

LOMBA KARYA ILMIAH MAHASISWA ITB
BIDANG ENERGI
PENGHARGAAN PT. REKAYASA INDUSTRI



PEMANFAATAN LIMBAH CAIR SEBAGAI SUMBER ENERGI
LISTRIK PADA MICROBIAL *FUEL CELL*

Oleh:

Mutiara L. Sidharta	10603035
Jamilah	10603004
Dian Karamita	10603086
Willy Brianno	10203068
Ahmad Hamid	13205198

Kerjasama ITB dengan PT. REKAYASA INDUSTRI
Tahun 2007

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pemanfaatan Limbah Cair Sebagai Sumber Energi Listrik Pada *Microbial Fuel Cell*
2. Himpunan Mahasiswa : Hima-SITH, Himafi, HME
3. Bidang Penelitian : Energi Alternatif
4. Ketua Pelaksana Penelitian
Nama lengkap : Mutiara Laksminingrum Sidharta
NIM : 10603035
Prodi/Fakultas/Sekolah : Biologi/Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati
Alamat Rumah dan No.Telp/hp : Jl. Sadang Tengah I No. 16 Bandung/08159914709
Alamat Email : muti_punya@yahoo.com
Anggota Pelaksana Penelitian : 4 orang
5. Biaya Penelitian yang diusulkan : Rp 5.000.000
6. Jangka Waktu Pelaksanaan : 4 bulan
7. Waktu untuk kegiatan Penelitian : 10 jam/minggu

Bandung, 25 September 2007

Pembimbing,

Ketua Pelaksana Penelitian

(Dr. I Nyoman P. Aryantha)

(Mutiara L. Sidharta)

NIP. 131 875 316

NIM. 10603035

Menyetujui

Kepala Program Studi

Dekan Fakultas/Sekolah

Biologi

Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati

(Dr. Devi Nandita Choesin)

(Dr. Intan Ahmad)

NIP. 131 760 351

NIP.

ABSTRAK

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan pengembangan *Fuel Cell* yang biasanya berbahan bakar hidrogen murni. Penggunaan materi organik, misalnya limbah cair organik, yang dapat dimanfaatkan oleh mikroba sebagai sumber energi dapat mereduksi biaya selain menjadi alternatif solusi penanggulangan limbah cair organik. Dalam penelitian ini, potensi konsorsium mikroba dalam tiga macam limbah cair organik, yakni limbah cair tahu, kelapa sawit, dan rumen untuk menghasilkan beda potensial listrik pada sistem MFC (rangkaian bejana sepasang dan seri) ingin diketahui. Selain itu, optimasi terhadap sampel limbah terpilih juga dilakukan untuk meningkatkan beda potensial listrik yang dihasilkan. Pengukuran beda potensial listrik sistem MFC dengan bejana sepasang menunjukkan bahwa ketiga macam limbah cair berpotensi menghasilkan beda potensial listrik. Limbah cair rumen memberikan hasil terbesar, yakni 810 mV. Sedangkan untuk limbah cair tahu dan kelapa sawit sebesar 313 mV dan 575 mV. Berdasarkan hasil pengukuran aktivitas enzimatis diantara ketiga jenis limbah dengan menggunakan metode FDA (*Fluorescein Diacetate*) diperoleh jumlah FDA terhidrolisis yang terbesar pada limbah cair rumen yaitu 101,636 $\mu\text{g/ml/20}$ menit. Nilai tersebut jauh berbeda dibandingkan dengan jumlah FDA terhidrolisis maksimum pada limbah cair tahu dan kelapa sawit sebesar 27 $\mu\text{g/ml/20}$ menit dan 21 $\mu\text{g/ml/20}$ menit. Dari pengujian karakteristik sistem MFC dengan bejana seri diperoleh hasil bahwa pemberian beda potensial tambahan (pada t tertentu) mampu meningkatkan beda potensial yang dihasilkan oleh konsorsium mikroba dibandingkan kondisi alami (tanpa penambahan). Selain itu, sistem MFC dengan bejana seri berfungsi serupa dengan penyimpan muatan (kapasitor).

kata kunci :

Microbial Fuel Cell, limbah cair organik, beda potensial listrik,

PRAKATA

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, karena atas izin dan petunjuk-Nya tim penulis dapat menyelesaikan Laporan Penelitian Lomba Karya Ilmiah Bidang Energi atas Penghargaan PT Rekayasa Industri yang berjudul Pemanfaatan Limbah Cair sebagai Sumber Energi Listrik pada *Microbial Fuel Cell*. Penelitian ini tidak akan dapat terlaksana tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, tim penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua tim penulis yang telah memberikan semangat, do`a, serta dukungan materi maupun spiritual.
2. Dr. I Nyoman P. Aryantha, sebagai Dosen Pendamping, yang telah memberikan saran dan bimbingan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.
3. Dr. Bambang Anggoro, atas kritik dan masukan yang bermanfaat bagi pelaksanaan penelitian ini.
4. Sdr. Ahmad Rifqy Marully sebagai sesepuh dan penasihat, atas waktu dan segala bantuannya kepada tim penulis.
5. Teman-teman mantan personil P-32/58 (Dhani dan Nana) yang turut mencurahkan perhatian dan doa serta memberikan bantuan tenaga kepada tim penulis selama penelitian ini berlangsung.
6. Sdr. Chandra yang telah merelakan waktu dan kendaraan pribadinya bagi kepentingan penelitian ini.
7. Sdr. Panji dan Evan, atas bantuan keahlian teknis serta masukan-masukannya.
8. Semua pihak, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan.

Penulis sangat menyadari bahwa hasil penelitian serta laporan ini masih jauh dari sempurna. Dengan demikian, masukan berupa saran dan kritik yang membangun akan sangat diharapkan, agar penelitian selanjutnya semakin baik.

Mudah-mudahan laporan ini dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya oleh semua pihak yang memerlukan. Penulis juga berharap agar segala informasi yang tertuang dalam tulisan ini bermanfaat bagi kepentingan pengembangan teknologi Indonesia di masa depan. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Allah Yang Maha Pemurah melimpahkan segala Rahmat-Nya kepada kita semua.

Bandung, September 2007

Tim Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
PRAKATA.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Luaran yang Diharapkan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Fuel cell.....	4
2.2 Microbial Fuel Cell (MFC).....	5
2.3 Reaksi Bioenergi.....	6
2.4 Fermentasi Mikroba.....	6
2.5 Limbah Cair.....	7
2.6 Karakteristik Enzim.....	9
2.7 Metode Hidrolisis FDA (Fluorescein Diacetate).....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Persiapan alat dan bahan.....	11
3.2 Pengambilan sampel limbah cair.....	13
3.3 Pengamatan dan Pengukuran.....	13
3.4 Optimasi sampel terpilih.....	15
3.5 Pelaksanaan Program.....	15
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Hasil pengukuran beda potensial MFC bejana sepasang.....	16
4.2 Hasil pengukuran beda potensial MFC bejana seri.....	18
4.3 Hasil pengukuran aktivitas enzimatik limbah cair dengan metode FDA.....	20
4.4 Optimasi limbah cair terpilih.....	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	23

5.1	Kesimpulan	23
5.2	Saran	23
DAFTAR PUSTAKA		24
Lampiran A		26
Lampiran B		27
Lampiran C		28
Lampiran D		29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi yang semakin terasa dewasa ini memicu pengembangan sumber energi alternatif terbarukan (renewable) untuk mensubstitusi penggunaan minyak bumi yang selama ini menjadi sumber energi utama bagi masyarakat. Krisis energi ini dipicu dari pertumbuhan populasi manusia secara global dan berkembang teknologi baru yang membutuhkan energi listrik dalam melakukan kinerja aplikasinya. Diantara beragam pilihan penghasil energi substituen, *fuel cell* merupakan salah satu contoh teknologi energi alternatif yang berprospek untuk dikembangkan. Selama ini *fuel cell* dikenal memanfaatkan hidrogen murni sebagai sumber energi (donor elektron). Menurut beberapa penelitian yang pernah dilakukan, energi *fuel cell* tidak selalu harus bersumber dari hidrogen murni, melainkan juga dapat bersumber dari zat-zat lain yang mengandung hidrogen atau menghasilkan elektron (Anonim 3, 2006).

