

Pengaruh pH dan Metabolisme Bakteri *Escherichia coli* dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* Terhadap Reduksi Kromium Heksavalen

The Effect of pH and Escherichia coli Metabolism for Chromium Hexavalent Reduction using Microbial Fuel Cell Reactor

Prapti Ira Kumalasari^{1*}, Junety Monde¹⁾, Zefanya Bernadi Yusuf¹⁾, Rini¹⁾

¹⁾Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Program Studi Teknik Pengolahan Migas

*email: ira.0709@gmail.com

Received: 29/11/19; Revised: 30/12/19; Accepted: 30/12/19

Abstrak

Kalimantan merupakan pulau yang terkenal akan sektor pertambangan salah satunya di daerah delta Mahakam, yang dalam proses eksploitasinya berpotensi menghasilkan limbah logam berat, seperti logam berat Cr^{6+} . Pencemaran logam Cr^{6+} cukup sulit untuk terurai dilingkungan dan bersifat karsinogenik, karena dengan konsentrasi kecil saja dapat menimbulkan tingkat keracunan yang sangat tinggi pada makhluk hidup, sehingga pengolahan terhadap limbah tersebut sangat penting. *Microbial Fuel Cell* merupakan suatu metode yang dapat membantu proses pengolahan limbah dengan cara mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} dengan katalisis mikrobiologis. Penelitian ini menggunakan metode reaktor *double-chamber* yaitu terdapat ruang anoda yang berisi bakteri anaerob dan *basic anolyte*, sedangkan pada ruang katoda terdapat kalium dikromat dengan konsentrasi 18 mg/L dan variasi pH 3, 4 dan 5 yang dilakukan selama 10 hari. Kondisi pH optimum pada proses reduksi terjadi pada pH 4 dengan besar persen penurunan sekitar 98%. Dan produksi listrik tertinggi pada hari ke-2 pada variasi pH 3 dengan nilai power density sebesar sebesar 11, 06 mW/m².

Kata kunci: pH, *microbial fuel cell*, reduksi, kromium

Abstract

Kalimantan is an island that is famous for the mining sector, one of which is in the Mahakam delta area, where the exploitation process has the potential to produce waste. Heavy metal pollution, in this pollution it is quite difficult to decompose the environment and its carcinogenic nature because in small concentrations, it can produce very high levels of poisoning, so it is important for the treatment of these wastes. *Microbial Fuel Cell* is a method that can help the waste treatment process by reducing Cr^{6+} to Cr^{3+} by microbiological catalysis. This research uses a *double-chamber reactor* method where there is an anode chamber containing microorganisms and *basic anolyte*, while in the cathode chamber there is potassium dichromate with a concentration of 18 mg / L and variations in pH 3, 4 and 5 which are carried out for 10 days. Optimum pH conditions in the reduction process occur at pH 4 with a percent decrease of about 98%. And the highest electricity production on day 2 in the variation of pH 3 with a power density value of 11, 06 mW / m².

Keywords: pH, *microbial fuel cell*, reduction, chromium

Pengaruh pH dan Metabolisme Bakteri *Escherichia coli* dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* Terhadap Reduksi Kromium Hexavalen

PENDAHULUAN

Kalimantan merupakan pulau yang terkenal akan sektor pertambangan baik batubara dan pengeboran minyak. Salah satunya di daerah delta Mahakam, yang dalam proses eksploitasinya berpotensi menghasilkan limbah. Pencemaran logam berat merupakan salah satu pencemaran yang cukup sulit untuk terurai dilingkungan dan sifatnya yang karsinogenik, persisten, bioakumulatif, toksik, dan tidak mampu terurai di dalam lingkungan, serta terakumulasi di dalam tubuh manusia melalui rantai makanan (Darlan *dkk.*, 2009).

Dalam kegiatan sehari-hari terkadang tanpa disadari tubuh kita terpapar oleh limbah logam berat baik melalui makanan, minuman ataupun udara yang kita hirup. Salah satunya yaitu logam berat kromium heksavalen (VI). Kromium heksavalen (VI) termasuk ion logam berbahaya yang dibuang ke lingkungan oleh sektor pertambangan didaerah kalimantan yang diketahui bahwa dalam konsentrasi kecil saja dapat menghasilkan tingkat keracunan yang sangat tinggi pada makhluk hidup, sehingga penting untuk pengolahan limbah tersebut (Agustina *dkk.*, 2018).

