi energi listrik pada sistem MFC dipengaruhi oleh ketersediaan substrat, jenis mikroba, kecepatan degradasi substrat, kecepatan transfer elektron dari bakteri ke anoda, dan transfer proton dalam larutan (Liu *et al.*, 2005).

Rancangan Alat *Microbial Fuel Cell*

Sejauh ini telah banyak dikembangkan model alat MFC (Gambar 4). Melihat kondisi sat ini dikorelasikan dengan potensi yang dimiliki Sidoarjo maka prinsip kerja dari MFC dengan substrat lumpur di Sidoarjo (lumpur Lapindo) yang diusulkan adalah menempatkan dua elektroda yang saling terhubung, yaitu anoda (tanggul di Sidoarjo) yang mengandung sedimen bersifat anaerobik dan katoda (air sungai Porong) yang mengandung oksigen terlarut (Lovley, 2006). Ilustrasi prinsip kerja MFC pada sedimen lumpur dapat dilihat pada Gambar 5.

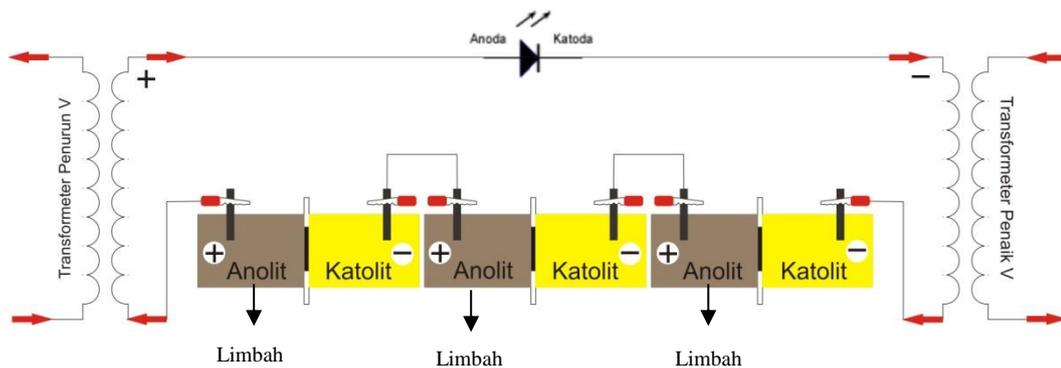


Gambar 2 Desain alat MFC (a) dua ruang dengan oksigen sebagai penerima elektron pada katode, (b) MFC satu ruang dengan katoda udara (Liu dan Logan 2005), (c) MFC stu ruang dengan katoda udara dan *cloth electrode assembly separator*,(d) *A cassette electrode MFC* (Shimoyama *et al.* 2008).



Gambar 3 Prinsip kerja MFC pada sedimen lumpur.

Namun demikian, sistem tersebut secara sederhana (rangkaiian alat percobaan) dapat dimodelkan seperti pada Gambar 6. Rangkaian alat MFC dirangkai secara seri yang hasil energi listriknya disimpan dalam kapasitor. Energi yang tersimpan dalam kapasitor itulah yang akan dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.



Gambar 4 Model sederhana rangkaian MFC seri pada lumpur Sidoarjo.

Tantangan dan Hambatan Pengembangan MFC

Jumlah energi maksimal yang dapat dihasilkan oleh MFC belum diketahui karena tingginya tahanan dalam yang menjadi pembatas (Logan dan Regan 2006).

Namun jumlah energi yang dihasilkan tersebut sudah cukup untuk menjalankan peralatan industri yang membutuhkan atau mengkonsumsi energi dalam jumlah rendah (Shantaram *et al.*, 2005). Selain itu SMFC dapat digunakan pada tempat yang terpencil dan sulit dijangkau karena memiliki umur pakai yang panjang (Reimers *et al.*, 2001).

