

Pengaruh Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan pH Terhadap Kinerja *Granular Activated Carbon Dual Chamber Microbial Fuel Cells* (GAC- DCMFCs)

Estuning Mugi Rahajeng, Sri Sumiyati, Ganjar Samudro

Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Sudarto,
SH Tembalang –Semarang

ABSTRACT

Microbial Fuel Cells are devices to convert chemical energy into electrical energy by the catalytic reaction of microorganisms. MFCs performance can be affected by the COD and pH. In this study, variations of these two variables are used; the COD concentration of 400, 800, 1200 mg/L and pH 6, 7, 8. This system is accompanied by granular activated carbon (GAC) as an attachment media of bacteria in the anode chamber. The result showed that the amount of COD removed increasing as the concentration increased. For power density, increased by 132,0 and 245,0 mW/m² when the COD concentrations are 400 and 800 mg / L. However, when the COD concentration is 1200 mg/L power density decreased to 206,0 mW/m². The optimum conditions for the COD of 400 and 800 mg/L were at pH 7, whereas for the COD of 1200 mg/L were at pH 8 which capable of removing COD and produce electricity better.

Keywords: MFCs, COD, pH, GAC, GAC-DCMFCs

1. Pendahuluan

MFCs mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalik yang menggunakan mikroorganisme. Penggunaan air limbah dalam sistem *microbial fuel cells* ini mempunyai beberapa keuntungan, seperti kontaminan dalam air limbah dapat menjadi sumber karbon untuk *microbial fuel cell*, dan energi listrik yang dihasilkan cukup untuk digunakan dalam pengolahan air limbah berikutnya dan ini berarti mengurangi konsumsi energi (Li, 2010; Kristin 2012).

Dalam pengoperasian MFCs, konsentrasi COD dan pH merupakan variabel yang menjadi faktor operasional sistem. Konsentrasi COD yang tinggi membuat mikroorganisme mensintesis lebih enzim dengan mempertahankan kemampuan menghilangkan COD dalam beberapa waktu, oleh karena itu mikroorganisme mampu menurunkan COD pada tingkat konsentrasi tinggi sehingga meningkatkan intensitas maksimum yang dihasilkan dari sistem MFCs. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Campo, *et al.* (2012), bertambahnya konsentrasi COD meningkatkan aktivitas mikroorganisme sehingga meningkatkan produksi arus listrik. Peningkatan produksi listrik juga dipengaruhi oleh operasional pH. Pada MFCs *dual chamber*, kuat arus tertinggi dicapai pada pH netral antara 6,5 sampai 8 (Jadhav and Ghangrekar, 2009; Gil *et al.*, 2003; Puig *et al.*, 2010). Aktivitas mikroba penghasil CH₄ (methanogen) yang berperan menghasilkan penurunan COD hingga >70% akan terhambat di luar kisaran pH 6,5-7,2

(Mulyani, 2010). Selain mengatur sistem MFCs dalam kondisi COD dan pH yang optimum, kinerja MFC dapat ditingkatkan dengan menggunakan *granular activated carbon* (GAC) berfungsi sebagai media lekat. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, variasi COD dan pH dapat mempengaruhi performa MFCs, semakin besar COD yang diolah dan pH yang netral maka kinerja MFCs semakin baik.

2. Metodologi Penelitian

Jenis penelitian ini bersifat eksperimental laboratoris. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan reaktor kontinyu yaitu berupa tabung plastik yang diberi suplay air limbah dari reservoir. Yang menjadi bahan baku dalam penelitian ini adalah air limbah artifisial. Penelitian dibagi menjadi tiga tahap yakni *seeding*, aklimatisasi, dan *running*. *Seeding* dan aklimatisasi dilaksanakan dalam sistem *batch* selama 14 hari, sedangkan *running* dengan sistem kontinyu selama 35 hari. Sebelum mengoperasikan reaktor GAC-DCMFCs, dilakukan pembuatan air limbah artifisial dengan komposisi tertentu menggunakan bahan asam asetat dan glukosa monohidrat. Konsentrasi COD ditentukan melalui hasil uji karakteristik air limbah domestik di Kota Semarang. Sedangkan untuk menentukan berat GAC yang digunakan, mengacu pada studi literatur dan percobaan *batch* menggunakan jarrest kecepatan 90 rpm selama 1 jam dengan variasi GAC 50, 150, dan 200 gram. Sampel diambil 15 menit setelah jarrest berhenti operasi.