Microbial Fuel Cell (selanjutnya disingkat MFC) merupakan *fuel cell* yang memanfaatkan materi organik, misalnya limbah organik, yang digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi dalam melakukan aktivitas metabolismenya. Menurut hasil penelitian Christy dan Yazdi, MFC yang memanfaatkan 500 ml cairan rumen sapi sebagai komponen anoda mampu menghasilkan tegangan listrik sebesar 600 mV. Pada penelitian lanjutan di Penn State, telah dihasilkan energi untuk satu elektroda dengan luas permukaan sebesar 1 m² adalah 10-50 miliWatt (Yazdi *et al.*, 2006). Berdasarkan hasil penelitian tersebut telah terbukti adanya potensi pemanfaatan limbah organik yaitu salah satunya berasal dari cairan rumen sapi. Dengan pemanfaatan limbah, biaya operasional *fuel cell* diharapkan dapat ditekan menjadi lebih murah. Selain itu, aplikasi teknologi ini juga dapat menjadi solusi alternatif bagi penanggulangan limbah yang umumnya memberikan dampak negatif terutama bagi masyarakat sekitar. Namun masih diperlukan pengkajian seputar pemanfaatan limbah cair organik lainnya yang berpotensi menghasilkan beda potensial listrik dengan sistem MFC.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam sistem MFC, mikroba yang terdapat secara alami dalam limbah cair akan dimanfaatkan untuk memproduksi energi listrik melalui reaksi yang memungkinkan terjadinya transpor elektron dari permukaan sel ke anoda. Energi listrik yang dihasilkan oleh konsorsium mikroba dalam sampel limbah cair tanpa perlakuan khusus mungkin tidak cukup besar untuk dapat dimanfaatkan. Oleh karena itu, untuk meningkatkan perolehan energi listrik, akan dilakukan pengukuran secara seri dan optimasi terhadap sampel. Optimasi bertujuan untuk meningkatkan produksi energi listrik oleh konsorsium mikroba. Upaya ini juga diharapkan dapat menurunkan kadar pencemar pada sampel limbah cair yang digunakan.

1.3 Tujuan Penelitian

- Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi konsorsium mikroba dalam sampel limbah cair untuk menghasilkan listrik.

- Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui kemungkinan terjadinya peningkatan produksi energi listrik oleh konsorsium mikroba yang secara alami terdapat dalam limbah cair seiring dengan terjadinya proses perbaikan kondisi limbah tersebut. Selain itu ingin melihat karakter fisik dan kimia mencakup aktivitas enzimatik dari sampel limbah cair yang digunakan. Limbah cair yang akan digunakan adalah cairan rumen, limbah kelapa sawit, dan limbah cair tahu. Selain itu, dengan penelitian ini kami ingin membuktikan bahwa penyusunan komponen dalam sistem MFC secara seri dan optimasi sampel dapat meningkatkan perolehan energi listrik dari metabolisme konsorsium mikroba.

1.4 Luaran yang Diharapkan

Hasil dari kegiatan penelitian ini diharapkan dapat dipublikasikan secara ilmiah sehingga dapat menjadi inspirasi bagi pengembangan teknologi MFC selanjutnya, khususnya mengenai pemanfaatan limbah cair sebagai sumber energi listrik alternatif.

1.5 Manfaat Penelitian

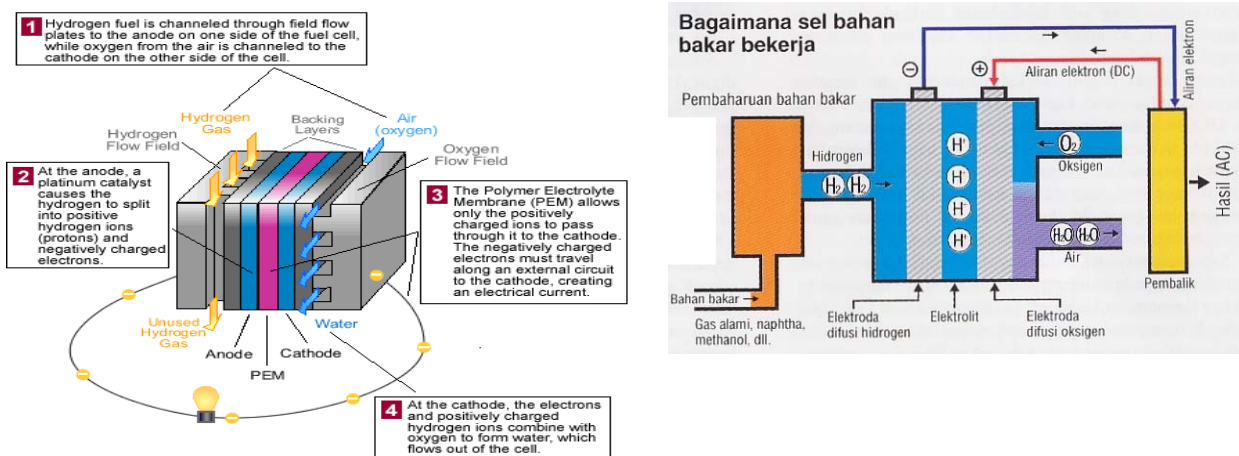
Penggunaan limbah cair sebagai alternatif sumber energi listrik merupakan nilai tambah tersendiri yang dapat dimanfaatkan selama proses fermentasi mikroba yang terjadi dalam limbah cair tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fuel cell

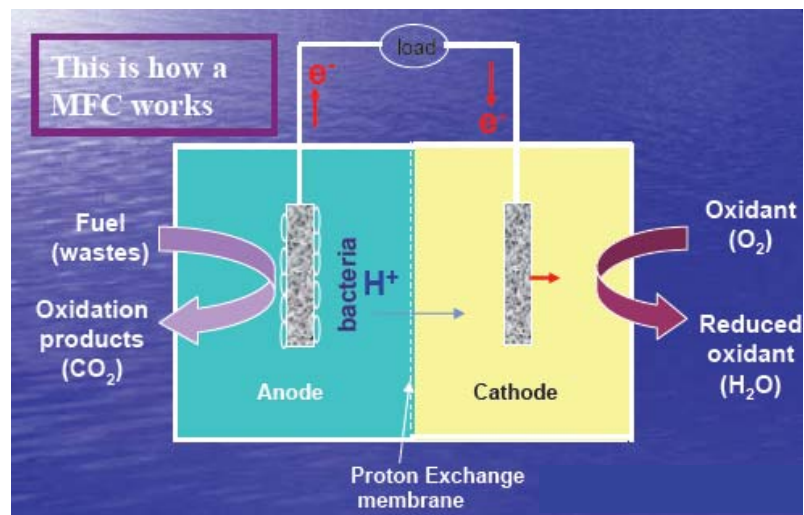
Fuel cell tersusun atas anoda, katoda dan elektrolit (membran) (Gambar 2.1). Anoda berperan sebagai tempat terjadinya pemecahan hidrogen (H_2) menjadi proton dan elektron (listrik). Katoda berperan sebagai tempat terjadinya reaksi penggabungan proton, elektron dan oksigen untuk membentuk air. Elektrolit adalah media untuk mengalirkan proton. Pada *fuel cells* berbahan bakar hidrogen, ketika molekul hidrogen melakukan kontak dengan anoda, molekul tersebut terpisah menjadi ion hidrogen dan elektron. Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju katoda, menimbulkan aliran listrik. Ion hidrogen melewati elektrolit (membran) juga menuju katoda, lalu bergabung dengan elektron dan oksigen dari udara membentuk molekul air (Anonim 2, 2006).



Gambar 2.1 Prinsip kerja *Fuel cell*

2.2 *Microbial Fuel Cell (MFC)*

Prinsip kerja MFC adalah memanfaatkan mikroba yang melakukan metabolisme terhadap medium di anoda untuk mengkatalisis perubahan materi organik menjadi energi listrik dengan mentransfer elektron dari anoda melalui kabel, menghasilkan arus ke katoda. Transfer elektron dari anoda diterima oleh ion kompleks di katoda yang memiliki elektron bebas.



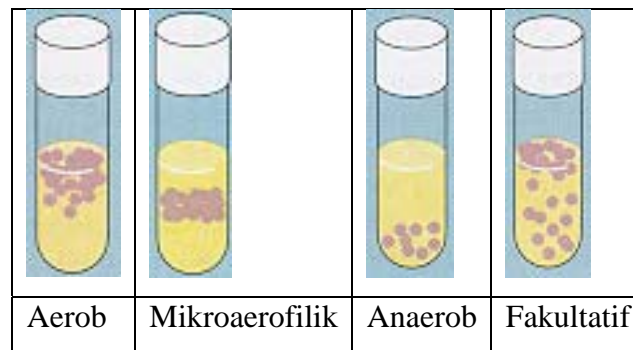
Gambar 2.2 Prinsip kerja sistem MFC

Dalam MFC, yang dapat digunakan sebagai donor elektron adalah zat hasil metabolisme mikroba atau elektron yang dilepaskan mikroba saat melakukan metabolismenya. Zat hasil metabolisme mikroba umumnya merupakan senyawa yang mengandung hidrogen, seperti etanol, metanol, atau gas methan. Senyawa ini dapat digunakan sebagai sumber hidrogen melalui serangkaian proses dalam reformer untuk memproduksi elektron dan menghasilkan arus listrik (Anonim 6, 2006).

Setiap aktivitas metabolisme yang dilakukan mikroba umumnya melibatkan pelepasan elektron bebas ke medium (Madigan *et al.*, 1997). Elektron ini dapat dimanfaatkan langsung pada anoda dalam MFC untuk menghasilkan arus listrik. Cara ini lebih mudah daripada mengolah senyawa yang mengandung hidrogen menjadi hidrogen murni lebih dulu (Anonim 3, 2006).

