

**PENGARUH KONSENTRASI *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DAN
LARUTAN GARAM DALAM JEMBATAN GARAM TERHADAP KINERJA DUAL
CHAMBER MICROBIAL FUEL CELLS (DCMFCs)**

Nurul Ulfia^{*)}; Ganjar Samudro^{**)}; Sri Sumiyati^{**)}

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudharto SH Tembalang Semarang
Email : nurululfia@outlook.com

ABSTRACT

Nowadays, global energy demand and amount of wastewater are increasing. Problems of wastewater and global energy demand are acting as a major reason to research into alternative renewable technologies. Microbial Fuel Cells (MFCs) is one of alternative renewable and sustainable technology, which converts chemical energy in organic substances into electricity using bacteria. Variation of COD concentrations are 400 mg/l, 800 mg/l, and 1,200 mg/l, while variation of salt solutions are NaCl, BaCl₂, and MgCl₂. The reactors were operated on 14 days acclimatization phase and 35 days running phase. The optimum performance was observed at 800 mg/l COD concentration and NaCl as salt solution in salt bridge with the highest COD removal efficiency and power density are 92.3% and 454.8 mW/m². The results indicate that performance of DCMFCs were influenced by COD concentration and salt solution in salt bridge.

Keywords: Dual Chamber Microbial Fuel Cells, salt solution, chemical Oxygen Demand (COD).

I. PENDAHULUAN

Permasalahan yang muncul seiring dengan peningkatan jumlah penduduk yaitu meningkatnya kebutuhan akan sumber energi karena energi merupakan kebutuhan yang esensial bagi seluruh manusia (Kristin, E. 2012 :1). Salah satu sumber energi utama yang digunakan adalah bahan bakar fosil, padahal bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat didaur ulang lagi dan lama kelamaan akan habis apabila terus menerus dikonsumsi. Selain itu muncul permasalahan lain yaitu meningkatnya jumlah air limbah yang dihasilkan akibat aktivitas manusia baik dari kegiatan domestik maupun perindustrian. Limbah yang dihasilkan apabila dibuang langsung ke lingkungan dapat membahayakan, karena limbah bisa mengandung bahan beracun atau komponen yang bersifat karsinogen, oleh karena itu perlu adanya pengolahan. Dari kedua permasalahan diatas diperlukan solusi untuk menanganinya. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dimasa ini telah ditemukan teknologi alternatif yang dapat mengolah air limbah sekaligus menghasilkan sumber energi yang dapat menggantikan bahan bakar fosil yang semakin berkurang jumlahnya. Teknologi terbaru menyebutkan bahwa terdapat sebuah proses biologi yang berfungsi untuk menghasilkan bioenergi dari air limbah tersebut yaitu *microbial fuel cells* (Angenent, 2004:2).

Microbial fuel cell (MFC) merupakan teknologi yang di desain untuk dapat menghilangkan bahan organik yang ada didalam air

limbah serta dapat juga menghasilkan energi listrik dalam proses pengolahan limbah cair, dengan menggunakan proses elektrokimia yang dapat secara langsung mengubah energi yang tersimpan dalam ikatan kimia senyawa organik yang terkandung di dalam air limbah menjadi listrik dengan bantuan mikroorganisme (Wei L., 2012:1). MFC memberikan jawaban untuk teknologi pengolahan air limbah, dimana menurut penelitian Menurut Ghangrekar, M.M., (2005: 1), MFC mampu untuk memberikan penurunan COD lebih dari 90% serta merupakan teknologi bersih, aman, efisiensi energi yang tinggi, emisi rendah, dan kemudahan dalam operasi. Namun beberapa permasalahan masih ada dalam teknologi ini. Beberapa komponen yang mempengaruhi kerja dari MFCs adalah substrat yang digunakan, jenis dan luas penampang elektroda, material pembuat jembatan garam, *internal resistant* dan lainnya (Rabaey dan Verstraete, 2005: 2), yang perlu perhatian lebih lanjut.

Dari beberapa permasalahan yang timbul dalam reaktor MFC maka pada penelitian ini digunakan *Dual Chamber Microbial Fuel Cells* (DCMFCs) dan dilakukan beberapa variasi komponen reaktor MFC untuk mengetahui pengaruh komponen tersebut terhadap kinerja MFC dan mendapatkan hasil yang optimum sebagai teknologi pengolahan limbah dan produksi listrik. Variasi yang digunakan adalah variasi konsentrasi COD dan larutan garam dalam jembatan garam. Keberadaan COD dalam reaktor mempunyai peran sebagai sumber karbon bagi bakteri sehingga