Setelah menentukan jumlah GAC, maka dilanjutkan ke tahap pengoperasian reaktor GAC-DCMFCs. Pengambilan sampel pada tahap *seeding* dan aklimatisasi dilaksanakan pada hari ke-0, 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, dan 13, sedangkan *running* pada hari ke-0, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 28, dan 35. Sampel yang diambil meliputi COD, arus, dan tegangan listrik. Untuk *seeding* dan aklimatisasi, bibit bakteri diperoleh dari perusahaan sedot WC. Komposisi air limbah yang dimasukkan ke reaktor adalah 2/3 limbah septic tank dan 1/3 limbah artifisial. Pada hari ke-4 dan 9 dilakukan penambahan konsentrasi COD masing-masing sebesar 50 dan 100% dari konsentrasi sesungguhnya. Variabel yang digunakan untuk variasi penelitian ini adalah konsentrasi COD dan pH. Untuk lebih jelasnya rancangan penelitian dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1
Rancangan Penelitian

COD (mg/L)	pH	Kode Reaktor
400	6	400 pH 6
800	7	400 pH 7
1200	8	400 pH 8
400	6	800 pH 6
800	7	800 pH 7
1200	8	800 pH 8
400	6	1200 pH 6
800	7	1200 pH 7
1200	8	1200 pH 8

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Uji Karakteristik Limbah Cair

Peneliti melakukan studi literatur terlebih dahulu selanjutnya melaksanakan uji karakteristik air limbah dengan mengambil sampel di lapangan. Sumber-sumber air limbah merupakan *grey water* yang berasal dari perumahan A dan perumahan B, dan air limbah tahu. Dari hasil analisis ketika sampel limbah tersebut, maka digunakan variasi konsentrasi 400, 800, dan 1200 mg/L.

3.2. Penentuan Isoterm Percobaan Batch

Tabel 2

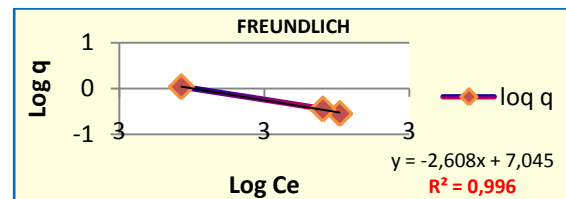
Penurunan Konsentrasi COD Uji Batch

Jumlah GAC (gram)	Initial COD (mg/L)	Final COD (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)
0		-	-
100	848,7	801,45	5,56
150		759,57	10,50
200		484,77	42,88

Dari data diatas, diketahui bahwa penyisihan COD optimum didapat pada berat GAC 200 gram sebesar 42,88%. Hal tersebut sesuai dengan penelitian (Wardhani, 2014) yang menyatakan adsorpsi efektif menurunkan konsentrasi COD yang dapat dilihat dari efisiensi penyisihan COD pada variasi berat adsorben yang lebih besar dari efisiensi yang dibutuhkan sesuai kadar maksimum. Penurunan konsentrasi COD menunjukkan bahwa karbon aktif dapat menyerap zat organik pada limbah cair. Konsentrasi hasil adsorpsi tersebut dimasukkan dalam persamaan Freundlich, Langmuir, dan BET untuk menentukan karakteristik proses adsorpsi.

3.2.1. Model Isoterm Freundlich

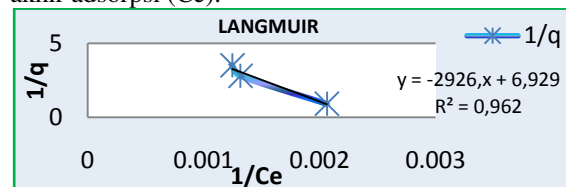
Hasil penurunan konsentrasi COD dapat digunakan untuk mencari persamaan isoterm Freundlich dengan cara memplotkan nilai Log q pada sumbu y dan nilai Log Ce pada sumbu x.



Gambar 1
Kurva Isoterm Freundlich

3.2.2. Model Isoterm Langmuir

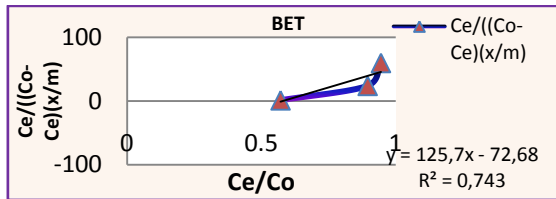
Penentuan isoterm Langmuir untuk proses adsorpsi dilakukan dengan membuat kurva antara $1/q$ vs $1/C_e$. Konsentrasi *final COD* digunakan sebagai input data konsentrasi akhir adsorpsi (C_e).



Gambar 2
Kurva Isoterm Langmuir

3.2.3. Model Isoterm BET

Penentuan isoterm BET untuk proses adsorpsi dilakukan dengan membuat kurva isoterm BET antara $\frac{C_e}{(C_0 - C_e).q}$ dengan $\left(\frac{C_e}{C_0}\right)$. Konsentrasi *final COD* digunakan sebagai input data konsentrsai akhir adsorpsi.



Gambar 3
Kurva Isoterm BET

Hasil menunjukkan bahwa R^2 terbesar terdapat pada isoterm Freundlich sebesar 0,966. Selanjutnya nilai tersebut akan digunakan untuk menentukan model adsorpsi dengan rumus sebagai berikut:

$K_f = \text{antilog} * \text{Intercept}$

$n = 1 / \text{Slope}$

$q = K_f * C^{1/n}$

Kapasitas adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Freundlich adalah sebesar 0,360 mg/g. Untuk menentukan banyaknya GAC yang digunakan dalam sistem MFCs dihitung dengan cara:

$m_{\text{adsorben}} = (m_{\text{adsorbat}} * \text{efisiensi}) / q * 0,6 \text{ L}$