2.3 Reaksi Bioenergi

Reaksi bioenergi dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu fermentasi, respirasi aerob, dan respirasi anaerob. Pembagian ini didasarkan pada perbedaan akseptor elektron. Dalam fermentasi, tidak ada akseptor dari luar sistem yang berperan sehingga senyawa organik berfungsi sebagai donor elektron sekaligus juga sebagai akseptor elektron. Pada respirasi aerob, oksigen bebas merupakan satu-satunya akseptor elektron, karbondioksida merupakan hasil akhir oksidasi. Respirasi anaerob menggunakan senyawa anorganik sebagai akseptor elektron, misalnya nitrit, sulfat atau karbonat (Madigan *et al.*, 1997). Berdasarkan hal ini, mikroba dapat digolongkan menjadi mikroba aerob (obligat dan fakultatif), mikroaerofilik, dan anaerob (obligat dan fakultatif) (Madigan *et al.*, 1997) (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Jenis-jenis mikroba berdasarkan kebutuhan oksigen

Enzim oksireduktase mengkatalis pelepasan hidrogen ataupun penambahan oksigen dari substrat. Enzim yang berperan penting dalam proses bioenergi ini terdiri dari enzim dehidrogenase dan oksidase. Dehidrogenase mengkatalisis oksidasi molekul substrat dengan pengurangan hidrogen (dehidrogenasi), misalnya oksidasi substrat organik alkohol menjadi asetaldehid. Oksidase mengkatalisis pemindahan hidrogen langsung ke oksigen atau penggabungan oksigen pada substrat secara langsung.

2.4 Fermentasi Mikroba

Fermentasi berasal dari kata ferment yang berarti enzim. Definisi dari fermentasi adalah suatu proses yang bekerja berdasarkan kerja enzim. Fermentasi merupakan perubahan suatu senyawa maupun bahan organik melalui peristiwa biologis yang dilakukan oleh mikroba atau enzim menjadi suatu produk baru berstruktur fisik dan kimia

yang memiliki nilai sama tinggi (Ginandjar, 1983). Definisi lain menurut Prescott dan Dunn (1959), fermentasi adalah suatu proses perubahan kimia yang dihasilkan dalam suatu substrat organik melalui kegiatan rumit enzim-enzim dari mikroba. Adanya perubahan kimia oleh aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroba itu meliputi perubahan molekul-molekul kompleks atau senyawa organik seperti protein, karbohidrat, maupun lemak menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana, mudah larut dan daya cerna yang tinggi (Shurtleff dan Aoyagi, 1979).

Adanya proses fermentasi memiliki beragam manfaat diantaranya menurut Shurtleff dan Aoyagi (1979), yaitu dapat mengubah molekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana dan mudah dicerna, mengubah rasa dan aroma menjadi lebih baik. Selain itu produk hasil fermentasi akan menjadi tahan lama dan dapat mengurangi senyawa racun yang dikandung sehingga nilai ekonomi bahan dasarnya menjadi lebih baik (Saono, 1976).

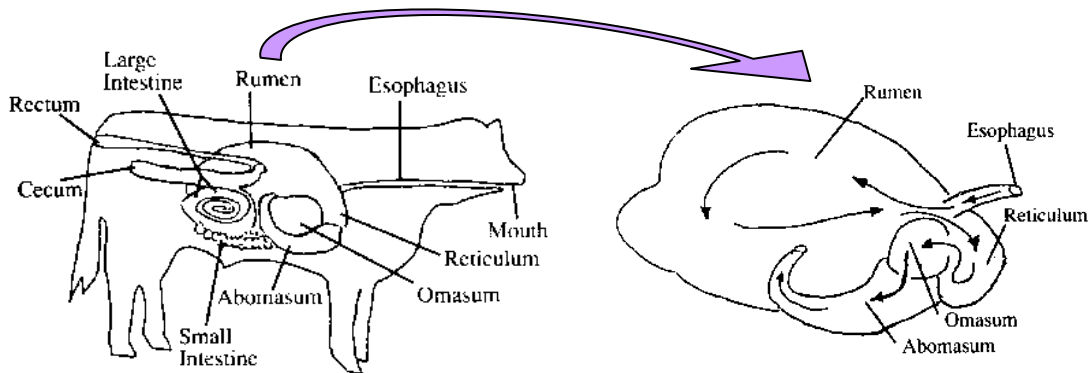
2.5 Limbah Cair

Limbah cair merupakan sisa buangan hasil suatu proses yang sudah tidak dipergunakan lagi, baik berupa sisa industri, rumah tangga, peternakan, pertanian, dan sebagainya. Komponen utama limbah cair adalah air (99%) sedangkan komponen lainnya adalah bahan padat yang bergantung pada asal buangan tersebut.

- **Limbah Cair Rumen**

Rumen adalah istilah untuk salah satu bagian terbesar dari empat bagian lambung tempat terjadinya pencernaan awal dalam sistem pencernaan hewan ruminansia (pemamah biak) (Gambar 3). Dalam rumen ini terdapat berbagai jenis mikroba pencerna selulosa yang hidup bersimbiosis dengan membantu pencernaan hewan ruminansia tersebut. Menurut Campbell, *et al.* (1999), habitat alami mikroba rumen adalah dalam cairan rumen yang mengandung substrat selulosa berasal dari makanan yang ditelan dan bercampur dengan berbagai enzim pencernaan dengan suhu optimum sekitar 40°C sedangkan secara garis besar menurut Madigan, *et al.* (1997), habitat alami mikroba rumen adalah dalam cairan rumen yang mengandung substrat polisakarida kompleks seperti amilum (berasal dari gandum, beras, biji padi-padian), pektin (terkandung dalam batang rumput, atau batang pohon muda), lignin (banyak terdapat pada kulit kayu), dan

terutama selulosa (berasal dari rumput-rumputan) yang berasal dari makanan yang ditelan dan bercampur dengan berbagai enzim pencernaan dengan suhu konstan sekitar 39°C dan pH konstan 6,5. Karena kompleksitas substrat tersebut, maka komposisi mikroba dalam rumen terdiri dari berbagai jenis protozoa, fungi, dan mikroba dengan karakteristik metabolisme berbeda yang saling berinteraksi membentuk sistem biokimia yang kompleks.



Gambar 2.4 Anatomi sistem pencernaan ruminansia

- Limbah Kelapa Sawit

Industri pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang besar. Dengan mengacu pada data produksi tahun 2004, limbah cair yang dihasilkan diperkirakan mencapai 37.633 juta ton (Anonim 1, 2006). Menurut sebuah penelitian, kandungan rata-rata BOD (Biological Oxygen Demand) limbah cair ini adalah 25,3 g/l sedangkan COD 34,7 g/l. Kadar keasaman (pH) limbah juga rendah, yakni 4,1. Kondisi ini menyebabkan limbah cair kelapa sawit menjadi salah satu sumber pencemar lingkungan yang potensial di Indonesia.

- Limbah Cair Tahu

Pada proses pengolahan tahu, sebagai hasil sampingannya dihasilkan limbah berupa ampas tahu serta cairan tahu yang biasanya dibuang ke perairan. Berbeda dengan cairan tahu sebagai salah satu hasil proses penggilingan, ampas tahu sudah tidak dianggap sebagai limbah yang merugikan melainkan telah digunakan oleh masyarakat yang bergelut dalam bidang peternakan sapi. Menurut keterangan salah seorang peternak

di Lembang, ampas tahu digunakan sebagai pakan sapi perah khususnya karena dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas susu sapi. Oleh karena itu, ampas tahu sudah memiliki nilai komersial.

Pada proses pembuatan tahu digunakan asam cuka (asam asetat) dengan konsentrasi 0,03 M (Anonim 4, 2007) yang berfungsi untuk menggumpalkan tahu. Selain asam cuka, air jeruk atau asam laktat juga dapat digunakan sebagai koagulan (Anonim 5, 2007). Adanya penambahan asam cuka tersebut mengakibatkan cairan tahu yang tersaring menjadi asam dan biasa disebut sebagai "air kembang" di kalangan industri pengolahan tahu. Air kembang yang sudah tidak dapat digumpalkan kembali menjadi tahu selanjutnya akan dibuang ke perairan padahal di dalamnya masih mengandung nutrisi (protein, karbohidrat, dan bahan-bahan lainnya) yang jika dibiarkan dibuang begitu saja ke sungai justru dapat menimbulkan pencemaran. Selain itu limbah cair tahu dapat digunakan sebagai media fermentasi bakteri contohnya *Acetobacter xylinum* (Warisno, 1994).

Cairan tahu (limbah cair tahu) atau biasa disebut sebagai air kembang, biasanya dibuang ke sungai yang mengalir dengan asumsi tidak akan merusak lingkungan dan meninggalkan bau tak sedap. Kenyataan yang terjadi, limbah tersebut dapat merusak ekosistem yang ada dalam suatu perairan. Hal ini terlihat dari penurunan nilai DO (Dissolved Oxygen) air dan peningkatan kadar BOD. Berbagai aplikasi pemanfaatan limbah cair tahu mulai digalakkan, salah satunya adalah proyek di Tarakan, Kalimantan pada kawasan Karang Anyar yang menggunakan limbah cair tahu menjadi biogas yang dimanfaatkan sebagai pengganti listrik (Kaltim Post, 15 Mei 2006).

