

MENINGKATKAN EFISIENSI PENGOLAHAN LIMBAH AIR MELALUI PROSES HIBRIDA DENGAN MICROBIAL FUEL CELL

EKO J. SALIM & GERRALDO S. CANDRA

Ringkasan

Proses pengolahan limbah air sekarang meninggalkan banyak ruang untuk dikembangkan dan ditingkatkan. Limbah dapat menjadi sumber energi yang berharga — sekitar 9 kali lebih banyak energi terkandung dalam limbah dibandingkan dengan energi yang diperlukan untuk mengolahnya dengan cara modern. Proses-proses yang tersedia sekerang jarang mempertimbangkan dan menggunakan hal ini, proses-proses ini juga sering tidak efisien dan ‘kotor’. Menggabungkan teknologi-teknologi pengolahan limbah menjadi sebuah proses hibrida berpusat pada Microbial Fuel Cell (MFC) dapat memecahkan masalah ini. Keuntungan yang didapat dalam menggunakan proses hibrida ini diantara lain adalah berikut: ekstraksi sumber daya, ekstraksi energi (listrik) yang lebih besar dan efisien dan pembersihan limbah yang lebih bersih.

DAFTAR ISI

1	Pendahuluan	2
1.1	Latar Belakang	2
1.2	Identifikasi Masalah	2
1.3	Batasan Masalah	2
1.4	Rumusan Masalah	2
1.5	Tujuan Penelitian	2
1.5.1	Tujuan Umum	2
1.5.2	Tujuan Khusus	2
1.6	Manfaat Penilitian	3
2	Tinjauan Pustaka	3
2.1	Kajian Teori	3
2.1.1	Microbial Fuel Cell	3
2.1.2	Anaerobic Digestion	3
2.1.3	Microalgae treatment	4
2.1.4	Struvite Precipitation	4
2.2	Hipotesis	5
2.2.1	Pengolahan Limbah Konvensional	5
2.2.2	Proses Pengolahan yang Diusulkan	5
3	Prosedur Penelitian	6
3.1	Jenis dan Pendekatan Penelitian	6
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	7
3.3	Teknik Pengumpulan Data	7
3.4	Instrumen Penelitian	7
4	Foto Kunjungan	9
	Pustaka	9

1 PENDAHULUAN

1.1 *Latar Belakang*

Proses pengolahan limbah air yang ada sekarang tidak dapat memenuhi aspirasi masyarakat yang menginginkan air bersih, energi dan sumber daya dari limbah. Proses sekarang malah menggunakan energi yang signifikan. Konsumsi energi dari industri air diperkirakan adalah 2% dari konsumsi listrik global. Penting sekali adanya proses pengolahan yang lebih efisien dalam konteks energi. Menurut Perserikatan Bangsa-Bangsa, diperkirakan tindakan mengingkatkan efisiensi adalah 65% dari penghematan emisi global sampai dengan 2030.

Dalam proses-proses yang menghemat energi ini, juga diharapkan kalau dapat diperoleh energi dan sumber daya dari limbah. Mengingat pentingnya mendaur ulang energi dan sumber daya untuk kelangsungan peradaban manusia sekarang ini, pendauran ulang dari limbah sangat diharapkan.

1.2 *Identifikasi Masalah*

- Proses pengolahan limbah air sekarang tidak dapat memenuhi aspirasi masyarakat
- Dari proses pengolahan limbah air, diharapkan didapatkannya energi, air bersih dan sumber daya
- Proses yang ada sekarang tidak hemat energi, 2% dari total konsumsi listrik global adalah untuk air
- Penting didaur-ulangnya sumber daya dan energi dari limbah untuk memecahkan masalah energi dunia

1.3 *Batasan Masalah*

Memperoleh air bersih, energi dan sumber daya dari limbah air

1.4 *Rumusan Masalah*

Bagaimana sebuah proses hibrida yang dapat mengolah limbah air dengan optimal?

1.5 *Tujuan Penelitian*

1.5.1 *Tujuan Umum*

Diperolehnya proses / rangkaian proses yang sesuai dan optimal untuk digunakan dengan Microbial Fuel Cell untuk memaksimalkan sepenuhnya ekstraksi (air bersih, energi, sumber daya, dan lain lain) dari limbah dengan efisien.