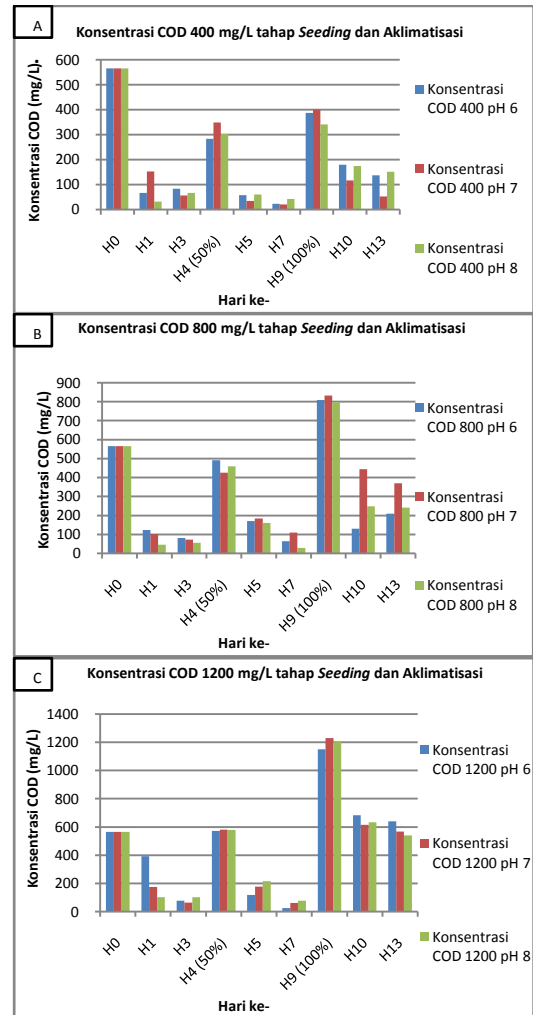
Dari hasil perhitungan didapatkan massa GAC sebesar = 294,595 gram atau $\cong 300$ gram.

3.3. Pengoperasian Reaktor MFCs

Setelah mendapatkan berat GAC yang optimum dalam percobaan kapasitas adsorpsi (300 gram), penelitian dilanjutkan dengan tahap pengoperasian reaktor MFCs. Penelitian dilaksanakan pada lahan seluas 6 x 5 meter yang terletak di belakang bangunan laboratorium Teknik Lingkungan. Reaktor yang digunakan berbahan dasar plastik berbentuk tabung dengan diameter x tinggi sebesar 11,5 x 11,5 cm. Pengoperasian reaktor ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu *seeding*, *aklimatisasi*, dan *running*.

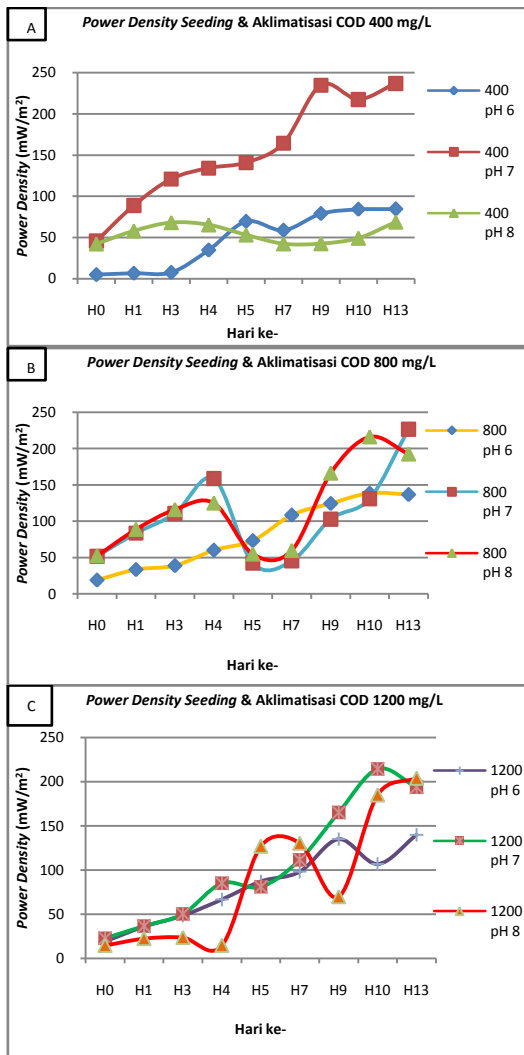
3.3.1. Seeding dan Aklimatisasi

Konsentrasi COD awal yang digunakan sebesar 565,9 mg/L. Pada tahap *seeding* dan *aklimatisasi* belum dilakukan variasi pH. Untuk mengadaptasikan bakteri terhadap konsentrasi limbah yang akan digunakan saat *running*, dilakukan penambahan konsentrasi secara bertahap langsung kedalam reaktor. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan Indriasari (2007), konsentrasi air limbah pada tahap *aklimatisasi* tidak langsung diberikan 100% agar bakteri tidak mengalami *shock loading*. Penambahan konsentrasi dilakukan secara bertahap 50% dan 100% pada hari ke-4 dan ke-8 (Himawan, 2012: 4). Berikut ini disajikan data penyisihan COD (mg/L) dan *power density* (mW/m^2) pada tahap *seeding* dan *aklimatisasi*:



Gambar 4
Penyisihan COD (mg/L) Tahap Seeding dan Aklimatisasi

Penyisihan COD paling optimum didapatkan reaktor COD 800 pH 6 pada saat H10 (sehari setelah penambahan konsentrasi substrat) yang mencapai hingga 679,71 mg/L. Sedangkan pada H0 dimana seluruh konsentrasi pada masing-masing variasi bernilai sama yakni 565,90 mg/L terjadi penurunan optimum pada 800 pH 8 sehari setelahnya (H1). Diduga pada saat awal operasi, keaktifan mikroba masih cukup besar karena tempat kontak antara mikroba dengan limbah cair tersedia cukup banyak. Setelah tiga atau empat hari, mikroba mulai saling bertumpuk sedemikian rupa sehingga menghambat kontak antara mikroba dengan limbah cair, dengan demikian prosentase penurunan COD menjadi relatif konstan (Said, 2010: 5).



Gambar 5
Power Density (mW/m^2) pada Tahap Seeding dan Aklimatisasi

Pada proses aklimatisasi ini produksi listrik paling stabil terjadi pada konsentrasi COD 400 mg/L yaitu mencapai $237,0 \text{ mW}/\text{m}^2$ dimana pada tahap ini masih dalam penyesuaian dan perkembangbiakan bakteri di dalam reaktor, maka untuk produksi listrik belum mendapatkan hasil yang diharapkan.

3.3.2. Running

Pengukuran COD pada tahap ini dilakukan 10 kali pada hari ke 0, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 28, dan 35. *Initial COD* yang didapat pada masing-masing variasi adalah sebesar 445,8; 813; dan 1283 mg/L. Nilai tersebut digunakan sebagai konsentrasi COD hari ke-0 dan selanjutnya digunakan untuk menghitung efisiensi penyisihan pada pengukuran berikutnya. pH influen limbah diatur bervariasi sebesar 6, 7, dan 8. Untuk memvariasikan pH influen limbah, digunakan NaOH 5M sebagai

larutan penyangga. NaOH digunakan karena memiliki sifat basa kuat, sehingga diperlukan untuk menaikkan pH limbah awal yang bersifat asam (berada pada kisaran pH 3-4). Penambahan larutan penyangga dilakukan dengan cara meneteskan secara teliti sambil mengukur kenaikan pH hingga mencapai pH 6, 7, dan 8.

3.3.2.1. Pengaruh Konsentrasi COD dan pH terhadap Kinerja GAC-DCMFCs

Dalam MFC, yang dapat digunakan sebagai donor elektron adalah zat hasil metabolisme mikroba atau elektron yang dilepaskan mikroba saat melakukan metabolismenya. Secara umum mekanisme prosesnya adalah substrat, dalam hal ini COD dioksidasi oleh bakteri menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Sedangkan pH, merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam reaktor anaerobik karena tinggi kecepatan proses *menthanogenesis* ketika pH nya berada pada kondisi netral (6,3 – 7,8) (Haandel and Leetinga, 1994).

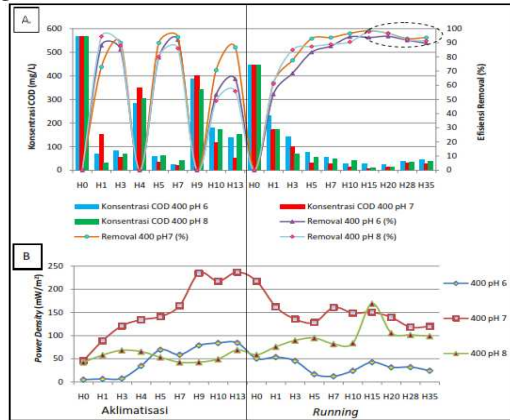
Pada penelitian ini, jumlah konsentrasi COD yang disisihkan meningkat dari 400, 800, dan 1200 mg/L. Banyaknya konsentrasi 1200 mg/L mampu didegradasi oleh bakteri sehingga menyebabkan penurunan kadar COD. Sedangkan pH mempengaruhi kinerja GAC-DCMFCs dimana pada kondisi pH 7-8 menunjukkan penyisihan COD dan produksi listrik yang tinggi.

Pada penelitian Elakkiya (2013: 411), konsentrasi substrat dalam ruang anoda memiliki pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan mikroba. MFCs dioperasikan dengan pH anolit awal 7 menggunakan larutan penyangga. Konsentrasi substrat bervariasi sebagai fungsi konsentrasi COD awal 800, 1600 dan 2800 mg/L. Tegangan maksimum 760 mV tercatat di MFCs dengan konsentrasi COD 1600 mg/L. MFCs dengan konsentrasi COD 800 dan 2800 mg/L mencapai puncak voltase masing-masing dari 656 dan 612 mV. Demikian pula yang terjadi pada *power density* yang optimum pada konsentrasi COD 1600 mg/L. Untuk konsentrasi 800 dan 2800 mg/L menunjukkan hasil 2,5 dan 1,8 kali lebih rendah. Penggunaan air limbah dengan COD tinggi dapat mengurangi kemampuan produksi listrik, mungkin karena penghambatan mediasi substrat untuk pertumbuhan mikroba (Mathuriya dan Sharma, 2010 dalam Elakkiya, 2013: 411). Penyumbatan membran oleh bahan organik ditemukan sangat tinggi di sisi anoda dengan konsentrasi COD awal 2800 mg/L.

