

PENGGUNAAN *BIOCATALYS ELECTROLYSIS* DALAM PENURUNAN KONSENTRASI *TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)* DAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)* LIMBAH DOMESTIK

Wiharyanto Oktawan*, Mochtar Hadiwidodo, Purwono

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof H. Sudarto SH Tembalang Semarang
e-mail: * w_oktiawan@yahoo.com

ABSTRAK

Secara umum air limbah kegiatan rumah tangga (domestik) dibuang langsung menuju badan air seperti sungai dan danau. Pengolahan limbah cair secara biologis (aerob) sering menghasilkan lumpur dalam jumlah besar. Jumlah lumpur dapat dikurangi dengan pengolahan anaerob. Sistem bioelektrokimia merupakan salah satu terobosan teknologi yang memungkinkan untuk mengolah limbah sekaligus menghasilkan energi berupa gas metana. Penggunaan *biocatalys electrolysis* dapat mengatasi kelemahan proses anaerob secara konvensional dalam penurunan konsentrasi TSS dan COD limbah domestik salah satunya mampu menghasilkan gas H₂ dari proses elektrolisis. Penambahan daya eksternal sebesar 6 volt mampu menyisihkan TSS sampai kadar 82 mg/l dari kadar semula 157 mg/l. Tegangan 12 volt mampu menurunkan kadar COD sampai 47,46 mg/l dari kadar awal 223 mg/l. Penyisihan TSS paling rendah pada waktu elektrolisis 15 menit dengan kadar 87 mg/l. Penambahan waktu elektrolisis sebanding dengan penurunan konsentrasi COD limbah domestik. Pada penelitian ini kualitas maupun kuantitas gas metana tidak diketahui secara jelas. Selain gas metan, produk fermentasi juga belum diketahui.

Kata kunci: *Biocatalys Electrolysis, COD, TSS, limbah domestik, Metan, hidrogen gas*

PENDAHULUAN

Limbah adalah zat atau bahan buangan yang dihasilkan dari proses kegiatan manusia (Suharto, 2011). Umumnya air limbah kegiatan rumah tangga (domestik) yang dibuang langsung menuju badan air seperti sungai dan danau. Pengolahan limbah cair secara biologis (aerob) sering menghasilkan lumpur dalam jumlah besar. Sebagai contoh negara Jepang pada tahun 2004 menghasilkan lumpur sebanyak $4,14 \times 10^8 \text{ m}^3$ (Hong, dkk. 2009) dan $1,43 \times 10^7 \text{ m}^3$ di Cina yang berasal dari hasil samping pengolahan limbah secara biologis (Wang dkk, 2010). Estimasi produksi lumpur akan semakin meningkat karena bertambahnya instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang dibangun dan standar lingkungan yang lebih ketat. Pengolahan dan pembuangan lumpur menjadi tantangan yang signifikan bagi sebagian besar IPAL karena biaya yang dikeluarkan bisa mencapai 60% dari total biaya operasi (Weemaes dan Verstraete, 1998). Lumpur mengandung bahan organik yang tinggi sehingga berpotensi sebagai

sumber energi biomassa terbarukan bagi negara maju maupun negara berkembang (Wang dkk, 2010).

Jumlah lumpur dapat dikurangi dengan pengolahan anaerob. Pengolahan ini merupakan cara tradisional yang terbukti efektif dan berkelanjutan mengurangi jumlah lumpur, menstabilkan lumpur, membunuh bakteri patogen, menghasilkan bioenergi dan gas biogas (Weemaes dan Verstraete, 1998). Kelemahan proses anaerob yaitu rendahnya tingkat efisiensi penyisihan polutan apabila tidak ada penambahan *inoculator* (Appels dkk, 2008). Kelemahan lainnya yaitu mikroorganisme cenderung rentan terhadap senyawa toksik dan perlu pengaturan suhu optimum (35 °C) pada proses pengolahan limbah. Effluen limbah yang dihasilkan masih mengandung nutrisi dan bahan organik (efisiensi penyisihan rendah). Proses anaerob diharapkan optimal mengubah bahan organik menjadi campuran gas terutama gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂) sebagai hasil akhir

dan produksi lumpur yang sedikit (Rittmann, 2008).