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan suatu metode yang dapat mengubah energi kimia dalam limbah organik menjadi energi listrik dengan bantuan mikroorganisme, seperti air limbah yang mengandung polutan (Sophia & Saikant, 2016). Proses pengolahan limbah menggunakan MFC dengan cara mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} dengan katalisis mikrobiologis. Menurut Asmadi *dkk.* (2009), pemisahan logam berat dapat dilakukan dengan cara pengendapan dengan membentuk endapan hidroksida pada pH yang tepat. Oleh karenanya pada

penelitian ini akan menganalisa kondisi pH optimal dalam mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} yaitu dengan variasi pH dari 3, 4 dan 5.

METODE PENELITIAN

1. Reaktor MFC

Reaktor *Microbial Fuel Cell* dalam penelitian ini menggunakan *double chamber* yaitu katoda dan anoda dengan volume 800 mL setiap reaktornya, diameter 9,5 cm dan tinggi 13 cm yang dihubungkan oleh jembatan garam dengan diameter 2,3 cm, panjang 6,3 cm, dan tinggi 4 cm dari dasar. Jembatan garam terbuat dari agar batang sebanyak 5% dari KCl dengan konsentrasi 1 M. Elektroda di dua ruang dihubungkan oleh kawat tembaga untuk proses transfer elektron (e^-).



Gambar 1. Reaktor *Microbial Fuel Cell*

2. Preparasi Elektroda

Elektroda karbon dengan luas permukaan sebesar $0,00118 \text{ m}^2$, direndam menggunakan HCl 1M selama 1 hari, selanjutnya direndam dalam NaOH 1M selama 1 hari, setelah itu direndam dalam aquades selama sehari.

3. Preparasi Ruang Katoda dan Ruang Anoda

Ruang katoda pada reaktor *microbial fuel cell* berisi larutan Cr^{6+} dengan konsentrasi 18 mg/L dan larutan buffer sitrat dengan variasi pH 3, 4, dan 5. Larutan Cr^{6+} terbuat dari padatan kalium

Pengaruh pH dan Metabolisme Bakteri *Escherichia coli* dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* Terhadap Reduksi Kromium Hexavalen

dikromat ($K_2Cr_2O_7$) yang telah ditimbang secara kuantitas.

Dalam ruang anoda berisikan bakteri *Escherichia coli*, substrat dan dikondisikan dengan larutan buffer fosfat pH 7 (Rabaey *dkk.*, 2005). Substrat ruang anoda berisikan limbah domestik yang telah di sterilkan, 1,28 mg/L Natrium asetat dan *basic anolyte medium* (Shopia & Sai, 2016).

4. Ekperimen *Microbial Fuel Cell*

Proses pengambilan sampel dilakukan per 24 jam selama 11 hari terhitung mulai dari hari ke-0 hingga hari ke-10. Selanjutnya dianalisa produksi listrik menggunakan multimeter dan perubahan pH yang terjadi menggunakan pH meter pada setiap sampel. Perhitungan pH dicatat setiap hari dengan menggunakan pH meter.

Multimeter dihubungkan pada kedua elektroda dengan capit buaya kemudian dicatat hasil dari beda potensial dan kuat arus yang tertera pada layar multimeter. Hasil yang diperoleh dari multimeter digunakan untuk menentukan nilai *power density* dan digunakan untuk menentukan besar daya yang dihasilkan permeter luas anoda (Kamau *dkk.*, 2017).

$$Power\ density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{I(mA) \times V(mV)}{A(m^2)}$$

Dimana P (mW/m^2) power density dan A (m^2) luas permukaan elektroda, I (mA) kuat arus, V (mV) beda potensial.

Analisis logam Cr^{6+} sisa dilakukan secara kualitatif menggunakan spektrofotometer UV-VIS, dengan pengomplek 1,5-difenilkarbazid dalam suasana asam pada panjang gelombang 540 nm (Padaruskas *dkk.*, 1998). Apabila terbentuk warna merah keunguan berarti sampel positif mengandung $Cr(VI)$.