2.6 Karakteristik Enzim

Di dalam sebuah sel rata-rata terdapat ribuan jenis enzim yang berbeda-beda yang dalam melaksanakan suatu aktivitas harus terkoordinasi sehingga produk yang sesuai dapat terbentuk dan tersedia pada tempat yang tepat, jumlah yang tepat, waktu yang tepat, dan tentunya dengan penggunaan energi seminim mungkin. Enzim berperan sebagai katalis hayati, dalam hal ini memiliki fungsi untuk mempercepat suatu reaksi kimiawi dengan jumlah enzim yang sedikit.

Berdasarkan tempat digunakannya, enzim terdiri atas dua tipe yaitu enzim intraselular atau endoenzim yang berfungsi di dalam sel, dan enzim ekstraselular atau eksoenzim yang berfungsi di luar sel. Fungsi utama endoenzim adalah mensintesis bahan selular dan juga menguraikan nutrisi untuk menyediakan energi yang dibutuhkan oleh sel. Sedangkan fungsi utama dari eksoenzim adalah melangsungkan terjadinya perubahan tertentu pada nutrisi yang ada di sekitarnya sehingga memungkinkan untuk dapat masuk ke dalam sel (Pelczar dan Chan, 1988). Molekul-molekul enzim memiliki efisiensi yang tinggi dalam mempercepat reaksi perubahan substrat menjadi produk akhir. Namun enzim bersifat tidak stabil, yakni aktivitasnya dapat berkurang atau rusak oleh berbagai faktor baik fisik maupun kimia

2.7 Metode Hidrolisis FDA (*Fluorescein Diacetate*)

Metode hidrolisis FDA (*Fluorescein diacetate*) adalah metode pengukuran jumlah total sel bakteri hidup secara tidak langsung dengan melihat aktivitas enzim ekstraseluler yang ditunjukkan oleh intensitas warna yang muncul akibat terjadinya hidrolisis FDA oleh berbagai macam enzim ekstraseluler. Produk dari hidrolisis enzim ini adalah zat fluorescein yang dapat dideteksi secara kuantitatif dengan menggunakan fluorometer atau spektrofotometer (Schnurer and Rosswall, 1982).

Semakin banyak jumlah bakteri yang hidup maka akan semakin banyak FDA yang terhidrolisis yang teramati secara kuantitatif dari nilai absorbansi (*optical density*) sebagai hasil pengukuran menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang tertentu. Semakin tinggi nilai absorbansi yang terukur menunjukkan semakin tinggi konsentrasi senyawa yang dihasilkan dalam hal ini adalah konsentrasi fluorescein yang secara tidak langsung menunjukkan tingkat aktivitas enzimatik bakteri.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Persiapan alat dan bahan

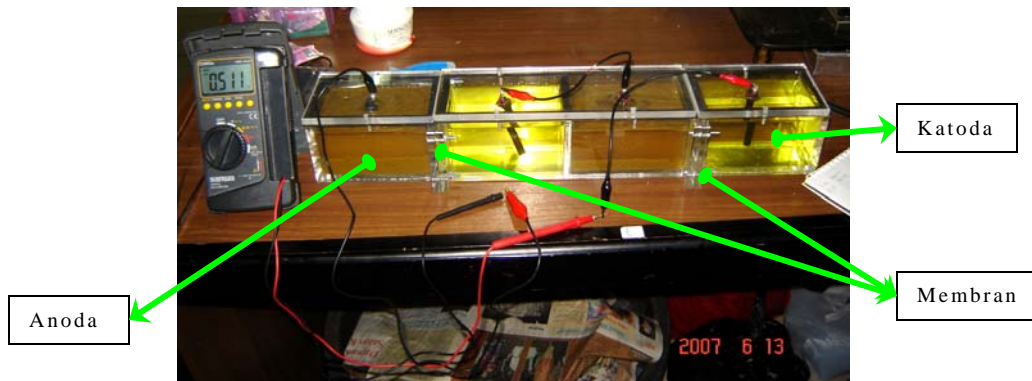
- Sistem Bejana

Sistem bejana yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua macam, yakni sistem sepasang dan sistem seri. Sistem bejana sepasang menggunakan sepasang wadah gelas, masing-masing berukuran 500 ml, untuk tempat anoda dan katoda (gambar 3.1). Masing-masing wadah gelas dilengkapi saluran berdiameter 3 cm menuju membran yang menjadi pembatas antara bagian anoda dan katoda. Kedua wadah gelas dihubungkan oleh suatu sirkuit eksternal yang mengalirkan arus elektron dari anoda ke katoda.



Gambar 3.1 Sistem MFC dengan bejana sepasang

Sistem bejana seri tersusun atas dua sistem bejana sepasang yang dirangkai secara seri. Sistem bejana seri terbuat dari bahan akrilik dengan volume 500 ml untuk setiap wadah (gambar 3.2). Lubang berdiameter 3 cm yang dibatasi membran menjadi penghubung antara dua wadah tempat katoda dan anoda.



Gambar 3.2 Sistem MFC dengan bejana seri

- Membran Nafion 117

Membran Nafion 117 (Lynntech, Amerika Serikat) berfungsi sebagai membran ion-exchange yang mengalirkan proton dari anoda ke katoda agar elektron dapat mengalir melalui sirkuit eksternal dan menghasilkan arus listrik. Ketebalan membran ini adalah 183 μm dan berat untuk setiap m^2 sebesar 360 g. Sebelum digunakan, membran diberi perlakuan untuk mengaktifkannya dengan tahapan sebagai berikut :

1. Direbus dalam akuades 1 jam
2. Direbus dalam 3% H_2O_2 1 jam
3. Direbus dalam 0,5M H_2SO_4 1 jam
4. Dicuci bersih 3 kali dengan akuades
5. Disimpan (direndam) dalam akuades hingga saat akan digunakan

Membran diapit oleh kedua wadah tempat anoda dan katoda, tepat di lubang yang tersedia. Oleh karena itu, membran memisahkan anoda dan katoda dengan tetap memungkinkan kontak langsung antara keduanya.

- Elektroda Karbon

Elektroda karbon memanfaatkan grafit dari baterai A yang tidak terpakai lagi. Elektroda ini merupakan hulu dan hilir sirkuit eksternal dimana terjadi kontak langsung dengan anolit dan katolit. Sebelum digunakan, elektroda karbon dinetralkan dengan perlakuan sebagai berikut :

1. Direndam dengan 1N HCl selama 1 hari kemudian dibilas dengan akuades

2. Direndam dengan 1N NaOH selama 1 hari kemudian dibilas dengan akuades
3. Direndam dengan akuades hingga saat akan digunakan



Gambar 3.4 Elektroda grafit

- Elektrolit

Katoda (katolit) pada setiap sistem bejana (sepasang dan seri) adalah campuran dari $K_3Fe(CN)_6$ yang dilarutkan dalam akuades hingga 50 mM dan K_2HPO_4 yang dilarutkan dalam akuades hingga 100 mM. Adapun anoda (anolit)-nya adalah limbah cair yang akan diuji.

3.2 Pengambilan sampel limbah cair

Sampel limbah cair rumen diambil langsung dari Rumah Pemotongan Hewan (RPH) Ciroyom. Setelah sapi dipotong dan dikuliti, limbah cair rumen dimasukkan ke dalam botol Winkler steril lalu ditutup rapat. Botol tersebut lalu dimasukkan ke dalam kotak es berisi es batu dan garam untuk menjaga kondisi sampel selama perjalanan. Sampel limbah kelapa sawit dari industri pengolahan kelapa sawit di Jambi dan sampel limbah cair tahu dari industri tahu di daerah Gunung Batu, Bandung juga diambil dengan prosedur serupa.

3.3 Pengamatan dan Pengukuran

- Pengukuran Faktor Fisika dan Kimia Sampel

Faktor fisik dan kimia sampel yang diukur adalah derajat keasaman (pH) dan kadar oksigen terlarut (Dissolved Oxygen/DO). DO dari setiap sampel limbah cair diukur menggunakan DO meter. Hasil pengukuran menunjukkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam limbah cair. pH sampel diukur menggunakan kertas indikator pH universal.

- Pengukuran Beda Potensial Sampel

Larutan sampel dimasukkan ke dalam bejana anoda dan larutan potasium ferisianida dimasukkan ke dalam bejana katoda. Sebelumnya membran ion exchange dipasang pada katup penghubung kedua bejana tersebut. Elektroda grafit di kedua bejana dipasang dan dihubungkan dengan kabel lalu bejana ditutup rapat. Kedua kabel, baik dari katoda maupun anoda, dihubungkan dengan multimeter. Multimeter diatur untuk pengukuran tegangan listrik pada skala terkecil terlebih dahulu kemudian nilai tegangan yang tertera pada layar multimeter diamati pada selang waktu tertentu. Pengamatan terhadap beda potensial sampel dilakukan setiap jam untuk sistem bejana sepasang sedangkan untuk sistem bejana seri, pengamatan dilakukan setiap 3 jam, hingga beda potensial terukur cenderung konstan.