3.3.2.2. Menentukan Konsentrasi COD dan pH Optimum terhadap Kinerja GAC-DCMFCs

1. Konsentrasi COD 400 mg/L dengan pH 6, 7, dan 8

Untuk melihat hasil penyisihan COD pada konsentrasi 400 mg/L dapat dilihat pada gambar 5:



Gambar 6

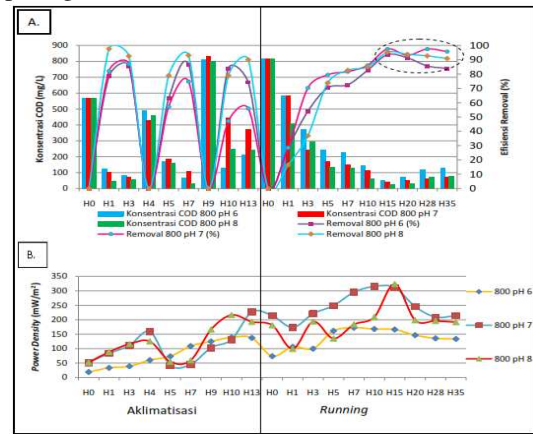
**A. Penyisihan Konsentrasi COD 400 mg/L;
B. Power Density pada Variasi COD 400 mg/L**

Suplai air limbah yang dimasukkan ke dalam reservoir untuk variasi konsentrasi COD 400 mg/L adalah sebesar $\pm 445,8$ mg/L setiap harinya. Pada hari ke-1 hingga hari ke-15 konsentrasi COD yang disisihkan berangsur-angsur meningkat. Proses penyisihan COD mencapai nilai maksimum pada hari ke-15 dimana untuk reaktor dengan konsentrasi COD 400 mg/L pH 6, pH 7, dan pH 8 mencapai efisiensi removal masing-masing sebesar 92,43%, 95,47%, dan 94,46%. Pada tahap *running* ini, terjadi kecenderungan kurang maksimalnya penyisihan COD pada pH 6. Dalam buku karangan Ginting (2007: 162), hal ini disebabkan karena proses perombakan berlangsung dengan baik pada pH 6,5-8,5.

Performa reaktor 400 pH 6 terlihat paling rendah, diduga akibat pengaruh pH yang diluar dari kisaran pH yang disukai bakteri, dan pengaruh kondisi fisik reaktor. Untuk reaktor 400 pH 7 dan pH 8 menghasilkan produksi listrik yang lebih baik daripada pH 6, yaitu masing-masing sebesar 132,0 dan 118,7 mW/m². Hal ini terjadi karena pada variasi tersebut merupakan lingkungan pH yang sesuai untuk kelangsungan hidup mikroba. Secara keseluruhan performa reaktor MFCs dengan konsentrasi COD 400 mg/L kurang optimal dari segi banyaknya COD yang disisihkan dan produksi listrik apabila dibandingkan dengan COD 800 dan 1200 mg/L, karena konsumsi mikroba akan substrat dalam hal metabolisme dan memproduksi listrik masih rendah.

2. Konsentrasi COD 800 mg/L dengan pH 6, 7, dan 8

Untuk melihat hasil penyisihan COD dan produksi listrik (*power density*) pada tahap *running* pada konsentrasi 800 mg/L dapat dilihat pada gambar 6:



Gambar 7

**A. Penyisihan Konsentrasi COD 800 mg/L;
B. Power Density pada Variasi COD 800 mg/L**

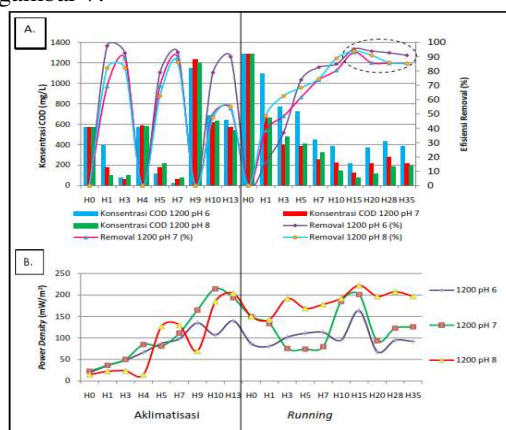
Air limbah artifisial yang digunakan sebagai substrat COD 800 mg/L adalah ± 813 mg/L. Limbah diganti setiap hari untuk suplai *fresh feeding* bagi mikroba. COD removal maksimum untuk reaktor 800 mg/L pH 6 adalah sebesar 88,63%, pH 7 sebesar 95,99%, dan pH 8 sebesar 93,20%. Pada variasi konsentrasi 800 mg/L ini, penyisihan konsentrasi COD mencapai nilai yang optimum pada pH 7, karena menurut Rittmann (2014), mikroba memiliki kecenderungan menyukai pH yang netral dan sedikit basa. Hal ini dapat dibuktikan pada 800 pH 8 dapat mencapai penyisihan COD yang lebih baik dari pH 6.