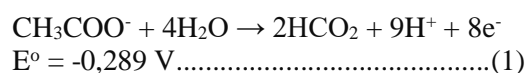
HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor *microbial fuel cell* dengan jenis *double-chamber*. Pada ruang anoda berisikan limbah domestik, mikroorganisme, Natrium asetat, larutan buffer fosfat pH 7, dan *basic anolyte medium* (Watson, 2013). Penambahan senyawa natrium asetat sebanyak 1,28 mg/L pada substrat bertujuan sebagai tambahan sumber karbon untuk bakteri dalam menghasilkan listrik (Sun *dkk.*, 2015). Menurut Fikri (2011), senyawa asetat memiliki kelebihan dibanding senyawa kimia lainnya yaitu senyawa ini, tidak menimbulkan reaksi lainnya pada bakteri saat bakteri bermetabolisme. Sedangkan dalam ruang katoda berisi kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dengan konsentrasi 17 mg/L, larutan buffer sitrat dengan pH 3, pH 4 dan pH 5 disetiap reaktor.

1. Pengaruh pH pada Reduksi Kromium Heksavalen

Penelitian ini memvariasikan konsentrasi pH pada ruang katoda. Menurut Silva *dkk.* (2009), perubahan ion logam $Cr(VI)$ menjadi ion logam $Cr(III)$ dapat dipengaruhi oleh pH. Jika pH semakin rendah (konsentrasi H^+ tinggi) maka perubahan yang terjadi pada ion logam $Cr(VI)$ menjadi ion logam $Cr(III)$ akan semakin besar.

Saat bakteri *Escherichia coli* bermetabolisme, akan menghasilkan proton (H^+) dan elektron (e^-).



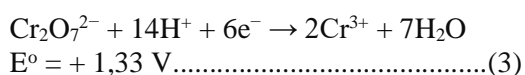
Elektron yang dihasilkan akan berpindah dari ruang anoda ke ruang katoda karena perbedaan potensial

Pengaruh pH dan Metabolisme Bakteri *Escherichia coli* dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* Terhadap Reduksi Kromium Hexavalen

elektroda antara katoda dan anoda, pada anoda bernilai -0,289 V dan pada katoda bernilai $E_o = + 1,33$ V. Nilai potensial elektroda ini distandarkan dengan elektroda hidrogen (Wang *dkk.*, 2019), dengan nilai potensial dari elektroda adalah:



Untuk menyeimbangkan pergerakan elektron, proton (H^+) akan berpindah dari ruang anoda ke ruang katoda melalui jembatan garam. Proton (H^+) dan elektron (e^-) yang berada pada ruang katoda akan bereaksi dengan ion logam Cr(VI) menghasilkan ion logam Cr(III), proses reaksi ini disebut reaksi reduksi.



Tabel 1. Nilai pH pada ruang Anoda

Hari	Ruang Anoda		
	pH 3	pH 4	pH 5
0	7.2	8.6	7.1
1	7.1	7.7	7.1
2	7.1	7.7	7.1
3	7.2	7.8	7.1
4	7.2	7.9	7.2
5	7.2	7.8	7.3
6	7.2	7.8	7.3
7	7.2	8	7.3
8	7.3	7.8	7.4
9	7.3	8	7.4
10	7.3	8	7.5

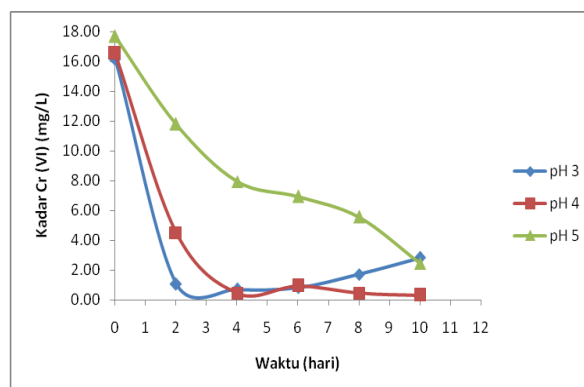
Tabel 2. Nilai pH pada ruang Katoda

Hari	Ruang Katoda		
	pH 3	pH 4	pH 5
0	3	4	5
1	3.1	3.9	5.2
2	3.1	3.8	5.3
3	3.1	4.1	5.4

Hari	Ruang Katoda		
	pH 3	pH 4	pH 5
4	3.1	4.3	5.4
5	3.2	4.4	5.4
6	3.2	4.2	5.5
7	3.2	4.3	5.7
8	3.2	4.3	5.8
9	3.2	4.5	5.9
10	3.2	4.9	6.2

Berdasarkan Tabel 1 dan 2 dapat dilihat bahwa pH dari kedua ruangan mulai dari awal reaktor bekerja sampai reaktor selesai, berubah secara konstan. Hal ini menandakan reaktor bekerja pada variasi konsentrasi pH yang diinginkan.