^{*)} Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

^{**)} Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

keberadaannya sangat mempengaruhi sistem kinerja MFCs. Hal tersebut bisa dibuktikan dalam penelitian yang dilakukan oleh Jiang, *et al.* (2009) bertambahnya konsentrasi COD yaitu dari 100–1500 mg COD/L meningkatkan aktivitas mikroorganisme sehingga meningkatkan produksi arus listrik. Keberadaan jembatan garam dalam reaktor MFC juga mempunyai pengaruh terhadap kinerja MFC, berdasarkan jurnal penelitian Muralidharan, (2011 :1), menyebutkan dengan adanya jembatan garam membuat proton dari hasil metabolisme bakteri bisa segera di transfer dari ruang anoda ke katoda. Menurut Verma, Shefali, (2002:13), mengatakan bahwa pH mempengaruhi proses anaerobik, karena bakteri anaerobik khususnya *methanogens* sangat sensitif pada konsentrasi asam dan pertumbuhan mereka akan terhambat oleh kondisi sangat asam sehingga apabila ion hidrogen (H^+) atau proton tidak tertransfer maka akan membuat kondisi anoda menjadi sangat asam karena kelebihan ion H^+ , dan dapat mempengaruhi kerja bakteri dalam proses degradasi limbah secara anaerobik. Selain itu dengan adanya jembatan garam elektron akan mengalir kontinyu melalui kawat pada rangkaian luar. Menurut Achmad (2007:3), jika kedua elektrolit pada sel dipisahkan sama sekali tanpa adanya jembatan garam, maka aliran elektron akan segera berhenti karena terjadinya ketidaknetralan muatan listrik. Menurut Gross, Erin M., (2012:1), jembatan garam terbuat dari agar dengan larutan garam yang bersifat elektrolit. Hal itu dikarenakan larutan elektrolit mudah terionisasi menjadi anion dan kation dan mudah berikatan dengan ion lainnya. Anion dan kation dari setiap larutan elektrolit mempunyai nilai yang berbeda yang mempengaruhi mobilitas ion dalam larutan elektrolit dan mempengaruhi nilai arus dalam sel. Atas dasar tersebut maka kedua variasi ini dipilih dengan tujuan melihat pengaruh kedua variabel terhadap kinerja *dual chamber microbial fuel cells*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium untuk mengetahui efisiensi penyisihan COD dan produksi listrik yang dihasilkan. Menggunakan air limbah artifisial (campuran asam asetat dan glukosa). Penelitian ini terbagi menjadi 3 tahap : tahap persiapan, tahap seeding dan aklimatisasi dan tahap running.

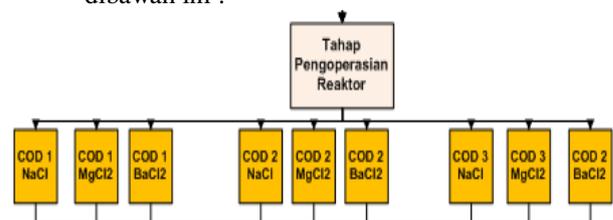
1. Tahap persiapan meliputi kegiatan perakitan reaktor, pembuatan jembatan garam, perendaman elektoda, dan menemukan konsentrasi COD artifisial.
2. Tahap seeding dan aklimatisasi yang dilakukan pada penelitian menggunakan sistem reaktor *batch*. Limbah yang digunakan dalam tahap aklimatisasi merupakan pencampuran antara limbah artifisial dan limbah *septic tank* dengan

perbandingan 2/3 limbah artifisial dan 1/3 limbah asli *septic tank*. Volume reaktor akan selalu dipertahankan pada 600 ml. Masa *seeding* dan aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan selama 14 hari dan dikatakan berhasil jika diasumsikan mikroba telah menempel dan mulai tumbuh dengan melihat kenaikan persentase removal COD hingga mencapai stasioner atau fluktuasi efisiensi penyisihan COD dalam persen tidak lebih dari 10%. Pada tahap *seeding* dan aklimatisasi juga dilakukan pemasukan konsentrasi limbah secara bertahap hal itu dilakukan agar bakteri mengalami adaptasi dan tidak mengalami *shock*. Konsentrasi COD didalam reaktor dikondisikan bertahap setiap 3 hari sekali sesuai dengan variasi COD yang akan dimasukkan dalam reaktor dari 50 % hingga 100 % (Himawan Ditto, 2012).