- Pengukuran Aktivitas Enzimatik dengan Metode FDA

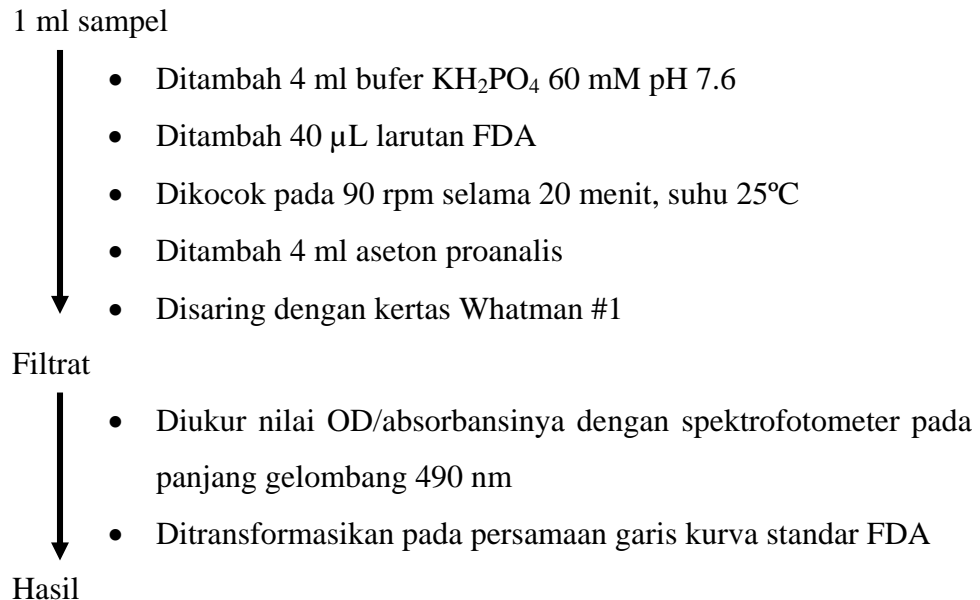
- 1) **Pembuatan kurva standar FDA**

Sebanyak 40 μL , 60 μL , 80 μL , 120 μL , dan 160 μL FDA (setara dengan 80 μg , 120 μg , 160 μg , 240 μg , dan 320 μg FDA) dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer masing-masing, kemudian dikocok dengan kecepatan 90 rpm selama 20 menit. Setelah 20 menit, masing-masing ditambahkan 4 ml aseton dan disaring dengan kertas Whatman #1, diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 490 nm. Hasil dari pengukuran tersebut kemudian dibuat grafik dan dihitung persamaannya sebagai kurva standar.

- 2) **Pengukuran FDA terhidrolisis**

Secara aseptis, sebanyak 1 ml inokulum limbah cair terpilih dicuplik setiap 2 jam sekali dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer berkapasitas 25 ml. Kemudian masing-masing Erlenmeyer ditambahkan 4 ml bufer KH_2PO_4 60 mM pH 7.6 dan 40 μL larutan FDA yang sebelumnya disimpan dalam lemari pendingin. Segera setelah penambahan FDA, sampel dikocok pada kecepatan 90 rpm selama 20 menit. Setelah itu, ditambahkan 4 ml aseton proanalisis ke dalamnya, dan sampel disaring dengan menggunakan kertas Whatman #1. Filtrat

sampel tersebut kemudian diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 490 nm. Untuk larutan blanko, dilakukan hal serupa namun di dalamnya tidak dimasukkan sampel. Berikut merupakan diagram alir metode ini :



3.4 Optimasi sampel terpilih

Dari ketiga sampel limbah yang diamati dalam penelitian ini, dipilih satu sampel yang memberikan nilai tegangan terbesar. Sampel terpilih tersebut kemudian dioptimasi untuk meningkatkan voltase listrik yang dihasilkan dalam MFC. Optimasi dilakukan dengan cara pemberian variasi pH menggunakan HCl 1 N atau NaOH 1 N.

Pengukuran DO serta beda potensial sampel hasil optimasi menggunakan cara yang sama dengan pengukuran sampel pertama kali (sebelum dioptimasi).

3.5 Pelaksanaan Program

Seluruh proses persiapan dan pengamatan sampel dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Pusat Ilmu Hayati yang berlokasi di Gedung Pusat Penelitian Antar Universitas (PPAU) lantai 6, kampus Institut Teknologi Bandung.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pengukuran beda potensial MFC bejana sepasang

Sistem MFC pada penelitian ini menggunakan limbah cair sebagai anolit dan larutan potasium ferisianida dalam dapar (buffer) fosfat sebagai katolit. Di dalam limbah cair terjadi proses metabolisme oleh mikroba yang menghasilkan ion H^+ (proton) dan elektron. Ion H^+ selanjutnya akan berpindah ke katoda melalui membran sedangkan elektron akan dialirkan keluar sistem mikroba melalui sirkuit eksternal yang secara langsung dapat digunakan untuk menghasilkan arus listrik (Liu *et al.*, 2004; Madigan *et al.*, 1997).

Larutan potasium ferisianida yang menjadi komponen katoda merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul $K_3[Fe(CN)_6]$, bersifat racun, dan dapat berfungsi sebagai agen pengoksidasi. Senyawa ini larut dalam air dan mampu memberikan warna *fluorescence* kuning kehijauan. Fe (III) yang terkandung di dalamnya akan tereduksi menjadi Fe (II) oleh elektron yang dialirkan dari anoda sebagai hasil metabolisme.

Membran penukar ion (Nafion 117) yang menjadi pembatas antara anolit dan katolit berfungsi mengalirkan ion H^+ dari anoda ke katoda. Membran ini merupakan polimer asam perflorosulfonat. Ketika berinteraksi dengan molekul air, asam perflorosulfonat akan melepaskan ion (H^+) dan terjadi lompatan dari satu molekul sulfonat (SO_3^-) ke molekul lain seperti elektrolit dalam air (Wagner, 2005).

Dengan bejana sepasang, ketiga macam limbah organik yang diuji dengan sistem MFC dapat menghasilkan beda potensial listrik dengan nilai bervariasi. Beda potensial listrik yang paling rendah adalah limbah cair tahu, yakni 313 mV sedangkan yang paling tinggi adalah limbah cair rumen, yakni 810 mV (tabel 4.1).

Tabel 4.1 Karakteristik limbah cair organik yang dianalisis dengan sistem MFC bejana sepasang

Sampel Limbah	Suhu awal	DO awal (mg/L)	DO akhir (mg/L)	pH awal	pH akhir	V-max (mV)
Tahu	36°C	0.2	1.4	3.93	4.06	313
Sawit	26°C	2.6	2.8	6.2	7	575
Rumen	39°C	1	1.9	6.45	7.02	810

Besar kecilnya beda potensial yang dihasilkan oleh limbah cair organik dipengaruhi oleh konsorsium mikroba yang hidup dan memanfaatkan nutrisi yang terkandung di dalam limbah tersebut. Makin aktif suatu konsorsium mikroba dalam melakukan metabolisme, makin banyak pula elektron bebas yang dihasilkan. Aliran elektron inilah yang menyebabkan beda potensial antara kedua kutub (anoda dan katoda) dan dapat dideteksi oleh multimeter.

Aktivitas metabolisme konsorsium mikroba bergantung pada ketersediaan materi organik (sumber karbon, sumber nitrogen, dll) di dalam limbah. Materi organik tersebut akan dioksidasi sehingga menghasilkan CO₂ sebagai produk akhir. Kandungan materi organik limbah cair rumen diperkirakan memiliki nilai tertinggi di antara ketiga macam limbah yang digunakan mengingat rumen merupakan lambung kedua dalam sistem pencernaan hewan ruminansia, misalnya sapi. Kayanya materi organik ini menyebabkan konsorsium mikroba yang hidup di dalamnya aktif melakukan metabolisme dan menghasilkan elektron bebas lebih banyak dibandingkan dua macam limbah yang lain.

Adapun kandungan materi organik di dalam limbah cair tahu dan kelapa sawit yang diperkirakan lebih sedikit dibandingkan limbah cair rumen disebabkan oleh tahapan proses pengolahan tahu dan kelapa sawit. Proses pengolahan tahu, misalnya penyaringan cairan kedelai setelah digumpalkan dengan asam cuka dilakukan berulang kali hingga akhirnya tidak lagi diperoleh gumpalan. Cairan yang siap dibuang ke sungai inilah yang menjadi limbah cair. Berdasarkan hal tersebut, kandungan materi organik di dalam limbah cair tahu pastilah sedikit, ditambah pula dengan tingkat keasaman yang tinggi. Akibatnya, aktivitas metabolisme konsorsium mikroba di dalam limbah cair tahu rendah.

Untuk mengetahui perubahan fisika dan kimia yang terjadi selama pengukuran beda potensial listrik sistem MFC dengan bejana sepasang, nilai pH dan DO limbah cair diukur sebelum dan sesudahnya. Kenaikan nilai pH terjadi pada kisaran : 0.13 – 0.57 sedangkan kenaikan nilai DO terjadi pada kisaran 0.2 – 1 mg/L. Peningkatan tingkat keasaman limbah terkait dengan aliran ion H⁺ dari anoda ke katoda yang akan mengurangi jumlah ion H⁺ di anoda. Oleh karena itu, pH limbah meningkat di akhir pengukuran meski tidak signifikan.