Menurut Silva *dkk.* (2009), pH larutan mempengaruhi laju perubahan dari ion logam Cr^{6+} menjadi ion logam Cr^{3+} . Semakin rendah pH (konsentrasi H^+ tinggi) maka perubahan ion logam Cr^{6+} menjadi ion logam Cr^{3+} semakin besar.



Gambar 2. Kadar Cr(VI) sisa hasil reduksi dengan pH 3, 4 dan 5 Pada Reaktor *Microbial Fuel Cell*

Pada Gambar 2 terlihat bahwa pada kondisi pH 3, pH 4 dan pH 5 kadar Cr^{6+} sisa mengalami penurunan yang signifikan. Namun, penurunan yang paling maksimum terdapat pada pH 3 dan pH 4. Ion logam Cr^{6+} sisa turun sampai dengan 98% pada pengaruh pH 4. Dapat dikatakan pada pH

Pengaruh pH dan Metabolisme Bakteri *Escherichia coli* dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* Terhadap Reduksi Kromium Hexavalen

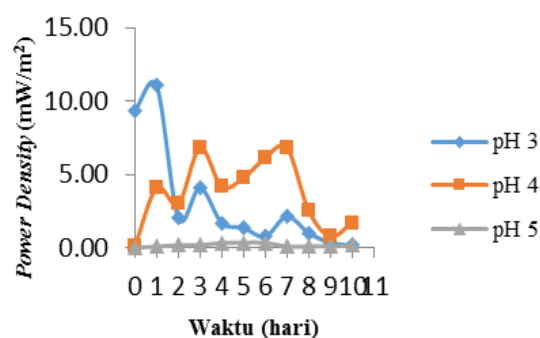
ini proses reduksi pada ion logam Cr^{6+} yang paling baik. Dan terdapat perbedaan warna larutan, pada hari ke-0 larutan dikatoda berwarna kuning tetapi saat masuk hari ke-10 larutan dikatoda berwarna bening.

Saat suasana anoda sangat asam (pada pH 3 dan 4) reaksi reduksi Cr^{6+} tidak hanya menjadi Cr^{3+} , tetapi ada sebagian ion logam yang terbentuk menjadi ion logam Cr^{2+} . Ion logam Cr^{2+} yang dihasilkan dapat mengalami reaksi oksidasi lagi menjadi ion logam Cr^{6+} (Silva *dkk.*, 2009). Hal ini yang menyebabkan konsentrasi ion logam Cr^{6+} dalam reaktor variasi pH 3 dan 4 mengalami kenaikan pada hari ke-6.

2. Pengaruh pH pada Produksi listrik

Microbial fuel cell merupakan metode pengolahan air limbah menggunakan aktivitas katalitik bioelektrokimia mikroba untuk menghasilkan listrik dari oksidasi bahan organik maupun bahan anorganik (Gude, 2016). Menurut Jadhav & Ghangrekar (2009) kinerja reaktor juga dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah laju konversi dari substrat, membran penukar ion, internal dan eksternal hambatan dalam sel serta beda potensial antara anoda dan katoda. Substrat merupakan sumber karbon dan sumber makanan untuk bakteri. Hambatan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 10 Ω .

Energi listrik yang dihasilkan pada reaktor *microbial fuel cell* terjadi karena pergerakan elektron (e^-) dan proton (H^+) dari ruang anoda ke ruang katoda maka menghasilkan perbedaan potensial listrik (Xafenias *dkk.*, 2013).



Gambar 3. Produksi Listrik dengan pH 3, 4 dan 5 Pada Reaktor *Microbial Fuel Cell*

Berdasarkan Gambar 3 hasil *power density* listrik untuk berbagai variabel konsentrasi pH diperoleh nilai maksimum sebesar 11,06 mW/m^2 pada pH larutan di katoda sebesar pH 4. Pada hari ke 10, MFC menunjukkan penurunan nilai *power density* listrik disemua variasi pH. Hal ini kemungkinan karena unsur karbon pada substart mengalami penurunan, sehingga tidak ada penambahan nutrisi saat reaktor *microbial fuel cell* bekerja.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan, bahwa kondisi pH optimum pada proses reduksi terjadi pada pH 4 dengan besar persen penurunan sekitar 98% dan produksi listrik tertinggi pada hari ke-2 pada variasi pH 3 dengan nilai *power density* sebesar sebesar 11,06 mW/m^2 .