Sistem bioelektrokimia merupakan salah satu terobosan teknologi yang memungkinkan untuk mengolah limbah sekaligus menghasilkan energi. Sistem ini menggabungkan proses elektrolisis dan biologi (anaerob) untuk mengolah limbah. Proses elektrolisis telah lama digunakan sesaat setelah ditemukannya beberapa bahan elektroda, bahan membran serta inovasi-inovasi lain yang memiliki stabilitas kimia dan fisika, konduktivitas listrik, *nonfouling*, dan lain-lain (Daryoko dkk, 2009).

Dalam sistem bioelektrokimia, mikroorganisme menggunakan padatan anoda sebagai akseptor elektron yang dihasilkan dari oksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida. Pada saat yang bersamaan melepaskan proton (H^+) ke larutan. Elektron mengalir dari anoda ke katoda melalui rangkaian eksternal (Rabaey dan Rozendal 2010). Selain proton (H^+), ion ammonium (NH_4^+) juga dapat berpindah dari anoda ke katoda dalam sistem bioelektrokimia dengan tujuan untuk menjaga kesetimbangan reaksi selama operasi dinamik (Kuntke dkk, 2012 dan Cord-Ruwisch dkk, 2011).

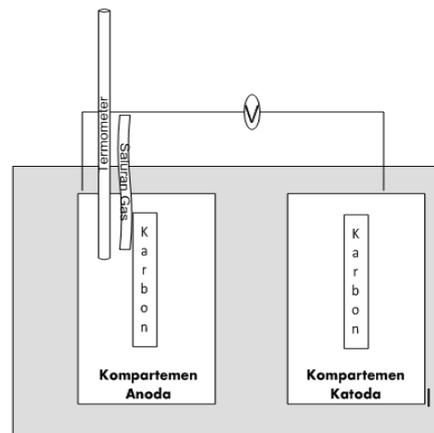
Sistem bioelektrokimia menggunakan energi yang dihasilkan dari oksidasi bahan organik pada anoda dan dikuatkan dengan catu daya eksternal. Hal ini bertujuan agar proses reaksi katodik termodinamika dapat terjadi. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron (reaksi oksidasi pada anoda) dan reaksi setengah sel yang menerima elektron tersebut (reaksi reduksi pada katoda). Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis, dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima (Chodijah, 2008). Meskipun ada penambahan energi eksternal (catu daya), tetapi terdapat keuntungan yaitu memungkinkan mengolah limbah cair dengan kadar polutan rendah dan proses operasi pada suhu kamar. Keuntungan oksidasi elektrokimia antara lain efisiensi penyisihan polutan yang tinggi, operasi sederhana, laju reaksi cepat dan kompatibel pada lingkungan (Xia dkk, 2004).

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti melakukan penelitian penggunaan *biocatalys electrolysis* dalam penurunan

konsentrasi TSS dan COD limbah domestik. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan strategi metode penggunaan elektroda inert (karbon).

METODE

Sampel penelitian menggunakan outlet dari IPAL limbah domestik Banyumanik, Semarang, Jawa tengah. Rangkaian reaktor biokatalis *electrolysis* di desain dalam bentuk *single-chamber*, anaerob dengan kompartemen anoda dan katoda berupa karbon. Reaktor berbentuk persegi panjang berbahan kaca dengan lebar 30 cm dan panjang 60 cm. Elektroda carbon dipreparasi terlebih dahulu dengan cara merendam elektroda karbon kedalam larutan HCL 1 M selama satu hari kemudian dibilas dengan menggunakan aquades. Setelah itu elektroda direndam kembali ke dalam larutan NaOH 1 M selama 1 hari kemudian dilakukan pembilasan dengan menggunakan aquades.