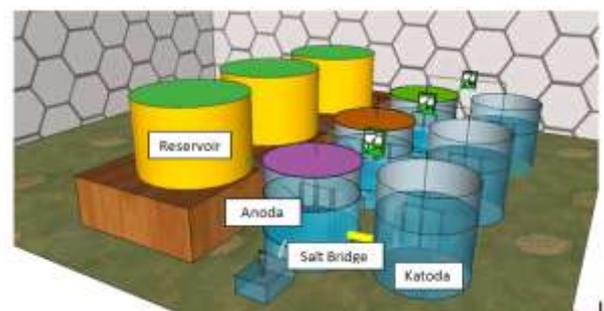
Gambar 1. Tahapan Seeding dan Aklimatisasi



3. Tahap *Running*
Tahap *running* dilakukan selama 35 hari dengan menggunakan sistem kontinyu, dengan menggunakan waktu tinggal 10 jam. Untuk rancangan penelitian bisa dilihat pada gambar.2 dan desain reaktor pada gambar.3 dibawah ini :



Gambar 2. Rancangan Penelitian



Gambar 3. Desain Reaktor

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

***) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

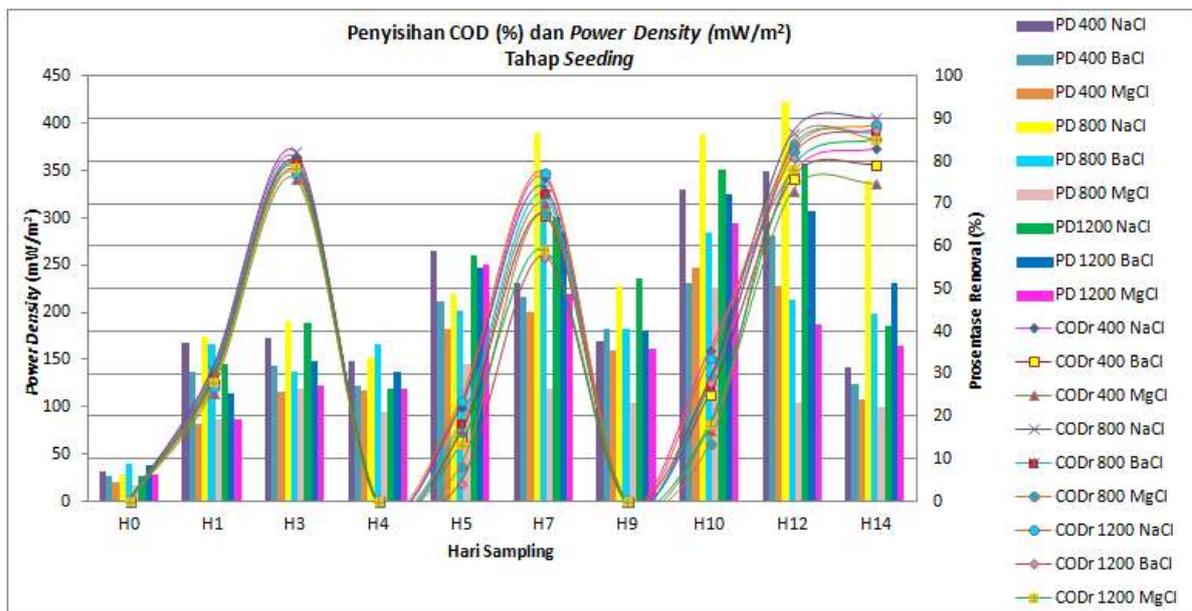
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tahap Seeding dan Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi dilakukan selama 14 hari dimulai pada tanggal 12 September sampai 26 September 2014. Hal tersebut juga dikatakan dalam Li, Baikun (2011:42), mengatakan biofilm membutuhkan waktu kontak dengan substrat organik untuk dapat mengadsorb dan mendegradasi substrat. Untuk waktu aklimatisasi dibutuhkan waktu 2 atau 4 minggu untuk proses penumbuhan biofilm. Titik akhir aklimatisasi dalam Yazid Fauzia et al., (2012), titik akhir proses aklimatisasi ditandai ketika penurunan COD telah menunjukkan

angka yang stabil, yakni pada kondisi penyisihan senyawa organik telah konstan dengan tingkat fluktuasi yang tidak lebih dari 10 %. Dari data penelitian untuk penurunan COD pada konsentrasi 400 mg/l mempunyai nilai rata-rata efisiensi removal 37,7%, konsentrasi 800 mg/l 39,3% dan 1200 mg/l sebesar 37,9%. Sedangkan untuk variasi jenis garam yang menghasilkan nilai removal terbaik dengan menggunakan garam NaCl dengan efisiensi removal 41,1%.

Gambar 4. Grafik Efisiensi Removal dan Power Density Tahap Seeding dan Aklimatisasi



Dari gambar 2 diatas dapat dilihat *power density* juga masih mengalami flukuasi yang beragam mempunyai kecenderungan menurun pada hari ke-4 dan H-9. Hal tersebut dikarenakan pada hari ke-4 dan H-9 bahan organik yang terdapat didalam reaktor semakin menipis, menyebabkan kinerja bakteri dalam memetabolisme bahan organik menurun sehingga hasil elektron dan proton yang dihasilkan juga sedikit. Hal tersebutlah yang menyebabkan produksi listrik menurun, walaupun pada hari tersebut dilakukan injeksi namun diperkirakan limbah belum tercampur sempurna. Kemudian cenderung meningkat pada H-5 dan H-10 karena pada saat itu konsentrasi yang ditambahkan pada hari sebelumnya, diproses kembali oleh bakteri untuk proses metabolisme sehingga produksi listriknya bisa naik kembali. Untuk nilai *power density* pada konsentrasi COD 400 mg/l senilai 171,6 mW/m², COD 800 mg/l senilai 186,3 mW/m², dan COD 1200 mg/l senilai 194,1 mW/m². Dan apabila nilai *power density* yang dihasilkan dengan menggunakan jenis garam yang berbeda untuk NaCl 223,8 mW/m², BaCl₂ 187,9 mW/m² dan MgCl₂ 140,4 mW/m².