1.5.2 *Tujuan Khusus*

- Mengidentifikasi masalah yang muncul dari proses hibrida dan solusi yang memungkinkan
- Mencari solusi rangkaian proses yang seekonomis mungkin untuk digunakan di masyarakat
- Mengidentifikasi kelemahan dan kelebihan dari proses-proses dan teknologi pengolahan limbah
- Meneliti kesesuaian Microbial Fuel Cell dengan proses-proses pengolahan limbah lainnya

- Memperoleh data penggunaan sistem Microbial Fuel Cell dengan berbagai tipe limbah

1.6 Manfaat Penilitian

Dengan penelitian ini, diharapkan rangkaian proses yang sesuai dan efektif dapat ditemukan dan dievaluasi sehingga dapat digunakan oleh masyarakat dan juga diteliti lebih lanjut.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

Banyak teknologi dapat digunakan untuk pengolahan limbah: dari sistem *activated sludge* sampai *vacuum evaporation*. Menggabungkan teknologi-teknologi yang ada ini menjadi sebuah sistem hibrida dengan Microbial Fuel Cell dapat menghasilkan sebuah proses pengolahan limbah yang berkelanjutan.

2.1.1 Microbial Fuel Cell

Microbial Fuel Cell adalah alat yang menghasilkan arus menggunakan bakteri. Bakteri di dalam MFC bekerja sebagai sebuah katalis untuk mengoksidasi zat organik maupun zat anorganik. Elektron hasil dari oksidasi ini bergerak menuju elektroda dan akhirnya menuju katoda dari anoda. Bagaimana cara elektron ditransfer ke anoda adalah perbedaan antara MFC dengan penengah dan tanpa penengah. Di MFC dengan penengah, ada penengah redox yang mengangkut elektron ke anoda. Jika tidak ditambah mediator eksogen, MFC tersebut dikatakan sebagai MFC tanpa penengah. Dalam MFC tanpa penengah, transfer elektron bisa dilakukan dengan cara: *direct membrane associated electron transfer*, *bacteria's nanowire*, dll.

Di hampir semua MFC, elektron yang mencapai katoda bergabung dengan proton yang membaur dari anoda dna juga dengan oksigen dari udara; produk hasil penggabungan ini adalah air. Oksidator kimia juga dapat digunakan.

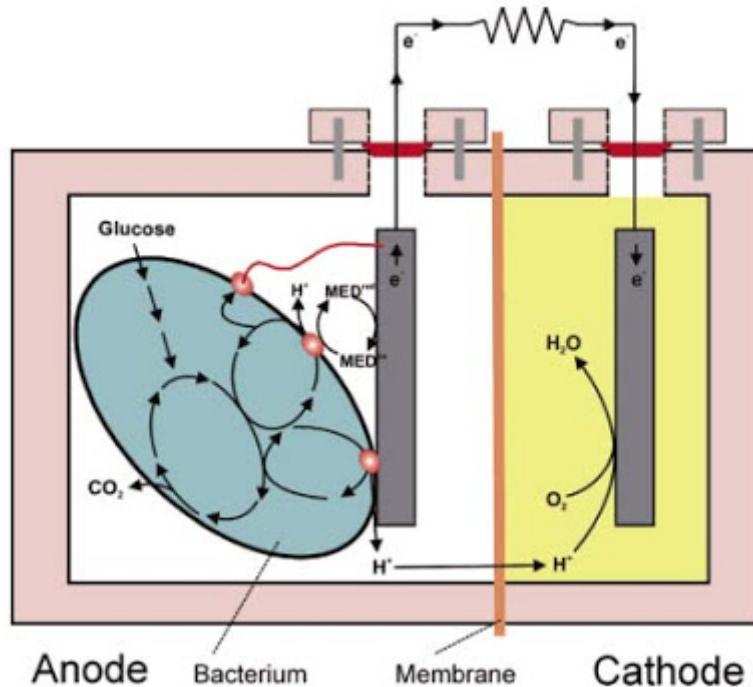
Karena MFC 'memakan' zat organik dan anorganik dan juga memproduksi listrik, MFC dapat digunakan dalam pengolahan limbah. Banyak riset telah meneliti tentang MFC dan pengolahan limbah, dari efektivitasnya dalam mengolah limbah intensitas tinggi sampai menambahkan efektivitas MFC dengan *spiral spacer*.