Produksi listrik COD 800 pH 6 menunjukkan hasil paling rendah dibandingkan dengan pH 7 dan 8. Dari hasil tersebut, telah diteliti bahwa pH 7 mengakibatkan resistansi internal yang rendah pada lingkungan mikro yang netral. Produksi listrik pada variasi COD 800 mg/L ini menunjukkan performa yang paling optimal dibandingkan dengan COD 400 dan 1200 mg/L. *Power density* maksimum (245,0 mW/m²) terjadi pada konsentrasi influen 800 mg/L. Untuk COD influen 400, dan 1200 mg/L dapat menghasilkan *power density* masing-masing sebesar 132,0 mW/m² dan 206,0 mW/m². Sesuai dengan penelitian Jiang (2009: 35), *power density* optimum dicapai pada konsentrasi COD 850 mg/L yaitu sebesar 1,04 W/m². Substrat yang mencukupi diperlukan untuk kegiatan bakteri yang tinggi, tetapi saat COD lebih tinggi dari 1000 mg/L, konsentrasi

substrat bukanlah faktor pembatas lagi. Faktor-faktor lain yaitu ketebalan biofilm dan pH dapat menjadi faktor pembatas kegiatan bakteri dan transfer elektron. Misalnya, proton yang dihasilkan dari degradasi anaerobik menumpuk dalam biofilm yang tumbuh di *granular activated carbon*, sehingga menyebabkan penurunan pH dan akhirnya menghambat aktivitas bakteri.

3. Konsentrasi COD 1200 mg/L dengan pH 6, 7, dan 8

Untuk melihat hasil penyisihan COD pada konsentrasi 1200 mg/L dapat dilihat pada gambar 7:



Gambar 8

A. Penyisihan Konsentrasi COD 1200 mg/L; B. Power Density pada Variasi COD 1200 mg/L

Konsentrasi air limbah artifisial yang diperoleh untuk substrat MFCs pada variasi COD 1200 mg/L adalah sebesar ± 1283 mg/L. Air limbah diganti setiap hari dan dialirkan secara kontinyu pada ruang anoda. Pada tahap *running*, terjadi peningkatan penyisihan konsentrasi COD. Pada hari pertama, reaktor dengan konsentrasi COD 1200 mg/L dapat menyisihkan COD sebesar 620,64 dan 624,80 mg/L masing-masing untuk pH 7 dan 8. Namun untuk pH 6, penyisihan COD yang terjadi kurang signifikan yaitu sebesar 192,07 mg/L atau hanya 14,97 %. COD *removal* semakin berangsur-angsur mengalami peningkatan hingga mencapai titik optimum yaitu sebesar 72,80 %, 87,44 %, 88,98 % masing-masing pada pH 6, 7, dan 8. Apabila dibandingkan dengan variasi konsentrasi 400 dan 800 mg/L, konsentrasi 1200 mg/L ini mampu menyisihkan COD paling tinggi. Dengan meningkatnya konsentrasi biomassa dari peningkatan konsentrasi COD yang masuk, jumlah COD yang disisihkan meningkat pula. Dari hasil tersebut, diketahui bahwa sistem MFCs ini mampu mendegradasi senyawa organik dengan

konsentrasi tinggi (dalam penelitian ini 1200 mg/L).

Daya listrik yang dihasilkan oleh pH 8 terlihat paling stabil, yaitu sebesar 206,0 mW/m² dibandingkan dengan pH 6 dan 7 masing-masing sebesar 104,5 mW/m² dan 135,7 mW/m². Hal tersebut diindikasikan terjadi karena terjadinya akumulasi proton di dalam biofilm yang menebal pada konsentrasi 1200 mg/L sehingga proton mengalami kesulitan berdifusi. pH 8 pada konsentrasi COD 1200 mg/L mampu menetralkan fenomena tersebut. Penggunaan GAC dalam reaktor GAC-DCMFCs mengakibatkan formasi perlekatan bakteri yang lebih kuat dalam pembentukan biofilm pada permukaan elektroda dan media lekat GAC. Biofilm yang dikenal sebagai kumpulan lendir adalah kumpulan komunitas mikroba yang melekat secara bertahap membentuk endapan di atas permukaan dari operator (pembawa) yang akan mengakibatkan efisiensi limbah (pembawa) akan turun (Hui Huang dkk, 2014 : 2). Tetapi apabila dibandingkan dengan reaktor DCMFCs tanpa GAC, performa GAC-DCMFCs terbilang lebih rendah dalam hal produksi listrik (*power density*). Hal tersebut dikarenakan tebalnya biofilm yang meningkatkan resistensi terhadap elektron dalam biofilm (Li *et al.*, 2011: 4-1). Biofilm dapat menghasilkan lebih banyak arus ketika ketebalan biofilm berada pada tingkat menengah, tidak terlalu tebal atau tipis. Jika biofilm yang terlalu tebal, elektron harus melakukan perjalanan terlalu jauh untuk sampai ke anoda. Sebaliknya jika biofilm terlalu tipis, bakteri yang melekat terlalu sedikit dalam mengekstrak elektron dengan cepat. Selain itu, penurunan tegangan listrik juga dapat terjadi karena mikroorganisme tidak aktif dan transfer elektron rendah dari mikroorganisme ke elektroda.