3.2. Tahap Running

3.2.1 Analisis Pengaruh Konsentrasi COD dan Jenis Larutan Garam Terhadap Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cells

1. Pengaruh Variasi Konsentrasi COD

Jadhav G.S (2009), performa MFC bisa dipengaruhi oleh laju konversi substrat, performa membran penukar ion, internal dan eksternal resisten didalam sel, serta perbedaan potensial anoda dan katoda. Menurut Pant *et al* (2009), substrat sangat penting dalam berbagai proses pengolahan biologi karena menjadi sumber karbon (nutrien) dan sumber energi. Efisiensi untuk mengubah susbtrat dari material organik untuk menjadi energi tergantung dari karakteristik dan komponen dari material limbahnya. Terutama komposisi kimia dan konsentrasi dari komponen yang akan mengalami proses perubahan menjadi energi. Laju konversi substrat salah satunya disebabkan oleh konsentrasi substrat yang dimasukkan kedalam anoda berbeda-beda yang memberikan pengaruh terhadap performa MFC. Hasil untuk rata-rata penyisihan (yang didapat dari kondisi steady state H15-H35) konsentrasi COD

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

***) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

400 mg/l adalah 77,9%, untuk konsentrasi COD 800 mg/l bernilai 85,1% dan untuk konsentrasi COD 1200 mg/l adalah 80,5%. Sedangkan nilai *effluent* untuk konsentrasi 400 mg/l dan 800 mg/l nilai *effluent* sudah berada dibawah nilai 100 mg/l namun untuk konsentrasi COD 1200 mg/l masih terdapat konsentrasi *effluent* 200 mg/l hal ini menandakan kemungkinan tidak semua substrat yang hadir dikonsumsi semua oleh bakteri, dikarenakan semakin besar beban organik yang dimasukkan maka beban bakteri dalam mengolah akan meningkat sehingga akan memerlukan waktu yang lama untuk mengolah substrat tersebut dan juga bakteri mempunyai batas kemampuan dalam mendegradasi bahan organik, walaupun banyak substrat yang dimasukkan kedalam reaktor dengan tujuan semakin banyak makanan maka bakteri akan semakin banyak memetabolisme substrat tersebut. Pendapat lain juga dikemukakan oleh Husin (2008) peningkatan konsentrasi COD menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan COD. Hal ini dikarenakan semakin tingginya konsentrasi COD influen, maka semakin besar juga jumlah substrat yang terkandung dalam limbah cair, dengan demikian beban organik yang harus diuraikan oleh mikroba juga semakin besar dan kerja mikroba juga meningkat. Hal ini juga diduga karena semakin terbatasnya jumlah mikroorganisme pengurai aktif, sehingga membuat kemampuan mendegradasi substrat pun semakin terbatas.

Untuk nilai *power density* konsentrasi COD 400 mg/l didapatkan rata-rata 157,9 mW/m², konsentrasi COD 800 mg/l rata-rata 278,8 mW/m² dan konsentrasi 1200 mg/l rata-rata 230 mW/m². Peningkatan *power density* akan meningkat naik seiring dengan meningkatnya konsentrasi substrat yang dimasukkan kedalam reaktor. Dengan meningkatnya substrat akan meningkatkan pertumbuhan dan aktifitas bakteri dalam proses metabolisme dan mendegradasi substrat menjadi elektron dan proton yang akhirnya bisa terukur menjadi energi listrik. Sehingga *power density* meningkat dari konsentrasi 400 menuju 800 mg/l. Sedangkan pada konsentrasi 1200 mg/l lebih kecil dari 800 mg/l hal ini kemungkinan disebabkan oleh kemampuan bakteri dalam mendegradasi, terutama apabila konsentrasi substrat yang menjadi *influent* terlalu besar sehingga tidak semua substrat akan dikonsumsi. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Ghoreyshi *et al* (2011) yang melakukan percobaan dengan variasi konsentrasi substrat 1-20 g/l. Hasilnya menunjukkan bahwa *power* dan *current density* meningkat ketika substrat pada nilai 1-5 g/l. Namun ketika diobservasi lebih lanjut dengan meningkatkan konsentrasi menjadi 7-20 g/l hasil *power* dan *current density* menurun. Hal tersebut dikarenakan tidak semua substrat dapat dikonsumsi bakteri pada konsentrasi yang tinggi karena bakteri mempunyai

batas kemampuan dalam mengkonsumsi karbon dalam konsentrasi yang tinggi.