Menurut PP No.20 tahun 1990 mengenai Standar Baku Mutu Lingkungan, kriteria limbah cair yang boleh dibuang ke lingkungan yaitu harus memiliki kadar oksigen

terlarut (DO) minimum sebesar 3 mg/L. Jika DO dalam limbah masih berada di bawah ambang batas minimum tersebut, limbah harus diolah terlebih dahulu hingga memenuhi DO minimum 3 mg/L. Pengukuran DO awal terhadap ketiga macam sampel limbah cair yang diamati menunjukkan DO di bawah ambang batas minimum, yang berarti limbah tersebut tidak layak dibuang langsung ke lingkungan. Setelah limbah mengalami perlakuan sebagai anolit dalam sistem MFC selama 3 hingga 7 hari, terjadi peningkatan DO dalam limbah meskipun belum memenuhi standar baku mutu lingkungan. Peningkatan DO menunjukkan adanya aktivitas mikrobial di dalam limbah cair. Perlakuan yang lebih lama kemungkinan akan meningkatkan DO terukur hingga melampaui batas minimum.

4.2 Hasil pengukuran beda potensial MFC bejana seri

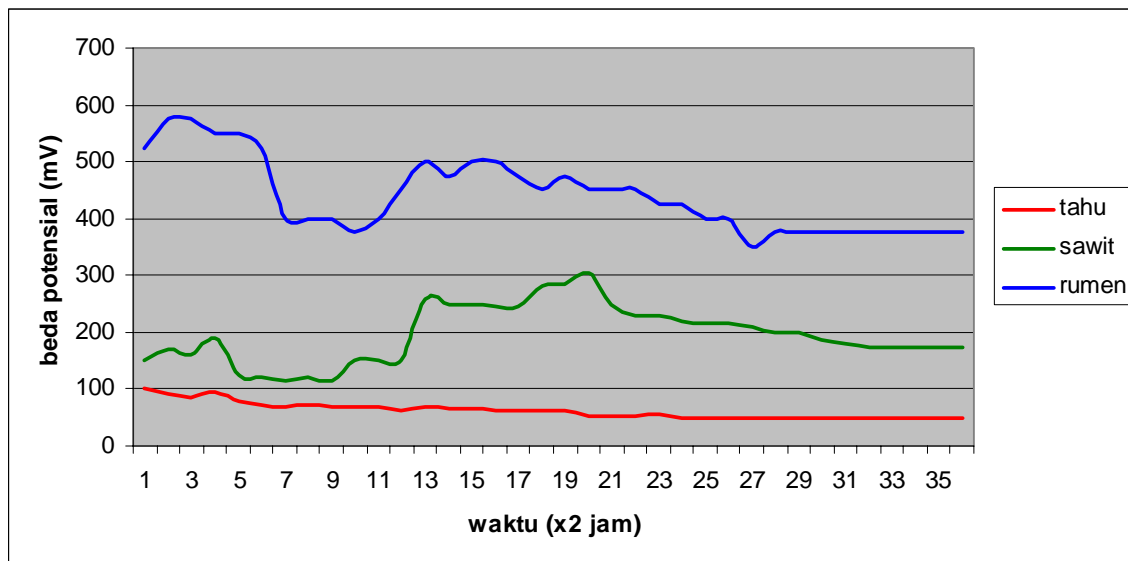
Selain menggunakan bejana sepasang, pengukuran beda potensial limbah cair juga dilakukan pada sistem MFC dengan bejana seri. Pengujian terhadap karakteristik sistem MFC ini menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan beda potensial yang lebih tinggi bila diberi beda potensial tambahan (pada t tertentu), dibandingkan kondisi alami (tanpa penambahan). Beda potensial tambahan dapat dianalogikan dengan cekaman lingkungan terhadap mikroba. Cekaman ini memicu mikroba untuk bermetabolisme lebih giat daripada biasanya. Dengan demikian elektron bebas yang dihasilkan juga lebih banyak.

Sistem MFC dengan bejana seri juga mampu berfungsi serupa dengan penyimpanan muatan (kapasitor). Muatan yang diberikan saat penambahan beda potensial di atas disimpan oleh sistem. Hal ini ditunjukkan oleh besarnya nilai yang terukur oleh multimeter setelah beda potensial tambahan tersebut dilepas. Pemakaian energi listrik yang dihasilkan oleh sistem membuat beda potensial yang dihasilkan menurun. Namun, pada titik tertentu beda potensial kembali meningkat. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem mampu memulihkan sendiri muatan listriknya. Pada kapasitor biasa, muatan listrik tetap pada nilai tertentu setelah digunakan. Kemampuan sistem MFC dengan bejana seri untuk mengisi ulang muatan listriknya tanpa perlakuan dari luar merupakan potensi yang dapat dikembangkan.

Pada pengukuran beda potensial MFC bejana seri terhadap tiga macam limbah yang sama seperti pengukuran dengan bejana sepasang, limbah cair rumen menghasilkan beda potensial tertinggi, yakni 575 mV, selama 70 jam pengukuran (tabel 4.2). Hal ini sejalan dengan hasil pengukuran pada bejana sepasang.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran beda potensial MFC bejana seri

Sampel Limbah	Suhu awal	DO awal (mg/L)	DO akhir (mg/L)	pH awal	pH akhir	V-max (mV)
Tahu	36°C	0.2	1.4	3.93	6.5	100
Sawit	26°C	2.6	2.8	6.2	6.9	305
Rumen	39°C	1	1.9	6.45	7.1	575



Gambar 4.1 Grafik beda potensial limbah cair yang terukur dengan sistem MFC bejana seri

Beda potensial yang dihasilkan oleh konsorsium mikroba selama pengukuran pada sistem MFC baik dengan bejana sepasang maupun bejana seri tidak stabil (gambar 4.1). Nilainya berfluktuasi di tiap waktu pengamatan. Hal ini terkait pula dengan aktivitas metabolisme mikroba yang terdapat di dalam limbah cair. Dalam aktivitas katabolisme, sejumlah energi dihasilkan saat senyawa kompleks dipecah menjadi senyawa sederhana. Sebaliknya, sejumlah energi dipakai saat senyawa sederhana disintesis menjadi senyawa kompleks. Kedua jenis metabolisme ini terjadi secara simultan. Pada waktu tertentu

secara umum (skala konsorsium mikroba) selisih dari total energi yang dihasilkan dan yang dipakai dapat meningkat atau menurun, bergantung pada reaksi yang berlangsung.

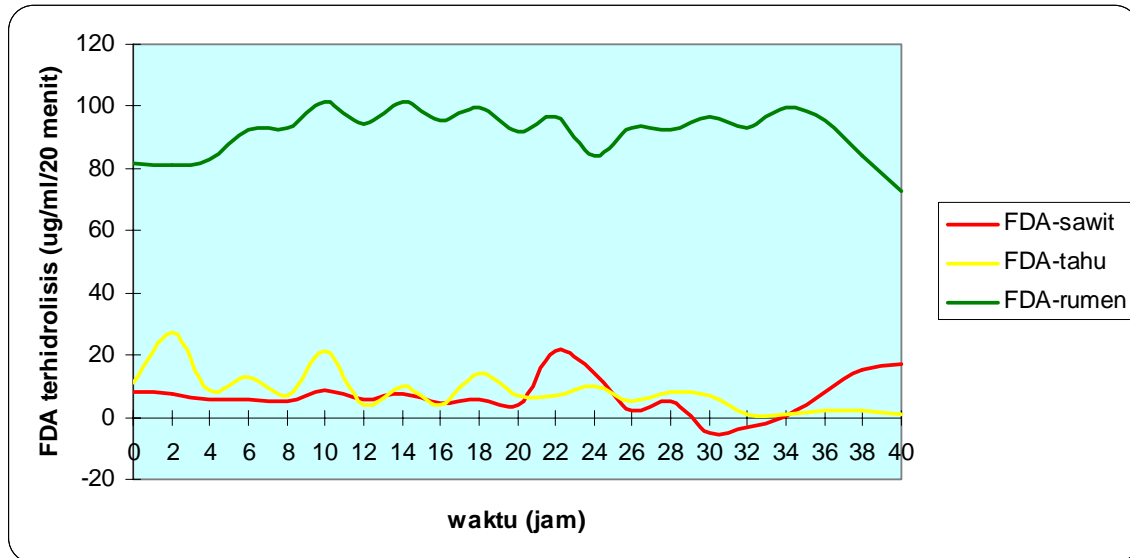
Selain karena aktivitas metabolisme, fluktuasi beda potensial turut disebabkan oleh interaksi antara mikroba penyusun konsorsium. Produk fermentasi (antara lain : laktat, suksinat, format, dll) dari satu jenis bakteri dapat menjadi substrat bagi jenis bakteri yang lain. Hal ini menyebabkan produk fermentasi tersebut tidak dapat dioksidasi untuk kemudian menghasilkan elektron bebas dan ion H^+ . Elektron yang dialirkan dari anoda ke katoda berkurang sehingga beda potensial yang terukur berkurang.