DAFTAR RUJUKAN

- Agustina, T. E., Faizal, M., Aprianti, T., Teguh, D., Aditya, M., Putra, I. G., Prayesi, M. R., Fitrializa, U. (2018). Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen Menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 13(1), 60–69.

Pengaruh pH dan Metabolisme Bakteri *Escherichia coli* dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* Terhadap Reduksi Kromium Hexavalen

- Asmadi, Endro, S., & Oktiawan, W. (2009). Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH dan NaHCO₃ (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang). *Jurnal AI*, 5(1), 41–54.
- Darlan, Yudi, Kamiludin, Udayana, Arifin, L. (2009). Daerah Kasus Delta Mahakam Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 7(236), 23–29.
- Fikri, M. (2011). *Microbial Fuel Cell, Energi Alternatif dari Bakteri*. Bandung: ITB News
- Gude, V. G. (2016). Wastewater treatment in microbial fuel cells - An overview. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.022>
- Jadhav, G. S., & Ghangrekar, M. M. (2009). Performance of microbial fuel cell subjected to variation in pH, temperature, external load and substrate concentration. *Bioresour Technol*, 100(2), 717-723. doi: 10.1016/j.biortech.2008.07.041.
- Kamau, J. M., Mbui, D. N., Mwaniki, J. M., Mwaura, F. B., and Kamau, G. N. (2017). Microbial Fuel Cells: Influence of External Resistors on Power, Current and Power Density. *Journal of Thermodynamics & Catalysis*, 08(01), 1–5. <https://doi.org/10.4172/2157-7544.1000182>
- Padaruskas, A., Judžentienė, A., Naujalis, E., & Paliulionyte, V. (1998). On-line preconcentration and determination of chromium(VI) in waters by high-performance liquid chromatography using pre-column complexation with 1,5-diphenylcarbazide. *Journal of Chromatography A*, 808(1–2), 193–199. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(98\)00118-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(98)00118-6)
- Rabaey, K., Ossieur, W., Verhaege, M., & Verstraete, W. (2005). Continuous microbial fuel cells convert carbohydrates to electricity. *Water Science and Technology*. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0561>
- Silva, B., Figueiredo, H., Neves, I.C and Tavares, T. (2009). The Role of pH on Cr(VI) Reduction and Removal by *Arthrobacter Viscosus*, *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 2(2), : 100-103.
- Sophia, A. C., & Sai, S. (2016). Modified microbial fuel cell for Cr(VI) reduction and simultaneous bio-electricity production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), 2402–2409. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.04.025>
- Sophia, A. C., & Saikant, S. (2016). Reduction of chromium(VI) with energy recovery using microbial fuel cell technology. *Journal of Water Process Engineering*, 11, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.03.006>
- Sun, G., Thygesen, A., & Meyer, A. S. (2015). Acetate is a superior substrate for microbial fuel cell initiation preceding bioethanol effluent utilization. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(11), 4905–4915. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6513-5>
- Wang, H., Wang, Q., Li, X., Wang, Y., Jin, P., Zheng, Y., ... Qingbiao Li. (2019). Bioelectricity generation from the decolorization of reactive blue 19 by using microbial fuel cell. *Journal of*

Pengaruh pH dan Metabolisme Bakteri *Escherichia coli* dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* Terhadap Reduksi Kromium Hexavalen

Environmental Management,
248(March), 109310.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109310>

Watson, V. J. (2013). *Characterization and performance of activated carbon catalysts and polymer membrane layers for microbial fuel cell cathodes and an analysis of power overshoot*. A Dissertation in Environmental Engineering, The Pennsylvania State University.

Xafenias, N., Zhang, Y., & Banks, C. J. (2013). Enhanced performance of hexavalent chromium reducing cathodes in the presence of *Shewanella oneidensis* MR-1 and lactate. *Environmental Science and Technology*, 47(9), 4512–4520. <https://doi.org/10.1021/es304606u>