2. Pengaruh Larutan Garam dalam Jembatan Garam

Dari penelitian yang dilakukan besarnya penyisihan konsentrasi COD setiap reaktor dengan variasi larutan garam menghasilkan efisiensi yang baik dengan nilai mencapai 88-92% dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa jenis garam yang digunakan NaCl, BaCl₂ dan MgCl₂ berfungsi dengan baik dalam proses menghantarkan elektron dari anoda menuju katoda. Untuk garam NaCl rata-rata dapat menyisihkan 83,96%, BaCl₂ dapat menyisihkan 81% dan MgCl dapat menyisihkan 79,5%. Apabila ketiga jenis larutan garam tidak dapat bekerja dengan baik maka proses penurunan konsentrasi COD tidak berjalan sebab ion H⁺ yang menjadi indikasi faktor pH asam akan menumpuk di dalam anoda, tidak tertransfer menuju katoda. Hal tersebut akan mengganggu kinerja bakteri yang ada di anoda. Menurut Verma, Shefali, (2002:13), mengatakan bahwa pH mempengaruhi proses anaerobik, karena bakteri anaerobik khususnya methanogens sangat sensitif pada konsentrasi asam dan pertumbuhan mereka akan terhambat oleh kondisi sangat asam sehingga apabila ion hidrogen (H⁺) atau proton tidak tertransfer maka akan membuat kondisi anoda menjadi sangat asam karena kelebihan ion H⁺, dan dapat mempengaruhi kerja bakteri dalam proses degradasi limbah secara anaerobik.

Selain berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD larutan garam juga mempengaruhi terhadap nilai listrik yang dihasilkan. Jembatan garam terdiri dari ion positif dan negatif yang bebas untuk berpindah dari satu sel ke sel yang lain namun tidak berpartisipasi dalam reaksi oksidasi dan reduksi. Ketika elektron melewati *external* sirkuit (kabel luar) maka proton akan melewati jembatan garam dengan ion negatif yang akan menjadi alat transportasinya menuju sel katoda hal tersebut yang akan menjadi kenetralan listrik Orna Mary Virginia (1994). Pada saat mikroba melakukan metabolisme menggunakan substrat yang dimasukkan akan dihasilkan elektron (e⁻) dan proton (H⁺) dan membuat ruang anoda akan kelebihan elektron dan proton. Kemudian ion-ion tersebut bergerak menuju tempat yang lebih netral. Proton akan bergerak menuju katoda melalui jembatan garam dimana proton akan berikatan dengan ion negatif yang berada di jembatan garam, sedangkan elektron akan berpindah melalui eksternal sirkuit. Gross (2012) juga mengatakan sebuah listik dapat dihasilkan ketika larutan elektrolit yang berbeda komposisi dipisahkan oleh sebuah hambatan contohnya membran atau *salt bridge* (sebuah pipa berisikan jel yang mengandung inert elektrolit dimana dapat menghubungkan

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

kedua sel untuk proses pertukaran ion dimana tetap menjaga kenetralan).

Menurut Zhang, Y (2012), jembatan garam bisa digunakan sebagai membran penukar proton yang menggantikan fungsi PEM yang relatif mahal. Meskipun jembatan garam harganya lebih murah dari pada membrane penukar proton (CEM/PEM), tingkat produksi listrik dapat dihasilkan. Jenis garam dalam jembatan garam yang digunakan dalam penelitian ini berbeda jenis yaitu menggunakan NaCl, BaCl₂ dan MgCl₂ dengan tujuan mengetahui jenis garam yang paling efektif dalam meningkatkan produksi listrik. Cara pembuatan jembatan garam adalah dengan melarutkan ketiga jenis garam kedalam aquadest, kemudian dipanaskan hingga mengental setelah itu dimasukkan ke dalam pipa-U. Tujuan dari penggunaan pipa-U adalah mencegah agar air limbah yang ada di anoda dan KMnO₄ yang di katoda tidak mengalami perpindahan dan bercampur.