Gambar 1. Reaktor *biocatalys electrolysis* terbuat dari bahan kaca

Jumlah elektroda pada tiap reaktor sebanyak 2 buah yang dihubungkan dengan rangkaian listrik eksternal. Pengambilan sampel untuk pengujian TSS dan COD dilakukan sesuai variabel penelitian. Metode analisis TSS didasarkan pada standard method dan COD berdasarkan standard method. Reagent yang digunakan untuk menguji COD memiliki kualitas pure analysis produk Merck, Germany. Pengukuran suhu dan pH menggunakan pH meter Walklab Microcomputer TI 9000.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel limbah cair domestik berasal dari outlet Instalasi Pengolahan Limbah cair Domestik yang terletak di RT I / RW V Kelurahan Banyumanik, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang, Jawa Tengah. Karakteristik limbah cair IPAL Domestik Banyumanik ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut.

Table 1. Hasil Uji Karakteristik Awal Limbah cair Domestik IPAL Banyumanik

Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu
Suhu	°C	27	-
pH	-	7,63	6-9*
TSS	mg/l	154	100*
		192,9	
COD	mg/l	6	125**

* Peraturan Daerah Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah cair

** Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Limbah Cair

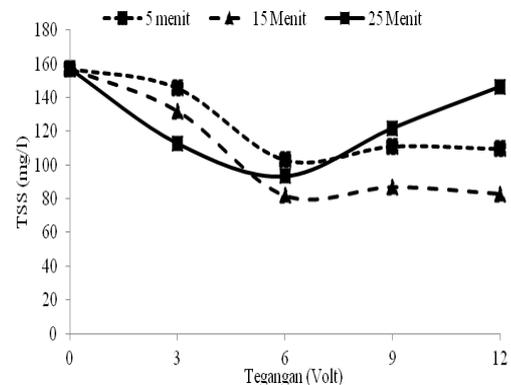
Berdasarkan Tabel 1, parameter TSS melebihi baku mutu yang dipersyaratkan dalam Peraturan Daerah Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah cair. Hasil analisa TSS limbah cair outlet IPAL Banyumanik sebesar 154 mg/l sedangkan baku mutu TSS maksimal 100 mg/l. Pengukuran kadar COD sebesar 192,96 mg/l pada limbah cair domestik IPAL banyumanik. Sedangkan baku mutu limbah cair domestik menurut Peraturan Gubernur DI Yogyakarta No. 7 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Limbah Cair sebesar 125 mg/l. Parameter yang memenuhi baku mutu hanyalah pH yaitu sebesar 7,63.

Hasil pengukuran kualitas limbah cair ini menunjukkan bahwa kinerja IPAL Domestik Banyumanik belum optimal. Hasil uji ini digunakan untuk membandingkan dan melihat hasil pengujian limbah cair domestik IPAL Banyumanik dengan proses biokatalis elektrolisis anaerob dengan tujuan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh variasi daya eksternal dan waktu elektrolisis terhadap konsentrasi COD dan TSS.

Pengaruh variasi daya eksternal terhadap perubahan konsentrasi TSS limbah domestik

Penambahan daya eksternal bertujuan untuk menurunkan kadar TSS dalam limbah. Hasil pengukuran konsentrasi TSS akibat

penambahan daya eksternal ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik kadar TSS (mg/l) akibat variasi tegangan 0, 3, 6, 9 dan 12 Volt

Kadar TSS pada tegangan 0 volt sebesar 157 mg/l. Penambahan voltase 3 Volt mampu menurunkan kadar TSS. Pola yang sama terjadi pada tegangan 6 volt, 9 volt, dan 12 volt. Pada tegangan 6 volt kadar TSS hanya 82 mg/l. Kadar ini merupakan kadar terendah pada penelitian variasi daya eksternal dengan waktu elektrolisis selama 5 menit. Kadar tersebut jauh dibawah baku mutu TSS dalam limbah cair domestik sebesar 100 mg/l berdasarkan Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah cair.