Dalam proses pengolahan berbasis MFC, kelemahan dan kelebihan MFC harus dipertimbangkan. MFC yang sekarang kurang cocok dalam mengolah limbah intensitas tinggi. Isu *scaling* juga adalah sebuah kelemahan MFC. Dengan menggabungkan teknologi MFC dengan teknologi lain, kita dapat mengatasi kelemahan-kelemahan dari MFC.

2.1.2 Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion atau pencernaan anaerobik adalah proses dimana bakteri memecah zat *biodegradable* saat tidak adanya oksigen. Pencernaan anaerobik dapat menghasilkan metana. Proses ini dimulai dengan hidrolisis oleh bakteri, polimer organik bersifat tidak larut diolah untuk digunakan bakteri lain. Bakteri *acidogenic* mengubah gula dan asam amino menjadi asam asetat dan juga ammonia, hidrogen dan karbon dioksida. Kemudian, produk ini diubah menjadi metana dan karbon dioksida. Metana yang dihasilkan ini dapat digunakan untuk menghasilkan listrik.

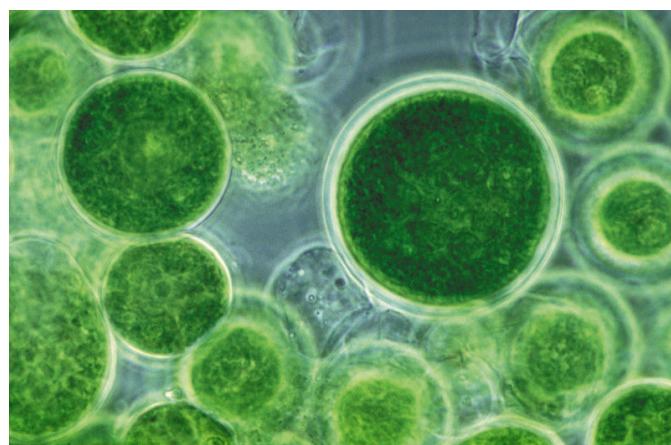
Pecernaan anaerobik sudah dibuktikan dapat mengolah limbah intensitas tinggi, salah satu kelemahan dari MFC. Dari pengolahan limbah intensitas tinggi, hasilnya dapat digunakan oleh MFC untuk menghasilkan listrik dan lebih membersihkannya.



Gambar 1: Sebuah bakteri dalam anoda mentransfer elektron yang didapat dari sebuah donor elektron menuju ke elektroda anoda. Dalam produksi elektron, proton juga diproduksi. Proton ini bergerak melalui sebuah membran pertukaran kation (*cation exchange membrane*) menuju ke katoda. Elektron bergerak menuju katoda dimana kemudian mereka bereaksi dengan penerima elektron (oksigen) dan proton

2.1.3 *Microalgae treatment*

Microalgae atau mikroalga dapat menjadi proses olahan setelah proses MFC. Mikroalga dapat mengolah nutrisi dan logam berat serta juga kontaminan dan polutan lainnya. Hasil olahan dari proses mikrolaga adalah biomassa yang dapat digunakan untuk produksi listrik. Mikrolaga juga menjadi sebuah opsi yang menarik karena kemampuannya untuk berkembang dengan nitrogen dan fosfor yang mereka olah.



Gambar 2: Mikroalga

2.1.4 *Struvite Precipitation*

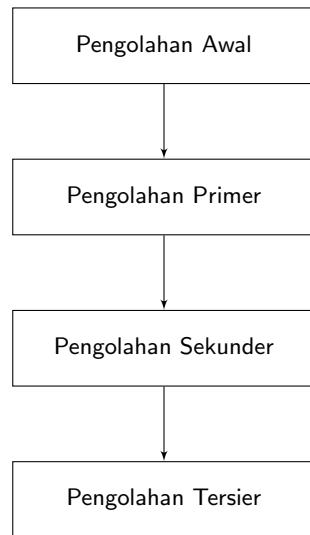
Nitrogen dan Fosfat harus disingkirkan atau diambil kembali sebuah mungkin dalam sebuah proses pengolahan limbah untuk memenuhi syarat-syarat,

yang syarat utamanya adalah mencegah kerusakan lingkungan oleh eutrofikasi. *Struvite Precipitation* adalah satu cara untuk memenuhi syarat ini. Struvite atau $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dapat diekstrak dari air limbah untuk memenuhi syarat penyingkirkan nitrogen dan fosfor. Struvite juga dapat digunakan sebagai pupuk.