Dari hasil penelitian, didapatkan hasil bahwa untuk menggunakan larutan garam dengan NaCl menghasilkan nilai rata-rata 296,5 mW/m², BaCl₂ menghasilkan nilai rata-rata 189,6 mW/m² dan MgCl₂ menghasilkan nilai 180,6 mW/m². Hal tersebut dikarenakan mobilitas ion dalam jembatan garam yang memiliki nilai yang berbeda. Mobilitas ion merupakan kecepatan ion pada beda potensial antara kedua larutan elektrolit. Konsentrasi larutan elektrolit pada jembatan garam lebih tinggi dari elektrolit di kedua elektroda maka ion negatif dalam jembatan garam akan masuk kesetengah sel yang kelebihan muatan positif dan ion positif akan berdifusi kebagian lain yang kelebihan muatan negatif. Mobilitas ionik dalam jembatan garam berpengaruh terhadap R_{larutan}, dimana semakin kecil nilai R_{larutan} maka nilai arus yang dihasilkan akan maksimal sesuai dengan Hukum Ohm yang mengatakan bahwa hambatan berbanding terbalik dengan arus. Untuk nilai R_{larutan} NaCl sesuai dengan tabel 2.1 (bab II) didapatkan sebesar 2,72, untuk BaCl₂ 9,25 dan MgCl₂ 10,32. Nilai R_{larutan} kecil dikarenakan mobilitas ionik yang seimbang, maka jumlah ion yang berpindah dalam waktu yang sama seimbang. Menurut Widitya Arsandi (2007) yang melakukan penelitian pengaruh elektrolit dalam jembatan garam dimana melakukan variasi larutan garam KCl, NaCl, dan KNO₃ mendapatkan hasil bahwa KCl memiliki nilai listrik yang lebih tinggi karena nilai R_{larutan} yang dihasilkan relatif kecil dengan nilai mobilitas ion yang hampir seimbang berpindah dalam waktu yang sama. Kekuatan NaCl dalam menghantarkan ion H⁺ juga dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Kumar Shiv (2012) yang memvariasikan jenis garam dan mendapatkan hasil NaCl mempunyai performa terbaik. Untuk konsentrasi larutan garam yang digunakan didalam jembatan garam adalah 1 M. Hal tersebut diambil berdasarkan jurnal penelitian yang dilakukan oleh

Muralidharan A, *et al* (2011) yang memvariasikan konsentrasi larutan garam mulai dari 1,3,5,7,dan 9M. Hasil dari penelitian tersebut adalah nilai *power density* terbesar dihasilkan oleh konsentrasi 1M sehingga untuk penelitian kali ini juga dilakukan hal yang sama sesuai dengan penelitian sebelumnya.

3.2.2. Menentukan Konsentrasi COD dan Variasi Larutan Garam Optimum Dalam Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cells

Salah satu tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah menentukan konsentrasi COD dan larutan garam yang optimal untuk meningkatkan kinerja *dual chamber microbial fuel cells*.

Berdasarkan analisa yang dilakukan untuk konsentrasi optimum yang dihasilkan untuk variasi konsentrasi yaitu 77,9% untuk COD 400 mg/l, 85,08 untuk COD 800 mg/l, dan 80,53 untuk COD 1200 mg/l. Untuk *power density* 157,9 mW/m² untuk COD 400 mg/l, 278,8 mW/m² untuk COD 800 mg/l dan 230 mW/m² untuk COD 1200 mg/l. maka dapat dilihat konsentrasi optimal dihasilkan oleh konsentrasi COD 800-1200 mg/l. Kemudian apabila dilihat dari variasi garam yang digunakan untuk efisiensi penyisihan menggunakan NaCl 83 %, BaCl₂ 81% dan MgCl₂ 80,53%. Sedangkan nilai *power density* yang dihasilkan NaCl 296,5 mW/m², BaCl₂ 189,6 mW/m² dan MgCl₂ 180,6 mW/m². Walaupun dalam rata-rata efisiensi konsentrasi COD 400 mg/l memiliki efisiensi lebih besar, namun untuk jumlah selisih konsentrasi yang disisihkan setiap harinya masih lebih besar untuk konsentrasi 800 mg/l. Hal itu dikarenakan semakin banyak substrat yang dimasukkan maka akan meningkatkan aktifitas bakteri didalamnya. Apabila aktivitas bakteri meningkat maka akan terjadi penurunan konsentrasi yang cukup besar. Hal itu berdampak pada *power density* yang dihasilkan. Berdasarkan pernyataan Jadhaf, G.S.(2009), antara produksi listrik dan penghilangan substrat pada reaktor memiliki hubungan yang linear yaitu produksi listrik meningkat seiring dengan meningkatnya penghilangan COD dalam air limbah. Untuk jenis garam yang optimum dihasilkan oleh jenis garam NaCl. Hal tersebut dikarenakan NaCl memiliki nilai R_{larutan} yang lebih kecil dari kedua jenis larutan garam yang lainnya sehingga apabila semakin kecil nilai R_{larutan} maka nilai arus yang dihasilkan akan maksimal sesuai dengan Hukum Ohm yang mengatakan bahwa hambatan berbanding terbalik dengan arus.