Penurunan ini kemungkinan akibat adanya proses degradasi TSS secara biologis pada reaktor anaerob. Komposisi TSS yang mengandung bahan organik mengalami proses dekomposisi menjadi senyawa yang terlarut kedalam limbah (Metcalf dan Eddy, 1991). Partikel padat pada limbah cair domestik dioksidasi menghasilkan biomassa, dan hasil fermentasi (Kim dkk, 2003 dan Liu dkk, 2011). Senyawa kompleks pada limbah domestik terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana dan senyawa intermediet oleh mikroorganismenya. Tahap ini disebut dengan tahap hidrolisis yang melibatkan enzim (Metcalf dan Eddy, 1991).

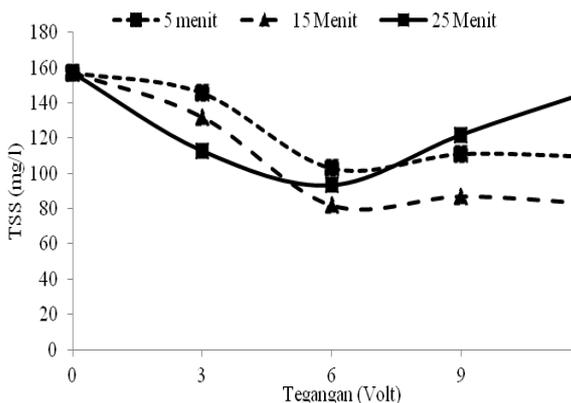
Proses elektrolisis menghasilkan gas O₂ dan H₂ disekitar elektroda karbon. Gas ini mampu mempengaruhi suspensi dalam limbah dengan cara mendorong suspensi kepermukaan limbah. Proses ini disebut sebagai flotasi. Jadi dengan penurunan kadar TSS dipengaruhi oleh proses

mikroorganisme dan proses flotasi.

Penambahan voltase yang mencapai 9 dan 12 volt menghasilkan kadar TSS yang lebih besar dibandingkan penambahan voltase 6 volt. Produksi gas disekitar elektroda cenderung lebih banyak. Ada kemungkinan proses flotasi cenderung dominan mempengaruhi proses penyisihan TSS. Suspensi yang terdorong gas dalam jumlah banyak secara cepat mencapai permukaan limbah. Suspensi yang sudah diatas seharusnya bisa *seatle* sampai membentuk gabungan flok yang lebih besar dan selanjutnya mengendap. Jumlah gas yang semakin besar akan mempengaruhi proses stabilitas suspensi dipermukaan limbah, sehingga flok tersebut ada kemungkinan tidak bergabung dengan yang lainnya melainkan mengikuti turbulensi permukaan limbah. Proses ini menyebabkan flok-flok terdistribusi keseluruhan bagian reaktor salah satunya menuju titik sampling. Sehingga kadar TSS pada penambahan daya 9 dan 12 volt menghasilkan penyisihan TSS lebih rendah dibandingkan dengan 6 volt.

Pengaruh variasi daya eksternal terhadap perubahan kadar COD limbah domestik

Perubahan konsentrasi COD limbah cair IPAL Domestik Banyumanik akibat penambahan daya eksternal ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik kadar COD (mg/l) akibat variasi tegangan 0, 3, 6, 9 dan 12 Volt

Kadar COD dalam penelitian ini merupakan kadar COD terlarut. Preparasi sampel dilakukan dengan cara menyaring sampel menggunakan kertas saring dengan

diameter pori sebesar 0,25 µm. Kadar COD pada tegangan 0 volt sebesar 223 mg/l. Penambahan voltase 3 Volt mampu menurunkan kadar COD. Pola yang sama terjadi pada tegangan 6 volt, 9 volt, dan 12 volt. Pada tegangan 12 volt kadar COD hanya 47,46 mg/l. Kadar ini merupakan kadar terendah pada penelitian variasi daya eksternal dengan waktu elektrolisis selama 25 menit. Kadar tersebut jauh dibawah baku mutu COD dalam limbah cair domestik sebesar 125 mg/l berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Limbah Cair.