4. Menentukan konsentrasi COD dan pH optimum

Setelah melakukan analisis pada poin sebelumnya terhadap performa GAC-DCMFCs dalam menyisihkan konsentrasi COD dan kemampuan memproduksi listrik, dilakukan penentuan konsentrasi COD dan pH optimum yang memenuhi aspek-aspek tersebut. Dari hasil penelitian, jumlah COD yang disisihkan meningkat seiring tingginya konsentrasi COD inlet, dan mengalami penurunan ketika konsentrasi COD inlet diturunkan. Konsentrasi COD 400 mg/L mampu menyisihkan COD tertinggi 425,59 mg/L atau sebesar 95,47 %. Sedangkan untuk konsentrasi COD inlet 800 mg/L, COD yang disisihkan sebesar 762,21

mg/L atau 95,99 %; dan pada konsentrasi COD inlet 1200 mg/L, mampu menyisihkan COD sebesar 1141,63 mg/L atau 88,98 %. Angka-angka tersebut diperoleh dari nilai maksimum dari variabel COD dengan perbandingan variasi pH. Konsentrasi COD 400 dan 800 mg/L optimum pada pH 7, sedangkan 1200 mg/L optimum pada pH 8. Menurut Campo *et al.*, (2012), ketika konsentrasi COD yang tinggi mikroorganisme mampu menguraikan lebih enzim dengan mempertahankan kemampuan menurunkan COD dalam beberapa waktu, oleh karena itu mikroorganisme mampu menurunkan COD yang lebih baik ketika konsentrasi tinggi. Sedangkan pH 7 menunjukkan kestabilan dalam hal penyisihan COD dan produksi listrik.

Power Density optimum untuk konsentrasi COD 400 dan 800 mg/L terjadi pada pH 7 masing-masing sebesar 132,0 dan 245,0 mW/m². Sedangkan pada konsentrasi COD 1200 mg/L, *power density* terbaik terjadi pada pH 8 sebesar 206,0 mW/m². Dari ketiga variasi COD tersebut, nilai optimum berada pada konsentrasi COD 800 mg/L. Hal tersebut terjadi karena pada konsentrasi 1200 mg/L terjadi beberapa faktor penghambat yang telah dijelaskan pada poin sebelumnya. MFCs yang dioperasikan dengan kultur bakteri campuran pada pH yang berbeda menunjukkan bahwa mikroba anodik menyukai pH netral dan kegiatan mikroba menurun pada pH yang lebih tinggi atau lebih rendah (Yuang, 2008; Wang 2011: 66). Dari hasil tersebut, telah diteliti bahwa pH 7 mengakibatkan resistansi internal yang rendah pada lingkungan mikro yang netral. Sebagai kesimpulan, penulis menganggap bahwa produksi listrik MFCs tergantung pada lingkungan pH dan berkorelasi dengan spesies bakteri di ruang anoda. Pada penelitian ini, konsentrasi COD 800 mg/L dengan pH 7 menunjukkan kinerja GAC-DCMFCs paling optimum.

5. pH Effluent

pH merupakan faktor kritis untuk semua proses berbasis mikroba. Pada MFCs, pH tidak hanya mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroba tapi juga terhadap transfer proton, reaksi katoda, sehingga mempengaruhi performa MFCs. Sebagian besar MFC beroperasi pada pH mendekati netral untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal komunitas mikroba yang terlibat dalam pembentukann listrik (Liu, 2008 dalam Utari, 2014: II-11). Pengukuran pH *effluent* dilaksanakan pada saat pengambilan sampel dan analisis COD. Alat yang digunakan untuk mengukur pH adalah pH meter.

pH *effluent running* berada pada rentang 6,01 hingga 8,34. Dalam buku karangan Ginting (2007: 162), proses perombakan berlangsung dengan baik pada pH 6,5-8,5. Tapi dalam reaktor sering terjadi perubahan pH menjadi naik yang mana disebabkan fotosintesis dan reduksi sulfat, sedangkan yang menyebabkan penurunan pH adalah proses oksidasi dan nitrifikasi. dan pengeringan) serta faktor kimia (misal: adanya senyawa toksik atau senyawa kimia lainnya (Hadioetomo, 1985).

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

1. Konsentrasi COD dan pH memiliki pengaruh terhadap kinerja GAC-DCMFCs. Semakin tinggi konsentrasi substrat, maka semakin tinggi nilai COD yang disisihkan dan penggunaan pH 7 mampu meningkatkan kinerja GAC-DCMFCs.
2. Konsentrasi COD optimum dalam kinerja GAC-DCMFCs adalah 800 mg/L dan pH optimum terjadi pada pH 7 karena mampu menyisihkan COD dan memproduksi listrik lebih stabil dibandingkan dengan variasi lainnya.

4.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya pH divariasikan lebih detail dalam kisaran 7-8, karena pada kisaran tersebut menghasilkan kinerja GAC-DCMFCs yang hampir sama.
2. Diperlukan pengolahan lanjutan untuk menghasilkan output limbah yang memenuhi baku mutu.