MFC juga dapat digunakan sebagai penghasil hidrogen murni, yaitu dengan melakukan modifikasi pada sistem MFC. Modifikasi yang dilakukan adalah menjaga agar katoda bebas dari oksigen sehingga aliran proton (H^+) dari anoda tidak akan membentuk air pada katoda (Logan 2004). Pemanfaatan teknologi MFC juga telah diterapkan pada pengolahan air limbah untuk menurunkan nilai *chemical oxygen demand* (COD). Pada pengolahan *Starch Processing Wastewater* (SPW) (Ghangrekar dan Shinde 2006) dan *artificial wastewater* (Moon *et al.*, 2006), MFC mampu menurunkan COD berturut-turut sebesar 9703 mg/l menjadi 4852 mg/l dan 100 mg/l menjadi < 2 mg/l. Selain itu MFC juga telah digunakan sebagai sensor *biological oxygen demand* (BOD).

Kelebihan bahan organik tanah yang berada di bawah air dan adanya proses alami akan memberikan dampak yang negatif terhadap lingkungan akuatik dan sekitarnya. Akumulasi suatu bahan dapat berdampak pada komunitas akuatik dengan berkurangnya oksigen serta peningkatan emisi gas rumah kaca. Selain itu, sedimen juga dapat terkontaminasi dengan senyawa organik, seperti hidrokarbon (De Schampelaire *et al.*, 2008). Penggunaan SMFC juga dapat digunakan sebagai alat bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri pendegradasi. Penggunaan biokatoda untuk bioremediasi nitrat *in-situ* telah dilakukan oleh Gregory *et al.* (2004) dengan menggunakan kultur campuran dan murni dari *Geobacter metallireducens* pada sistem anoksik.

Prinsip kerja dari MFC yang menggunakan mikroorganisme hidup dalam reaksi elektrokimia menjadikan sistem MFC sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan yang dapat membunuh mikroorganisme tersebut (Mench, 2008). Struktur dan aktivitas mikroba dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti pH, potensial oksidasi reduksi, kekuatan ion, dan suhu. Parameter-parameter tersebut juga berpengaruh terhadap proses lain dalam MFC, seperti efisiensi transfer proton dan kinerja anoda (Torres *et al.*, 2008). Kepadatan energi yang dihasilkan

MFC juga masih sangat rendah dibandingkan dengan *fuel cell* konvensional (Mench, 2008).

Pihak-pihak yang terlibat

Pengembangan inovasi MFC berbasis pengolahan lumpur Sidoarjo memerlukan kerja sama berbagai pihak, diantaranya universitas (kalangan akademisi), swasta (penyalur modal), dan pemerintah (penentu kebijakan). Dalam upaya tersebut, peranan pihak Bakri Group sangat penting sebagai bentuk tanggung jawab moral atas dampak industrinya. Bakri Group dapat mengalokasikan anggaran dana CSR-nya untuk memenuhi inovasi MFC yang telah dioptimalkan kapasitas kerjanya oleh para peneliti di universitas. Sementara itu, pemerintah berperan untuk mendukung kedua belah pihak melalui program regulasi yang memudahkan kerja sama diantaranya. Media massa sebagai pihak luar yang tidak terlibat langsung pun sangat penting peranannya dalam mengencarkan berita di kalangan masyarakat sehingga hal tersebut akhirnya benar-benar terealisasikan.