Peningkatan atau penurunan beda potensial listrik berkorelasi dengan jumlah elektron bebas yang dihasilkan oleh konsorsium mikroba. Peningkatan beda potensial yang terukur oleh multimeter kemungkinan terjadi saat mikroba melakukan pemecahan substrat sederhana yang terdapat di dalam medium. Adapun penurunannya, selain karena aktivitas anabolisme, kemungkinan dapat juga terjadi karena mikroba sedang beradaptasi untuk memecah substrat yang lebih kompleks menjadi sederhana. Peningkatan dan penurunan beda potensial listrik pada sistem MFC menggambarkan kedinamisan sistem karena digerakkan oleh makhluk hidup.

Beda potensial yang terukur pada bejana seri untuk masing-masing macam limbah lebih kecil dibandingkan beda potensial pada bejana sepasang. Hal ini kemungkinan dikarenakan kebocoran yang terjadi pada sistem sepasang, namun perihal mekanisme yang terjadi maupun reaksi yang berhubungan dengan penurunan beda potensial listrik tersebut diketahui dengan jelas. Kemungkinan lain adalah berkurangnya efektivitas membran nafion dan elektroda dalam mengalirkan proton dan elektron karena penggunaan yang berulang.

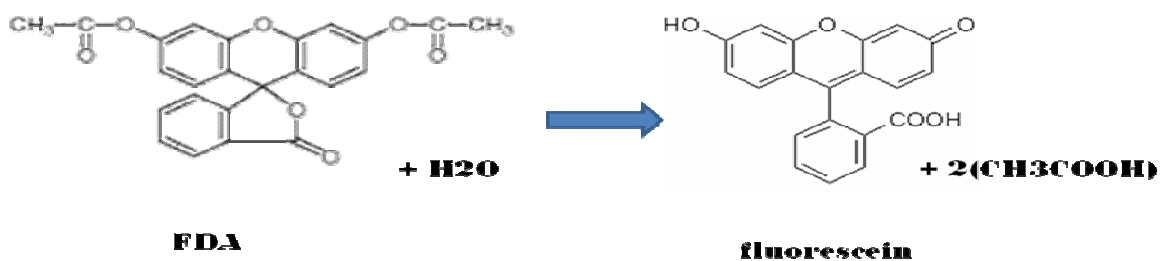
4.3 Hasil pengukuran aktivitas enzimatis limbah cair dengan metode FDA

Selain pengukuran terhadap faktor fisik dan kimia, dilakukan pengukuran aktivitas enzimatis tiap sampel limbah cair organik yaitu limbah cair tahu, limbah kelapa sawit, dan limbah rumen. Hasil pengukuran aktivitas enzimatis dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengukuran aktivitas enzimatis tiga jenis limbah cair

Berdasarkan gambar 4.2, diperoleh bahwa diantara ketiga jenis limbah yang digunakan pada penelitian ini memiliki pola fluktuatif dalam waktu 40 jam pengukuran. Dari ketiga jenis limbah terlihat jumlah FDA terhidrolisis terbesar pada limbah cair rumen. Jumlah FDA terhidrolisis yang dideteksi berkorelasi dengan banyaknya enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh sel mikroba dan secara tidak langsung menunjukkan jumlah mikroba yang hidup karena hanya mikroba yang masih hidup yang dapat menghasilkan enzim ekstraseluler. Keberadaan enzim ekstraseluler selanjutnya akan menghidrolisis senyawa *fluorescein diacetate* menjadi *fluorescein* dan dideteksi oleh spektrofotometer dengan panjang gelombang 490 nm dalam bentuk pendaran cahaya. Pada gambar berikut merupakan reaksi yang terjadi :



Gambar 4.3 Reaksi hidrolisis enzimatis pada FDA (Green, *et al.*2005)

Secara enzimatis, 3,6-diasetilfluoresein (FDA) akan dihidrolisis sehingga menghasilkan asam asetat dan fluoresein yaitu senyawa yang mampu menghasilkan

warna berpendar kuning kehijauan. Semakin banyak fluorescein yang terhidrolisis, semakin banyak pula enzim ekstraseluler yang tersedia dan tentunya semakin banyak pula sel bakteri viabel yang ada dalam sampel.

Pada hasil pengukuran ketiga limbah cair terlihat adanya nilai yang fluktuatif dikarenakan keanekaragaman dan kompleksitas substrat yang tersedia. Pada metode FDA ini, enzim ekstraseluler yang dimiliki oleh mikroba akan terdeteksi dan menunjukkan kuantitas substrat kompleks seperti selulosa, pektin, lignin, protein, lemak, dan lain-lain. Adanya fluktuasi tersebut menunjukkan keberadaan enzim ekstraseluler yang sedang menghidrolisis molekul kompleks dari substrat. Penurunan jumlah FDA yang terhidrolisis menunjukkan substrat kompleks tersebut telah diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga kinerja enzim ekstraseluler akan berkurang. Senyawa yang lebih sederhana tersebut kemudian akan masuk ke dalam sel untuk digunakan oleh mikroba yang kemudian diuraikan kembali oleh enzim intraseluler di dalam sel.

Jumlah FDA terhidrolisis pada limbah cair rumen (101,636 $\mu\text{g/ml/20menit}$) menunjukkan nilai yang jauh berbeda dibandingkan dengan limbah cair tahu dan kelapa sawit. Hal ini dikarenakan kompleksitas kandungan yang ada dalam cairan rumen dibandingkan dengan limbah cair tahu (21 $\mu\text{g/ml/20menit}$) maupun kelapa sawit (27 $\mu\text{g/ml/20menit}$). Hasil pengukuran aktivitas enzimatik ini berkorelasi positif dengan hasil pengukuran beda potensial listrik sehingga diasumsikan bahwa kompleksitas dan keanekaragaman substrat yang terkandung akan menunjukkan aktivitas mikroba yang juga beragam dan jumlahnya akan lebih tinggi dibandingkan dengan limbah dengan kandungan substrat yang tidak terlalu kompleks.

4.4 Optimasi limbah cair terpilih

Karena kendala teknis yang tidak diperkirakan sebelumnya yaitu terjadi kebocoran pada rangkaian bejana seri, serta keterbatasan waktu sehubungan dengan perbaikan kembali yang ternyata memerlukan waktu yang cukup lama, maka optimasi belum sempat dilakukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Limbah cair rumen sapi, limbah cair tahu dan limbah cair industri sawit dapat dimanfaatkan sebagai substrat dan agensia mikroba pada sistem MFC.
2. Dari tiga jenis limbah cair yang diuji dengan sistem MFC, limbah cair rumen memberikan tegangan listrik terbesar dibandingkan dua macam limbah cair lain yang diuji. Besar tegangan maksimal limbah cair rumen yang terukur dengan sistem MFC bejana sepasang ialah 810 mV dan yang terukur dengan sistem MFC seri ialah 575 mV.
3. Dari tiga jenis limbah cair yang digunakan, limbah cair rumen memiliki aktivitas enzimatik berupa kemampuan dalam menghidrolisis FDA yang paling besar yaitu 101,636 $\mu\text{g/ml/20menit}$ dibandingkan dengan limbah cair tahu (21 $\mu\text{g/ml/20menit}$) maupun kelapa sawit (27 $\mu\text{g/ml/20menit}$).
4. Sistem MFC seri belum mampu meningkatkan perolehan tegangan listrik yang lebih besar dibandingkan sistem MFC dengan bejana sepasang.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penapisan mikroba yang ada dalam cairan rumen sehingga dapat diketahui karakter morfologi dan fisiologi mikroba mencakup identifikasi.
2. Perlu dilakukan perbaikan sistem dalam hal rangkaian yang akan digunakan sebagai media uji MFC.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, Neil A., Jane B. Reece, Lawrence G. Mitchell. 1999. *Biology*, 5th Edition. Addison Wesley Longman Inc, Menlo Park.
- Green, V.S., D.E. Stott, M. Diack. 2005. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity : Optimization for soil samples. *Soil Biology & Biochemistry*, Vol 38, pp.693-701
- Ginandjar, I. 1983. *Fermentasi Biji Murcuma dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Protein*. Disertasi. Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Madigan, Thomas D., Michael T. Madigan, John M. Martinko & Jack Parker. 1997. *Biology of Microorganisms*, 8th Edition. Prentice Hall International Inc, New Jersey.
- Prescott, S.C. dan C.G. Dunn. 1959. *Industrial in Microbiology*, Dalam Survey Mikrobiologi yang Aktif dalam Fermentasi kecap. Hartati dan Karibun S. Proseding Lokakarya Bahan Berprotein Tinggi LKN. LIPI, Bandung. Volk, Wesley A. & Margaret F. Wheeler. 1988. *Mikrobiologi Dasar*, Edisi Kelima. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Saono, S. 1976. *Pemanfaatan Jasad Renik dalam Pengolahan Hasil Sampingan atau Sisa-sisa Produksi Pertanian*. Berita Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.
- Shurtleff dan Aoyagi. 1979. *The Book of Tempeh*. Herper and Row Publishing, New York.
- Wagner, Holly. 2005. *It's Electricity : Cows Show Promise as Powerplants*. Columbus : Ohio State University
- Warisno. 1994. Air Limbah Tahu Dapat Diolah Untuk Membran Sound System. Dalam *Suara Pembaruan*, 4 Oktober 1994. Jakarta.
- Yazdi, H.R., A.D. Christy, B.A. Dehority, and O.H. Tuovinen. 2006. ASABE Annual International Meeting, Oregon Convention Center, 9-12 July 2006. Proceeding : *A Microbial Fuel cell Coupling Anaerobic Degradation of Agricultural Lignocellulose Wastes to Electricity Generation*. Portland, Oregon

Anonim 1 : http://www.bfuel.biz/berburu_energi_di_kebun_sawit.html

Anonim 2 : <http://www.hondacorporate.com/fcx/>

Anonim 3 : <http://pubs.acs.org/journals/esthag/>

Anonim 4: www.pustaka-deptan.go.id, 2007

Anonim 5 : www.republika.co.id, 2007

Anonim 6 : [http://www.wrenmedia.co.uk/report/agriculture/beyond bio-methane](http://www.wrenmedia.co.uk/report/agriculture/beyond_bio-methane)

Lampiran A

Data Pengukuran Potensial Listrik Limbah Cair dengan Sistem MFC Seri

t _n	Waktu (jam)	Tegangan (mV)		
		Tahu	Sawit	Rumen
0	0	100	150	525
1	2	90	170	575
2	4	85	160	575
3	6	95	190	550
4	8	80	125	550
5	10	72,5	120	525
6	12	70	115	400
7	14	72,5	120	400
8	16	70	115	400
9	18	67,5	150	375
10	20	67,5	150	400
11	22	62,5	150	450
12	24	67,5	260	500
13	26	65	250	475
14	28	65	250	500
15	30	62,5	245	500
16	32	62,5	245	475
17	34	62,5	280	450
18	36	62,5	285	475
19	38	52,5	305	450
20	40	52,5	250	450
21	42	52,5	230	450
22	44	55	230	425
23	46	50	220	425
24	48	50	215	400
25	50	50	215	400
26	52	50	210	350
27	54	50	200	375
28	56	50	200	375
29	58	50	185	375
30	60	47,5	180	375
31	62	47,5	175	375
32	64	47,5	175	375
33	66	47,5	175	375
34	68	47,5	175	375
35	70	47,5	175	375

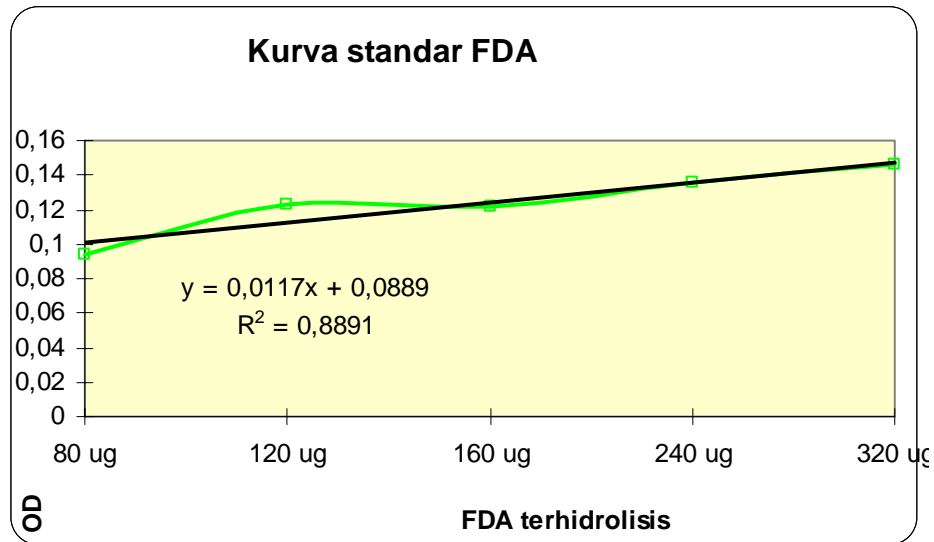
Lampiran B

Karakteristik Bakteri dalam Rumen

No	Mikroba	P.Gram	Bentuk	Motil	Produk fermentasi
1	Dekomposer selulosa <i>Fibrobacter succinogenes</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Ruminococcus albus</i> <i>Clostridium locheadii</i>	Negatif Negatif Positif Positif	Batang Batang melengkung Kokus Batang berspora	- + - +	Suksinat, asetat, format Asetat, format, laktat, butirat, H ₂ , CO ₂ Asetat, format, H ₂ , CO ₂ Asetat, format, H ₂ , CO ₂ , butirat
2	Dekomposer pati <i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Ruminobacter amylophilus</i> <i>Selenomonas ruminantium</i> <i>Succinomonas amylolytica</i> <i>Streptococcus bovis</i>	Negatif Negatif Negatif Negatif Positif	Batang Batang melengkung Batang melengkung Oval Kokus	- - + + -	Format, suksinat, asetat Format, suksinat, asetat Propionat, laktat, asetat Propionat, suksinat, asetat Laktat
3	Dekomposer laktat <i>Selenomonas lactylitica</i> <i>Megasphaera elsdenii</i>	Negatif Positif	Batang melengkung Kokus	+ -	Suksinat, asetat Asetat, pektin, laktat, H ₂ , CO ₂ , butirat, valerat, caproat
4	Dekomposer ectin <i>Lachnospira multiparus</i>	Positif		+	Asetat, format, H ₂ , CO ₂ , laktat
5	Metanogen <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> <i>Methanomicrobium mobile</i>	Positif Negatif	Batang Batang	- +	CH ₄ (dari H ₂ + CO ₂ atau format)

Lampiran C

Kurva Standar FDA (Fluorescein Diacetate)



Lampiran D

Laporan Keuangan Penelitian

Bahan habis pakai	Jumlah	Harga satuan	Total harga
K ₂ HPO ₄	140 gram	Rp 600	Rp 84.000
K ₃ Fe(CN) ₆	110 gram	Rp 1.500	Rp 165.000
Alkohol absolut	0,5 liter	Rp 90.000	Rp 45.000
Alkohol teknis	1 liter	Rp 25.000	Rp 25.000
Aseton proanalisis	1 liter	Rp 45.000	Rp 45.000
Bufer fosfat	1 liter	Rp 15.000	Rp 15.000
Larutan FDA	200 ml	Rp 5.000	Rp 5.000
Spirtus	1 liter	Rp 11.000	Rp 11.000
Akuades	15 liter	Rp 500	Rp 7.500
NaClO	500 ml	Rp 3.300	Rp 3.300
Sabun pencuci	400 ml	Rp 3.550	Rp 3.550
Tisu gulung	6 rol	Rp 9.950	Rp 9.950
Aluminium foil	1 gulung kecil	Rp 12.150	Rp 12.150
Korek api gas	2 buah	Rp 7.000	Rp 14.000
Kain lap	4 buah	Rp 2.500	Rp 10.000
Saringan	2 buah	Rp 3.500	Rp 7.000
Plastik tahan panas	1 bungkus	Rp 9.000	Rp 9.000
Kain kasa	1 bungkus	Rp 10.000	Rp 10.000
Sarung tangan	5 pasang	Rp 8.800	Rp 44.000
Indikator universal	100 lembar		Rp 166.000
Obat cacing	5 strip	Rp 7.400	Rp 37.000
Larutan treatment (elektroda dan membran)	500 ml	Rp 10.000	Rp 10.000
SUBTOTAL			Rp 726.450
Alat dan bahan tidak habis pakai	Jumlah	Harga satuan	Total harga
Chamber sepasang	1 unit	Rp 425.000	Rp 425.000
Chamber seri	2 unit	Rp 350.000	Rp 700.000
Membran Nafion 117	2 buah @100 cm ²	Rp 780.000	Rp 1.560.000
Kabel serat	4 meter	Rp 1.500	Rp 6.000
Kabel tembaga (NYM)	3 meter	Rp 1.750	Rp 5.250
Jepit buaya	10 pasang	Rp 1.500	Rp 15.000
Erlenmeyer	500 ml	Rp 55.000	Rp 330.000
Botol zat	4 buah @ 100 ml	Rp 3.000	Rp 12.000
Gelas ukur	500 ml	Rp 125.000	Rp 125.000

Batang pengaduk	1 buah	Rp 7.500	Rp 7.500
Spatula	1 buah	Rp 7.500	Rp 7.500
Pipet	2 buah	Rp 1.000	Rp 2.000
Pinset	1 buah	Rp 10.000	Rp 10.000
Gelas kimia	500 ml	Rp 40.000	Rp 160.000
Gelas kimia	250 ml	Rp 25.000	Rp 50.000
Multimeter	1 unit	Rp 41.500	Rp 41.500
Batu batere	16 buah (besar)		Rp 30.000
Termometer	1 buah	Rp 30.000	Rp 30.000
SUBTOTAL			Rp 3.516.750
Lain-lain			Total harga
Transportasi/perjalanan			Rp 475.000
Komunikasi			Rp 150.000
ATK			Rp 100.000
Studi literatur			Rp 100.000
TOTAL BIAYA			Rp 4.968.200
Dana awal yang diusulkan	Rp 5.000.000		
Dana awal yang disetujui			Rp 5.000.000
Dana yang telah diterima (70%)			Rp 3.500.000
Dana yang belum diterima (30%)			Rp 1.500.000