Daftar Pustaka

- Ahn, Youngho. 2010. *Effectiveness of Domestic Wastewater Treatment Using Microbial Fuel Cells at Ambient And Mesophilic Temperatures*. Bioresource Technology 101 (2010) 469–475
- Barua, Pranab K *et al.* 2010. *Electricity Generation from Biowaste Based Microbial Fuel Cells*. International Journal of Energy, Information and Communications. Vol. 1, Issue 1: 77
- Behera, Et Al., 2009. *Performance of Microbial Fuel Cell in Response to Change in Sludge Loading Rate at Different Anodic Feed pH*. Bioresource Technology. 100 (2009) 5114–5121
- Du, Zhuwei. 2007. *A state of the Art Review on Microbial Fuel Cells: A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy*. Biotechnology Advances 25 (2007) 464–482

- Elakkiya, E. 2013. *Comparison of Anodic Metabolisms in Bioelectricity Production During Treatment of Dairy Wastewater in Microbial Fuel Cell*. Bioresource Technology. 136 (2013) 407–412
- Ginting, Perdana. 2008. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Penerbit Yrama Widya. Bandung
- Himawan, Ditto. 2012. *Studi Pengaruh Volumetric Loading Rate dan Upflow Velocity terhadap Penurunan Parameter BOD, COD, TSS, dan Nitrat Dalam Limbah Cair Domestik Artificial Menggunakan Reaktor UASB*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Hisham, dkk. 2013. *Microbial Fuel Cells Using Different Types of Wastewater for Electricity Generation and Simultaneously Removed Pollutant*. Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 8, No. 3 (2013) 316 - 325
- Jiang, Daqian. 2009. *Granular Activated Carbon Single-Chamber Microbial Fuel Cells (GAC-SCMFCs): A Design Suitable for Large-Scale Wastewater Treatment Processes*. Biochemical Engineering Journal 47 (2009) 31–37
- Huang, Hui, dkk. 2013. *Aging Biofilm from a Full-Scale Moving Bed Biofilm Reactor Characterization and Enzymatic Treatment Study*
- Kristin, Ester. 2012. *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Universitas Indonesia. Depok
- Li, et al. 2011. *Electricity Generation from Anaerobic Wastewater Treatment in Microbial Fuel Cells*. Nyserda. New York
- Logan, Bruce E. 2006. *Electricity-Producing Bacterial Communities in Microbial Fuel Cells*. TRENDS in Microbiology Vol.14 No.12
- Mulyani, Happy. 2012. *Pengaruh Pre-Klorinasi dan Pengaturan pH terhadap Proses Aklimatisasi dan Penurunan COD Pengolahan Limbah Cair Tapioka Sistem Anaerobic Baffled Reactor*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Nimje, et al. 2011. *Microbial Fuel Cell of Enterobacter Cloacae: Effect of Anodic pH Microenvironment on Current, Power Density, Internal Resistance and Electrochemical Losses*. International Journal of Hydrogen Energy. 36 (2011) 11093e11101
- Novitasari, Deni. 2011. *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik menggunakan Bakteri Lactobacillus bulgaricus*. Universitas Indonesia. Depok
- Puig et al., 2010. *Effect of pH on Nutrient Dynamics and Electricity Production using Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology 101 (2010) 9594–9599
- Sami, Muhammad. 2012. *Penyisihan COD, TSS, dan pH dalam Limbah Cair Domestik dengan Metode Fixed-Bed Column Up Flow*. Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe Vol. 10 No.21, Juni 2012 ISSN 1693-248X
- Septyana, Ian. 2014. *Pengaruh Variasi Debit dan Jumlah Elektroda terhadap Penurunan COD dan Produksi Listrik di dalam Reaktor Microbial Fuel Cells (MFCs) Studi Kasus: Air Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) Kota Salatiga*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Shepherd, Austin R. 1992. *Granular Activated Carbon for Water & Wastewater Treatment*. Carbtrol Cooperation. United States
- Sitorus, Berlian. 2010. *Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba*. Jurnal ELKHA Vol. 2, No. 1
- TSC's Water Treatment Engineering and Research Group. 2010. *Reclamation Managing Water in the West: Granular Activated Carbon (GAC)*. US Department of the Interior Bureau of Reclamation. United States
- Utari, Nareswati Dwi. 2014. *Pemanfaatan Limbah Buah - Buahan sebagai Penghasil Energi Listrik dengan Teknologi Microbial Fuel Cells (Variasi Penambahan Ragi Dan Asetat)*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Wang, Chin Tsan. 2014. *Theory and Application of Microbial Fuel Cells*. AvE4EvA. ISBN-13 978-9535116271
- Winaya, I Nyoman Suprpta. 2011. *Pemanfaatan Air Bilasan Bagas Untuk Menghasilkan Listrik Dengan Teknologi Microbial Fuel Cells*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram. Vol. 5 No.1. April 2011 (57-63)
- Zahara, Nova Chisilia. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces Cerevisiae dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Listrik*. <http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/20280924-S646-Pemanfaatan%20saccharomyces.pdf>. diakses: 23-1-2014
- Zhang, Yifeng. 2012. *Energy Recovery from Waste Streams with Microbial Fuel Cell (MFC)-Based Technologies*. Technical University of Denmark. Denmark