KESIMPULAN

Gagasan yang diusulkan dalam karya tulis ini terkait dengan permasalahan yang dihadapi Indonesia saat ini, yakni upaya penciptaan sumber energi alternatif bagi wilayah-wilayah di Indonesia yang belum teraliri listrik, khususnya kabupaten di sekitar daerah semburan lumpur panas Sidoarjo, Jawa Timur. Sistem pembangkit listrik yang digagas pada desain ini, yaitu dengan memanfaatkan gas metan, aktivitas mikrob, dan mineral untuk dikonversi menjadi energi listrik melalui teknologi MFC yang telah terbukti memiliki efisiensi paling tinggi dibandingkan dengan sistem pengkonversi biomassa lainnya. Melalui gagasan tersebut diperoleh dua manfaat penting yaitu diperoleh solusi alternatif untuk mengurangi luapan lumpur yang berpotensi memicu pemanasan global dan diperoleh sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Sehingga bencana banjir lumpur di Sidoarjo dapat disikapi secara positif untuk mendukung pengembangan industri Indonesia dan menjadi solusi terkait dengan ancaman krisis energi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif S. 2010. 12 dusun di Lumajang belum teraliri listrik. [terhubung berkala]. <http://www.mediaindonesia.com>. (25 Februari 2011).
- De Schamphelaire L, Rabaey K, Boeckx P, Boon N, Verstraete W. 2008. Outlook for benefits of sediment microbial fuel cell with two bioelectrodes. *J.Microbial Biotechnology* 1: 446-462.
- Gregory KB, Bond DR, dan Lovley DR. 2004. Graphite electrodes as electron donors for anaerobic respiration. *J.Environ. Microbiol.* 6: 596-604.
- Koopmans A. 1998. Trend in Energy Use. Phuket: Expert Consultation on Wood Energy, Climate and Health.
- Liu H, Cheng S, dan Logan BE. 2005. Power Generation in fed-batch microbial fuel cell as a function of ionic strength, temperature, and reactor configuration. *J. Environmental Sci. Tech.* 38:4040.
- Logan BE. 2004. Microbial Fuel Cell. New Jersey: John Wiley and Sons Ltd.
- Marwati. 2010. Bakteri pengikat logam lumpur Lapindo. <http://www.infokesehatan.com> (25 Februari 2010).
- Mohan, S.V., Raghavulu, S.V., Srikanth, S., Sarma, P.N. 2007. Bioelectricity production by mediatorless microbial fuel cell under acidophilic condition using wastewater as substrate: influence of substrate loading rate. *Current Science* 92 (12): 1720-1726.
- Mukono dan Triwulan. 2006. Bahan Bangunan dari Lumpur Lapindo Aman Bagi Kesehatan. ITS: Surabaya. <http://www.its.ac.id/semuaberita.php>.

- Park HS, Kim BH, Kim HS, Kim GT, Kim M, Chang IS. 2001. Anovel electrochemically active and Fe (III)-reducing bacterium phylogenetically related to *Clostridium butyricum* isolated from microbial fuel cell. *J. Anaerobe. Lett.* 7:297-306.
- Pham Ca, Jung SJ, Phung NT, Lee J, dan Kim BH. 2004. Improvment of cathode reaction of a mediator-less microbial fuel cell. *J.Microbiol. Biotechnol.* 14:324-329.
- Pitakasari AR. 2011. Merdeka 65 tahun, 39 dusun di Malang belum teraliri listrik. [terhubung berkala]. [http://www. republika.com](http://www.republika.com). (25 Februari 2011).
- Rabaey K., Lissens G., Verstraete, W. 2004. *Microbial Fuel Cell: Permormance and Perspective*. Belgium: Ghent University.
- Setyawan I. 2010. Lumpur Lapindo jadi perhatian dunia. [terhubung berkala]. <http://www.kompas.com>. (25 Februari 2011)
- Setyowati EW, Widodo AW. 2007. *Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Terhadap Kualitas Genteng Keramik*. Tidak diterbitkan. Malang: Jurusan Sipil Fakultas Teknik UNIBRAW.
- Silvikasari, Osy Y, Heryani, Qottrunada, dan Haribowo. 2009. Pemanfaatan Limbah Cair Terasi di Kabupaten Cirebon Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif. [Laporan Akhir Penelitian]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Torres Cl, Kato Ma, dan Rittmann BE. 2008. Proton transport inside the biofilm limits electrical current generation by anoda-respiring bacteria. *J. Biotechnol.* Bioeng. 100: 872-881.
- Utomo PW. 2010. Bahaya laten kasus lumpur Lapindo. *Lantan Bentala* 83: 1-2.
- Utomo Y. 2009. *Lingkungan Hidup*. Malang: Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian, Universitas Negeri Malang.
- Yuarso IT. 2010. Semburan metan kembali lagi. Kompas: 11 (kolom 6-8).

LAMPIRAN**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

1. Ketua Pelaksana Kegiatan

- a. Nama Lengkap : Muhammad Iqbal Akbar M.
- b. NIM : G84070027
- c. Tempat/Tanggal lahir : Sukabumi, 1 Agustus 1988
- d. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam/Biokimia
- e. Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor
- f. Karya Ilmiah yang Pernah Dibuat :
- Identifikasi dan Karakterisasi Polimorfisme pada DNA Kerbau Toraja Hasil Persilangan
 - *Floating Aquatic Plant System* Sebagai Fitoremediasi Untuk Menanggulangi Pencemaran Perairan oleh Limbah Tapioka
 - Isolasi dan Nanoenkapsulasi Lutein dari Mikroalga *Scenedesmus* sp. untuk Aplikasi Pewarna Alami Pangan
 - Pemanfaatan Ekstrak Polifenol dari Limbah Kulit Buah Delima (*Punica granatum L.*) Budidaya Asal Lampung Utara Sebagai Inhibitor Hepatotoksik

- Fortifikasi Yogurt Susu Kerbau (Dadih) dengan *Bifidobacterium bifidum* dalam Bentuk Tablet Hisap *Effervescent*
- Sediaan Herbal Antikolesterol Berbasis Limbah Kayu Mahoni (*Sweetenia macrophyla* KING) terhadap Tikus *Sprague Dawley*

g. Penghargaan Ilmiah yang Diraih :

- Juara 2 Kompetisi Inovasi dan Agroteknologi – FORCES IPB 2011
- Juara 2 Kompetisi Karya Tulis Mahasiswa – INDEX 2011
- Juara Poster Terbaik Kompetisi Inovasi dan Agroteknologi
- Finalis PIMNAS XXIII-UNMAS
- Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian didanai DIKTI Tahun 2010
- Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian didanai DIKTI Tahun 2011

2. Anggota Pelaksanaan Kegiatan

- a. Nama Lengkap : Puji Astuti
- b. NIM : G84070052
- c. Tempat/Tanggal lahir : Pontianak, 21 April 1990
- d. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Biokimia
- e. Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor
- f. Karya Ilmiah yang Pernah Dibuat :

- Aktivitas anti-tirosinase lidah buaya sebagai pemutih kulit yang aman dan alami
- Aktivitas ekstrak gel lidah buaya sebagai antiinflamasi untuk proses penyembuhan luka pada Sprague Dawley

g. Penghargaan Ilmiah yang Diraih :

- Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian didanai DIKTI Tahun 2011

3. Anggota Pelaksanaan Kegiatan

- a. Nama Lengkap : Dian Rahmawati

- b. NIM : G84080082
- c. Tempat/Tanggal lahir : Banyumas, 15 Maret 1989
- d. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Biokimia
- e. Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor
- f. Karya Ilmiah yang Pernah Dibuat :
- Pengendalian Masa Pembungaan Padi Lokal Baeq Ganggas Asal NTB dengan Mengekspresikan Gen Umur Genjah.
 - Pembuatan Yoghurt Serbuk (Sachet) Berbasis Susu Kerbau dengan Fortifikasi Propolis yang Kaya akan Probiotik
- g. Penghargaan Ilmiah yang Diraih :
- Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian didanai DIKTI Tahun 2011
 - Program Kreativitas Mahasiswa bidang Kewirausahaan didanai DIKTI Tahun 2011

NAMA DAN BIODATA DOSEN PENDAMPING

1. Nama Lengkap dan Gelar : Dimas Andrianto, M.Si.
2. NIP : 1983119 200912 1 003
3. Jabatan Fungsional : Dosen
4. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/
Biokimia
5. Bidang Keahlian : Metabolisme