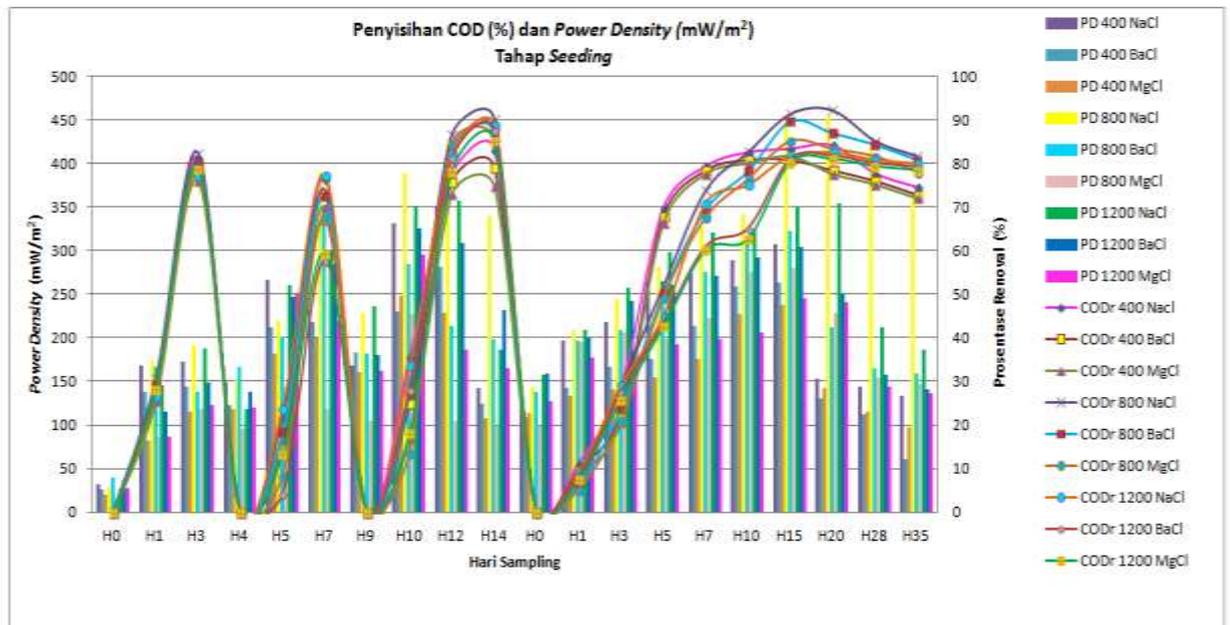
Berdasarkan dari penjelasan tersebut maka dapat disimpulkan pada penelitian ini keadaan optimum dihasilkan pada konsentrasi COD 800 mg/l dengan jenis garam NaCl yang juga menghasilkan nilai maksimal dalam efisiensi penyisihan COD 92,3 % dengan *power density*

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

454,8 mW/m². Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Berdasarkan gambar.5 dibawah ini :

Gambar . 5 Grafik Efisiensi Removal dan *Power Density* Tahap *Running*



KESIMPULAN, SARAN DAN IMPLIKASI

a. Kesimpulan

1. Variasi konsentrasi COD mempengaruhi kinerja MFC yaitu dengan semakin besar konsentrasi influen COD maka semakin besar selisih penurunan konsentrasi COD dan semakin besar nilai *power density*. Ketiga jenis larutan garam berfungsi baik dalam menurunkan kadar COD, dan dalam *power density* menghasilkan nilai yang berbeda-beda karena pengaruh mobilitas ionik yaitu semakin kecil Rlarutan lautan garam maka akan menghasilkan *power density* yang besar $R_{larutan\ NaCl} < R_{larutan\ BaCl_2} < R_{larutan\ MgCl_2}$, sehingga *power density* NaCl lebih besar dari kedua jenis garam lainnya.

2. Konsentrasi COD optimum yang dihasilkan pada penelitian ini dihasilkan oleh konsentrasi COD 800 mg/l dengan nilai efisiensi 92,3% dan jenis larutan garam yang optimal dihasilkan oleh jenis NaCl dengan *power density* optimal 454,8 mW/m².

b. Saran

1. Terdapatnya pengolahan lanjutan setelah keluar dari outlet MFC, karena hasil penelitian ini belum memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan untuk *effluent* limbah cair domestik.

2. Mengkaji lebih lanjut faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja MFC agar mendapatkan kondisi reaktor yang selalu optimal.

c. Implikasi Kesimpulan Penelitian

1. Implikasi teoritis yang dihasilkan dari penelitian ini mengenai pengaruh konsentrasi COD dan larutan garam dalam jembatan garam di reaktor *dual chamber microbial fuel cells* dapat

membuktikan bahwa kedua komponen yang menjadi variasi dalam penelitian mempunyai pengaruh dalam meningkatkan kemampuan reaktor dalam menurunkan konsentrasi COD dan produksi listrik yang dihasilkan.