2.2 Hipotesis

2.2.1 Pengolahan Limbah Konvensional

Dalam sebuah sistem pengolahan limbah air, tujuan utamanya adalah untuk menghilangkan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), padatan tersuspensi, nutrisi-nutrisi, bakteri koliform dan zat berbahaya. Tujuan ini adalah untuk mendapatkan hasil yang bersih. Berikut ini adalah diagram proses pengolahan konvensional.



Pengolahan awal adalah untuk menyingkirkan benda padat besar yang ada pada air limbah.

Pada pengolahan primer, air limbah akan melewati tanki/bak sedemantisasi. Tujuan dari bak sedementasi adalah untuk mengendap zat padat yang dapat mengendap. Dalam pengendapan ini, sampai dengan 40% dari BOD dapat disingkirkan.

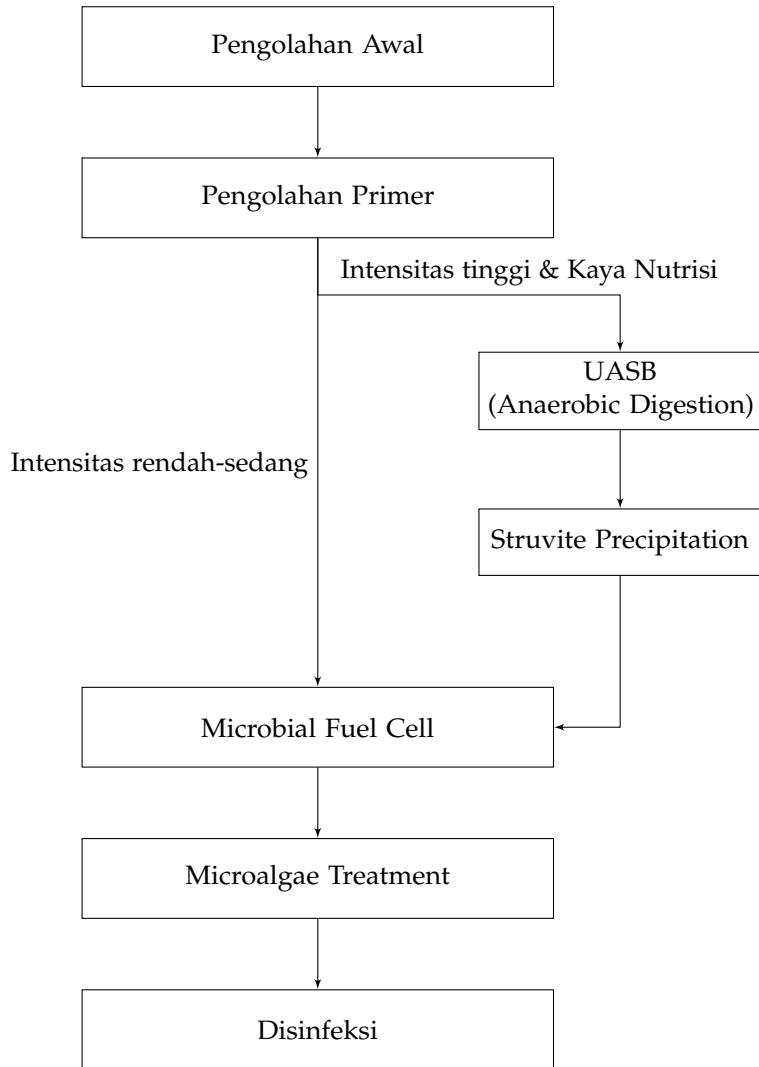
Pengolahan sekunder bertujuan untuk mengurangi BOD dengan mengurangi zat organik.

Pengolahan tersier bertujuan untuk menyingkirkan semua ion organik.

Selain keempat proses ini, terdapat lagi pengolahan kuaterner dan juga disinfeksi. Pengolahan kuaterner bertujuan untuk menyingkirkan logam berat dan senyawa organik. Disinfeksi adalah penyingkirkan semuah patogen. Disinfeksi biasa dilakukan dengan klorin/sinar UV.

2.2.2 Proses Pengolahan yang Diusulkan

Proses pengolahan yang ada kurang efisien dalam pengolahannya. Adanya kebutuhan energi yang tinggi yang sebagian besar karena kebutuhan aerasi. Ekstraksi sumber daya yang berguna juga masih minimal. Rangkaian proses dibawah ini seharusnya dapat membuat pengolahan air limbah menjadi lebih efisien.



Microbial fuel cell menjadi pusat dari proses ini. Tenaga listrik dapat dihasilkan oleh Microbial Fuel Cell dan juga metana dari Anaerobic Digestion. Air limbah intensitas tinggi akan diproses oleh UASB karena teknologi MFC yang kurang cukup untuk menangani air limbah intensitas tinggi.

Dari UASB (*Upflow Anaerobic Sludge*) akan dilakukan *Struvite Precipitation* untuk mengambil struvite yang akhirnya akan menjadi pupuk.

Microbial Fuel Cell akan menghasilkan listrik dan pembersihan air limbah dari zat organik. MFC sekarang masih memiliki banyak kelemahan, *Microalgae treatment* akan melakukan sentuhan terakhir untuk proses-proses sebelumnya. Mikroalga akan melakukan penyaringan nutrisi nitrogen dan fosfor, pengurangan terakhir BOD, penyaringan bakteri koliform, dan penyaringan logam berat. *Activated Sludge* dapat menjadi alternatif bagi tahap mikroalga tetapi, mikroalga lebih hemat energi karena tidak memerlukan aerasi.

Setelah proses mikroalga, dapat dilakukan disinfeksi untuk memenuhi syarat kebersihan. Disinfeksi disarankan menggunakan sinar UV atau proses ozonation karena naiknya harga klorin dan bahayanya terhadap ikan. Filtrasi terakhir juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas air.

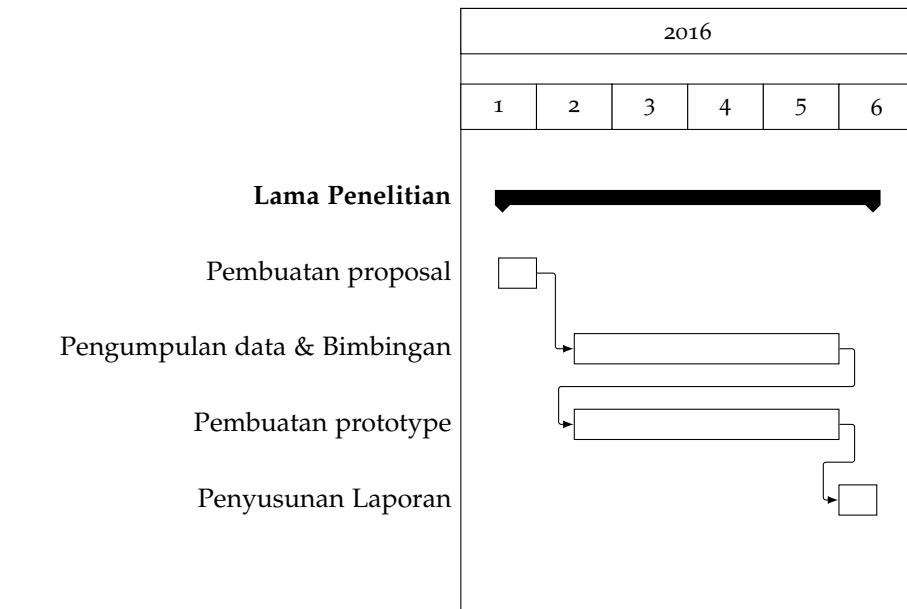
3 PROSEDUR PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang akan digunakan adalah pendekatan secara kuantitatif dan jenis penelitian adalah penelitian berbasis eksperimen.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Estimasi waktu penelitian adalah 6 bulan.



Tempat penelitian mencangkup:

- Instalasi Pengolahan Air Kotor (IPAK) Rawa Buaya, Cengkareng
- Fasilitas pengolahan limbah RS Siloam, Kebon Jeruk
- Fasilitas pengolahan limbah RS Puri, Puri Kembangan
- *Centralized Treatment Plant* Lippo Karawaci
- SMP Narada

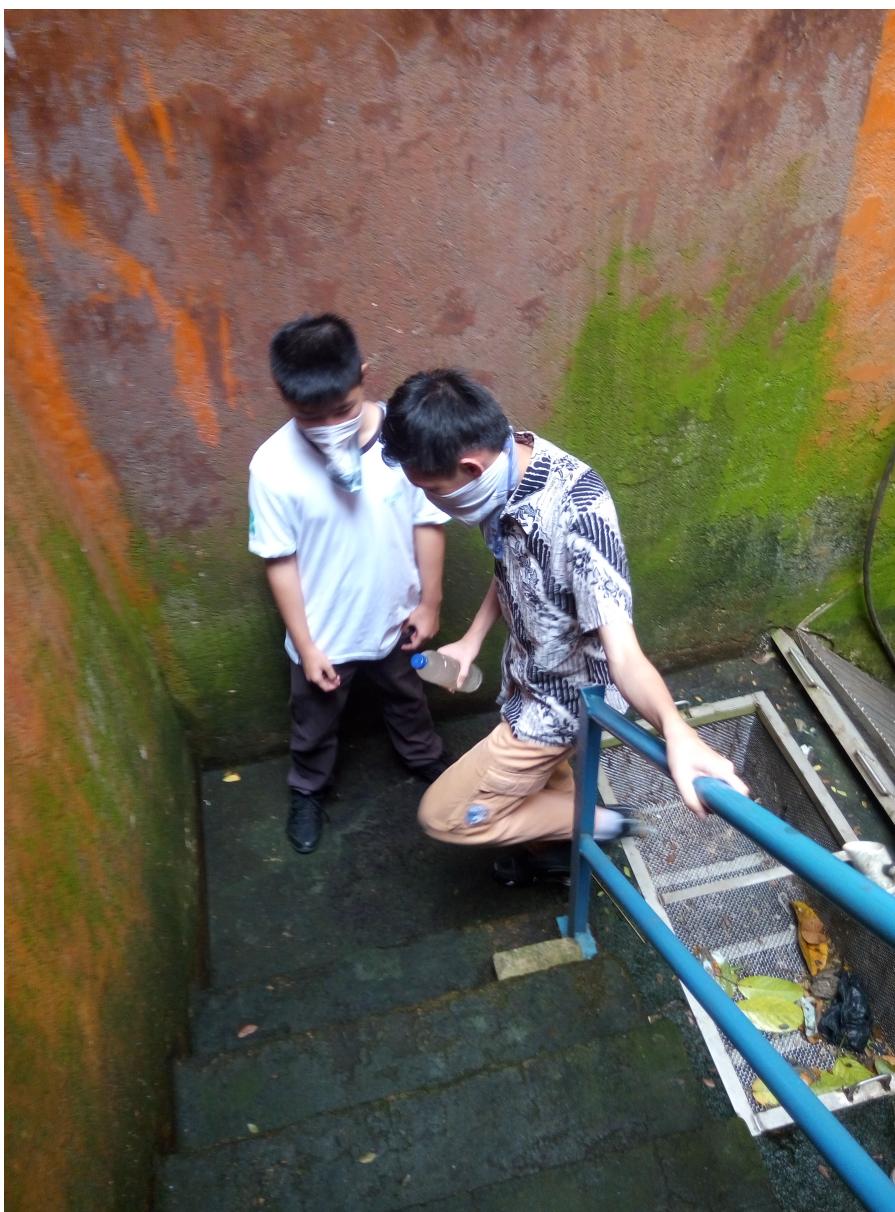
3.3 Teknik Pengumpulan Data

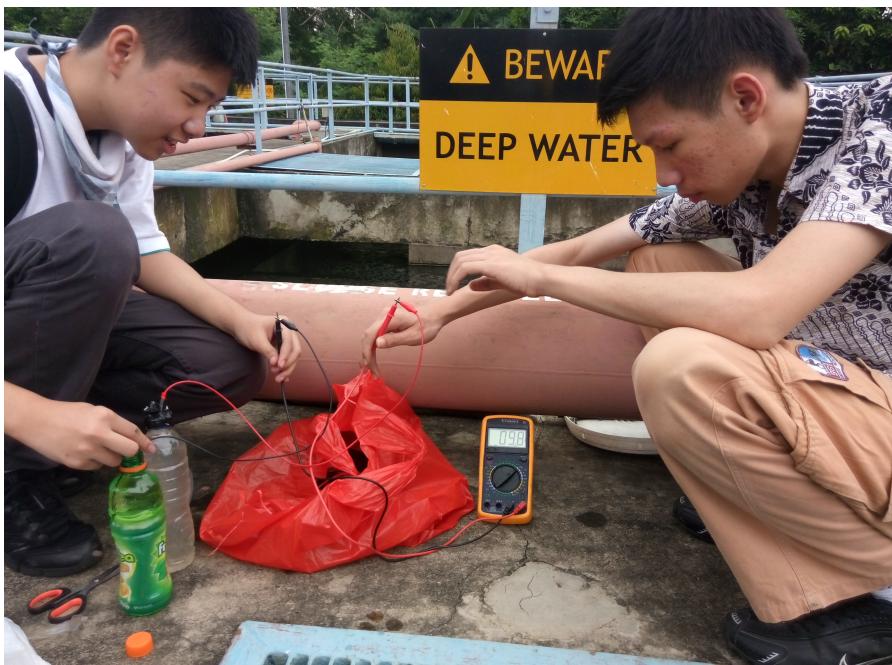
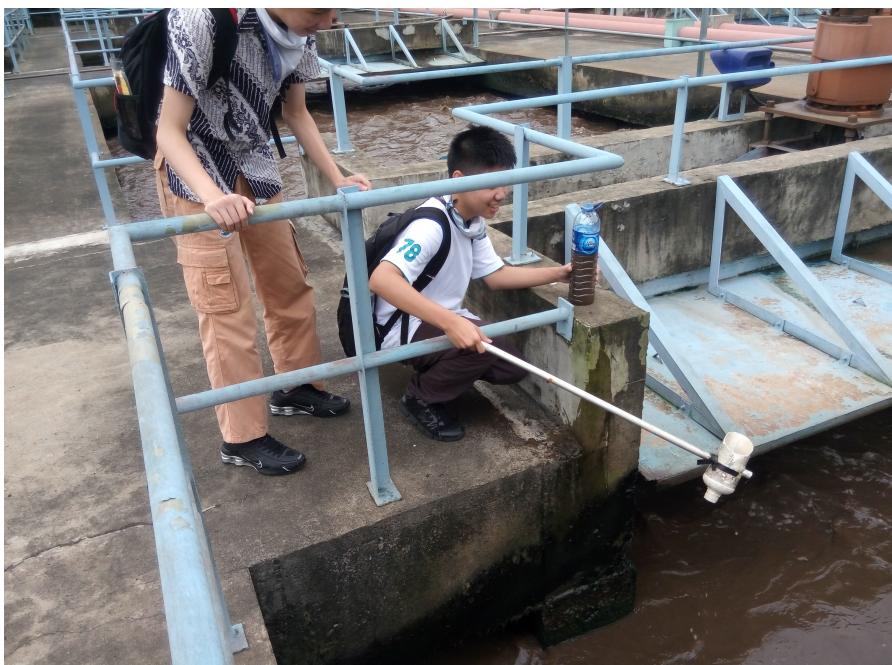
Teknik yang akan digunakan adalah eksperimen. Data juga akan didapat dari berbagai sumber artikel penelitian. Data yang diambil diantara lain adalah:

- COD & BOD hasil dari sebuah proses pengolahan dan proses keseluruhan
- (Jumlah) Energi hasil proses *Microbial Fuel Cell*
- Jumlah *Struvite*($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) yang terproduksi
- Jumlah gas metana yang terproduksi
- Rangkaian proses pengolahan

3.4 Instrumen Penelitian

- Unit *Microbial Fuel Cell*
- Kultur Mikroalga
- Reaktor *Anaerobic Digestion*
- Sampel air limbah





4 FOTO KUNJUNGAN

PUSTAKA

- [1] Abdel-Raouf, N., A.A. Al-Homaidan, dan I.B.M. Ibraheem: *Microalgae and wastewater treatment*. Saudi Journal of Biological Sciences, 19, July 2012.
- [2] Bennetto, H.P.: *Electricity generation by microorganisms*. Biotechnology Education, 1(4), 1990.
- [3] Li, Wen Wei, Han Qing Yu, dan Zhen He: *Towards sustainable wastewater treatment by using microbial fuel cells-centered technologies*. Energy & Environmental Science, 7, 2014.
- [4] Logan, Bruce E. et al.: *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. American Chemical Society, 40(17), 2006.

- [5] Logan, Bruce E. *et al.*: *Assessment of Microbial Fuel Cell Configurations and Power Densities*. Environmental Science & Technology Letters, 2015.
- [6] Miles, Ann dan Timothy G. Ellis: *Struvite Precipitation Potential For Nutrient Recovery from Anaerobically Treated Wastes*. Iowa State University.