Penurunan ini kemungkinan akibat adanya proses degradasi senyawa organik secara biologis pada reaktor anaerob. Komposisi limbah yang mengandung bahan organik mengalami proses dekomposisi menjadi senyawa yang terlarut kedalam limbah (Metcalf dan Eddy, 1991). Menurut Li dkk, (2011) konsentrasi COD substrat dalam reaktor elektrolisis yang mengandung bahan organik kompleks ditetapkan dalam kesetimbangan massa sebagai berikut:

$$COD_{awal} = COD_{arus} + COD_{biomassa\ suspensi} + COD_{biomassa\ terlekat} + COD_{Gas} + COD_{akhir} + COD_{lainnya}$$

Keterangan:

COD_{awal} = konsentrasi COD awal pada kompartemen anoda

COD_{arus} = konsentrasi COD yang diubah menjadi arus selama periode waktu tertentu

$COD_{biomassa\ suspensi}$ = konsentrasi COD untuk membentuk biomassa tersuspensi selama periode waktu tertentu

$COD_{biomassa\ terlekat}$ = konsentrasi COD untuk membentuk biomassa terlekat pada kompartemen anoda

COD_{Gas} = konsentrasi COD untuk membentuk akumulasi gas CH_4 dan H_2

COD_{akhir} = COD terlarut sebagai hasil pengolahan

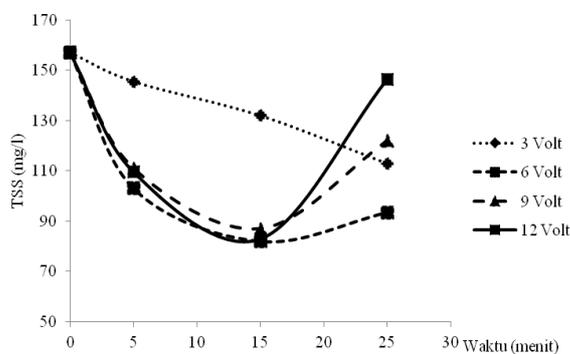
$COD_{lainnya}$ = konsentrasi COD yang tidak berhubungan dengan arus listrik

Senyawa kompleks pada limbah domestik terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana dan senyawa intermediet oleh mikroorganisme. Tahap ini disebut dengan tahap hidrolisis yang melibatkan enzim (Metcalf dan Eddy, 1991)..

Proses elektrolisis menghasilkan gas O₂ dan H₂ disekitar elektroda. Gas ini mampu mempengaruhi suspensi dalam limbah dengan cara mendorong suspensi keatas limbah. Proses ini disebut sebagai flotasi. Jadi dengan penurunan kadar COD dipengaruhi oleh proses mikrorganisme dan proses flotasi.

Pengaruh variasi waktu elektrolisis terhadap perubahan konsentrasi TSS limbah domestik

Konsentrasi TSS limbah cair IPAL Domestik Banyumanik akibat perbedaan waktu elektrolisis ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik kadar TSS (mg/l) akibat variasi waktu elektrolisis dengan variasi 0, 5, 15, dan 25 menit.

Berdasarkan gambar 4 tampak bahwa penambahan waktu elektrolisis sampai menit ke-15, kadar TSS mengalami penurunan. Kadar terendah mencapai 82 mg/l dengan waktu elektrolisis selama 15 menit dengan voltase 6 volt. Kadar tersebut jauh dibawah baku mutu TSS dalam limbah cair domestik sebesar 100 mg/l berdasarkan Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah cair.

Penambahan waktu elektrolisis selama 20 dan 25 menit menghasilkan kadar TSS yang lebih besar dibandingkan penambahan 15 menit. Produksi gas disekitar elektroda cenderung lebih banyak. Ada kemungkinan proses flotasi cenderung dominan mempengaruhi proses penyisihan TSS. Suspensi yang terdorong gas dalam jumlah banyak secara cepat mencapai permukaan limbah. Suspensi yang sudah diatas seharusnya bisa settle sampai membentuk gabungan flok yang lebih besar dan selanjutnya mengendap. Jumlah gas yang

semakin banyak akan mempengaruhi proses settle suspensi dipermukaan limbah, sehingga flok tersebut ada kemungkinan tidak bergabung dengan yang lainnya melainkan mengikuti turbulensi permukaan limbah akibat dorongan gas dari bawah. Proses ini menyebabkan flok-flok terdistribusi keseluruhan bagian reaktor salah satunya menuju titik sampling.

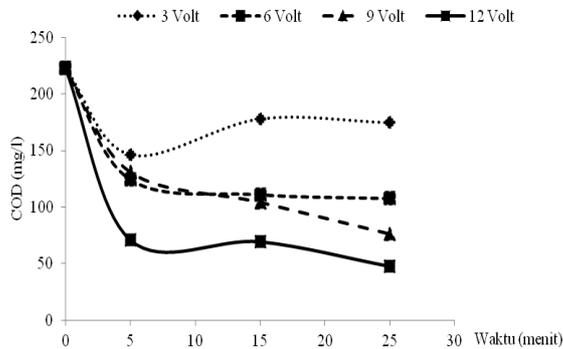
Pengaruh variasi waktu elektrolisis terhadap perubahan konsentrasi COD limbah domestik

Konsentrasi COD limbah cair IPAL Domestik Banyumanik akibat perbedaan waktu elektrolisis ditunjukkan pada gambar 4. Kadar COD awal sebesar 223 mg/l dan mengalami penurunan mencapai konsentrasi terendah sebesar 47,46 mg/l pada waktu elektrolisis selama 25 menit dengan voltase 12 volt. Dalam hal ini tampak bahwa semakin lama waktu elektrolisis maka kadar COD yang tersisihkan semakin besar. Hal ini berkaitan dengan waktu dekomposisi limbah secara anerob semakin lama. Reaktor didesain dalam kondisi anaerob sehingga sangat memungkinkan proses fermentasi.

Produk fermentasi bahan organik kompleks limbah cair menghasilkan biomassa, bahan organik terlarut, gas H₂ dan gas CH₄ (Min, 2005). Bahan organik perlu difermentasi terlebih dahulu menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Fermentor memerlukan proses pertumbuhan dan menghasilkan asam organik sederhana. Gas H₂ bisa digunakan oleh bakteri metanogenesis menjadi gas metan (CH₄). Menurut Gerardi (2006) terdapat empat bentuk degradasi anaerob molekul organik yang terjadi dalam pengolahan limbah cair sesuai dengan tabel 2 berikut:

Table 2. Molekul pembawa elektron yang digunakan dalam degradasi limbah cair.

No.	Kondisi operasi	Molekul pembawa elektron	Proses biologi
1	Anaerob	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻	Degradasi substrat
2	Anaerob	SO ₄ ²⁻	Degradasi substrat dan reduksi sulfat
3	Anaerob	CO ₂	-
4	Anaerob	Bahan organik	Degradasi substrat dan fermentasi



Gambar 5. Grafik kadar COD (mg/l) akibat variasi waktu elektrolisis dengan variasi 0, 5, 15, dan 25 menit.

Penyebab penurunan COD akibat bertambahnya waktu elektrolisis kemungkinan timbulnya gas hidrogen yang dihasilkan dalam proses fermentasi dan proses elektrolisis. Gas hidrogen merupakan substrat untuk menghasilkan gas metana (CH_4).

KESIMPULAN

Penggunaan *biocatalys electrolysis* dapat mengatasi kelemahan proses anaerob secara konvensional dalam penurunan konsentrasi TSS dan COD limbah domestik salah satunya mampu menghasilkan gas H_2 dari proses elektrolisis. Kesimpulan penelitian ini adalah:

- Penambahan daya ekteral sebesar 6 volt mampu menyisihkan TSS sampai kadar 82 mg/l dari kadar semula 157 mg/l.
- Tegangan 12 volt mampu menurunkan kadar COD sampai 47,46 mg/l dari kadar awal 223 mg/l.
- Penyisihan TSS paling rendah pada waktu elektrolisis 15 menit dengan kadar 87 mg/l.
- Penambahan waktu elektrolisis sebanding dengan penurunan konsentrasi COD limbah domestik

DAFTAR PUSTAK

Appels, L., Baeyens J., Degre ve J., Dewil R. 2008. Principle s and potential of the anaerobic digestion of waste activated

sludge. Prog Energy Combust Sci;34:755-81.

Chodijah, Siti. 2008. Efektifitas Penggunaan Pelapis Epoksi Terhadap Ketahanan Korosi Pipa Baja Astm A53 Di dalam Tanah. Jakarta: Fakultas Teknik Program Studi Teknik Metalurgi Dan Material

Clauwaert, P., Do, R. T., Ha, D. V., Crab, R., Verstraete, W., Hu, H., Udert, K. M., and K. Rabaey. 2008. Combining biocatalyzed electrolysis with anaerobic digestion. Water Science & Technology—WST. 57.4.

Cord-Ruwisch, R., Law, Y., Cheng, K.Y., 2011. Ammonium as a sustainable proton shuttle in bioelectrochemical systems. Bioresour. Technol. 102 (20), 9691–9696.

Daryoko, M., Sutoto, Heriyanto, K., dan Suwardiyono. 2009. Optimasi Proses Reaksi Pembangkitan Ag^{2+} pada Sel Elektrolisis Berkapasitas Satu Liter, Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 5 November 2009 ISSN 1978 – 0176

Hong, J., Otaki M, Jolliet O. 2009. Environmental and economic life cycle assessment for sewage sludge treatment processes in Japan. Waste Manage,29:696-703.

Kim B.H, Chang I.S, Gil, G.C, Park H.S, Kim H.J. Novel BOD sensor using mediatorless microbial fuel cell. Biotechnol. Lett. 2003; 25: 541–545.

Kuntke, P., Åšmiech, K.M., Bruning, H., Zeeman, G., Saakes, M., Sleutels, T.H.J.A.,Hamelers, H.V.M., Buisman, C.J.N. 2012. Ammonium recovery and energy production from urine by a microbial fuel cell. Water Res. 46 (8), 2627–2636.

Li B, Karl Scheible, Micheal Curtis. 2011. Electricity Generation From Anaerobic Wastewater Treatment In Microbial Fuel Cells. Water Environment Research Foundation. Now York State Energi Research And Development Authority.

Liu et al,2004 dalam Zhou, Minghua et al. 2011. An Overview Of Electrode Materials In Microbial Fuel Cells. Journal Of Power Sources. 196 (2011) 4427-4435

Metcalf and Eddy, 1991. Wastewater Engineering 4rd edition,Mc-Graw Hill

Michael H. Gerardi.2006. Wastewater Bacteria. A John Wiley & Sons, Inc.,

- Publication
- Min. 2005. Energy Recovery From Waste Streams With Microbial Fuel Cell (MFC)-Based Technologies. Thesis. Departement of Environment Engineering. Technical University of Denmark.
- Possible solutions for sludge dewatering in China. *Front Environ Sci Engin China*, 4:102
- Rabaey, K., Rozendal, R.A., 2010. Microbial electrosynthesis – revisiting the electrical route for microbial production. *Nat. Rev. Microbiol.* 8 (10), 706–716.
- Rittmann, B.E., 2008. Opportunities for renewable bioenergy using microorganisms. *Biotechnol. Bioeng.* 100 (2), 203–212.
- Wang, W., Luo YX, Qian W. 2010. Suharto, Ign. 2011. Limbah kimia dalam pencemaran udara dan air. Andi Offset: Yogyakarta
- Weemaes MPJ, Verstraete WH. 1998. Evaluation of current wet sludge disintegration techniques. *J Chem Technol Biot*;73:83-92
- Wang,A. 2016. Intimately Coupling of Biocatalytic Electrolysis with Biodegradation to Deeply Remove Recalcitrant Compounds from Wastewater: from Control Strategy to System Construction. Harbin Institute of Technology, P.R. China
- Xia, J., Guanchao L., Yanchao M., Yunyong L., Peikang S. dan Liuping C.2012.Hydrothermal growth of SnS2 hollow spheres and their electrochemical properties. *Cryst Eng Comm*, 14, 4279-4283