- Implikasi praktis, pada penelitian ini menghasilkan model reaktor DCMFCs yang menjadi referensi dan acuan untuk penelitian selanjutnya agar dapat menghasilkan reaktor DC-MFCs yang bekerja optimal. Hasil yang diperoleh dari penelitian menggunakan reaktor *dual chamber microbial fuel cells* menghasilkan konsentrasi COD optimal 800-1200 mg/l dan jenis larutan garam optimal NaCl, sehingga dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Nurdin. 2011. *Sel Elektrokimia*. Modul Pembelajaran Kimia. <http://kimia.upi.edu/utama/bahanajar/kimia%20dasar/elektrokimia/Sel%20galvan1.htm>
- Angenent, Largus T., Krurshed Karim, Muthanna H. Al-Dahlan, Brian A. Wrenn. And Rosa Domiguez-Espinosa. 2004. *Production Of Bioenergy And Biochemicals From Industrial And Agricultural Wastewater*. TRENDS in Biotechnology Vol.22 No.9 September 2004.
- Ghangrekar, M.,M., V.B. Shinde. 2006. *Performance Of Membrane-Less Microbial Fuel Cell Treating Wastewater And Effect Of Electrode Distance and Area On*

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

***) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

- Electricity Production*. Indian Institute of Technology, India.
- Ghoreyshi, A., A., T. Jafary, G. D. Najafpour, F. Hagfparast. 2011. *Effect Of Type And Concentration Of Substrate On Power Generation In A Dual Chambered Microbial Fuel Cell*. World Renewable Energy Congress-Sweden. Chemical Engineering Department, Babol University of Technology, Babol, Iran.
- Gross, Erin, M. *Analytical Electrochemistry : Potentiometry*. 2012. http://www.asdlib.org/onlineArticles/ecourses/Gross_Potentiometry/Junction%20Potentials.pdf.
- 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 (Skripsi)*. <http://eprints.undip.ac.id/40940/>.
- Jadhav, G., S., M. M. Gharengkar. 2009. *Performance Of Microbial Fuel Cell Subjected To Variation in pH, Temperature, External Load And Substrate Concentration*. *Bioresource Technology* 100 (2009) 717–723. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur 721302, West Bengal, India.
- Jiang, Daqian, Li Baikun. *Granular Activated Carbon Single-Chamber Microbial Fuel Cells (GAC-SCMFCs). A Design Suitable For Large-Scale Wastewater Treatment Processes*. *Biochemical Engineering Journal* Volume 47 Halaman 31–37. University of Connecticut United States.
- Kristin, Ester. 2012. *Produksi Energi Listrik Melalui MFC Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Skripsi Universitas Indonesia.
- Li, Baikun; Karl Scheible; Michael Curtis. 2011. *Electricity Generation From Anaerobic Wastewater Treatment In Microbial Fuel Cells*. NYSERDA . USA.
- Muralidharan, A., OK Ajay Baba, K. Nimalraman, M. Ramya. 2011. *Impact of Salt Concentration on Electricity Production in Microbial Hydrogen Based Salt Bridge Fuel Cells*. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* ISSN: 2231-6345.
- Orna, Mary, Virginia. 1994. *A Source Book Module Electrochemistry*. Department of Chemistry College of New Rochelle, New York.
- Pant, Deepak, Gilbert Van Bogaert, Ludo Diels, Karolien Vanbroekhoven .2009. *A Review Of The Substrates Used In Microbial Fuel Cells (Mfcs) For Sustainable Energy Production*. *Bioresource Technology* xxx (2009) xxx–xxx. Separation and Conversion Technology, VITO – Flemish Institute for Technological Research, Boeretang 200, Mol 2400, Belgium.
- Rabaey, Korneel, Willy Verstraete. 2005. *Microbial Fuel Cells : Novel Biotechnology For Energy Generation*. *TRENDS in Biotechnology* Vol.23 No.6.
- Verma, Shefali. 2002. *Anaerobic Digestion Of Biodegradable Organics In Municipal Solid Wastes*. Department of earth & Environmental Engineering Columbia University.
- Widitya, Arsandi. 2007. *Pengaruh Variasi Elektrolit Jembatan Garam Terhadap Impedansi Sel Galvanik Cu/Z*. Department Of Chemistry. Universitas Indonesia. http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/549/jbptitb_pp-gdl-arsandiwid-27421-5-2007ta-4.pdf.
- Wei, Liling, Hongliang Han, Jianquan Shen. 2012. *Effects Of Cathodic Electron Acceptors And Potassium Ferricyanide Concentrations On The Performance Of Microbial Fuel Cell*. *International Journal Of Hydrogen Energy* 1-7.
- Yazid, Fauzia Rahmiyati. 2012. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Dan Debit Pada Pengolahan Air Artifisial Menggunakan Reaktor UASB (Skripsi)*. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/presipitasi/article/view/4808/4358>
- Zhang, Yifeng. 2012. *Energy Recovery From Waste Streams With Microbial Fuel Cell (MFC)-Based Technologies*. PhD Thesis DTU Environment, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark.

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

***) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang