

KINERJA SEDIMENT MICROBIAL FUEL CELL PENGHASIL LISTRIK DENGAN NUTRIEN LIMBAH INDUSTRI FILET IKAN

Performance of Sediment Microbial Fuel Cell to Generate Electrical Energy using Fish Filleting Waste as A Nutrient

Umi Nur Safitri^{1*}, Apri Dwi Anggo¹, A. Suhaeli Fahmi¹

¹Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah - 50275, Telp/fax: (024) 7474698
Email : uminursafitri@gmail.com

ABSTRAK

Sediment Microbial Fuel Cell (SMFC) merupakan teknologi yang mampu merubah energi kimia menjadi energi listrik melalui proses degradasi nutrisi oleh mikroba. Sedimen yang diambil dari dasar tambak ikan ditambahkan sebagai sumber mikroba, sedangkan limbah padat industri filet ikan berupa kepala; sisa daging; jeroan dan tulang ikan digunakan sebagai sumber nutrisi bagi mikroba. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji potensi limbah industri filet ikan sebagai nutrisi SMFC. Metode penelitian bersifat *experimental laboratories*. Perlakuan yang diberikan adalah perbedaan komposisi nutrisi dan waktu pengamatan. Nutrisi dibuat dari hasil perebusan 100 gram (A), 200 gram (B), dan 300 gram (C) limbah padat industri filet ikan dengan tambahan air hingga volume 600 ml. Pembuatan alat SMFC dilakukan dengan mengisi bejana dengan 400 ml sedimen serta 600 ml nutrisi, anoda diletakkan di bawah permukaan sedimen sedangkan katoda diletakkan pada fase nutrisi untuk dilakukan pengukuran listrik. Eksperimen dilakukan selama 30 hari dengan mengukur BOD, COD dan TPC pada hari ke-0 dan hari ke-30; serta pengukuran tegangan dan kuat arus listrik setiap 24 jam sekali. Nilai BOD, COD dan TPC dilakukan uji ANOVA dan BNJ; sedangkan nilai tegangan dan kuat arus ditampilkan dalam bentuk grafik *time series*. Hasil percobaan menunjukkan bahwa perbedaan komposisi limbah cair memberikan pengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap kinerja SMFC. Pengaruh terbesar terjadi pada perlakuan C dengan penurunan BOD sebesar 69,02 %; penurunan COD sebesar 77,92 %, serta produksi listrik terbesar yaitu 0,55 V dan 0,2 mA. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komponen limbah padat maka kinerja SMFC akan semakin meningkat.

Kata kunci: Energi listrik, Limbah Industri Filet Ikan, SMFC

ABSTRACT

Sediment Microbial Fuel Cell (SMFC) is a technology that is able to convert chemical energy into electrical energy through the process of nutrient degradation by microbes. Sediments taken from the bottom of fish ponds are added as a source of microbes, while the solid waste of the fish fillet industry is in the form of heads; fish filleting waste used as a source of nutrients for microbes. The purpose of this study was to assess the potential of fish filleting waste as a SMFC nutrient. The research method is *experimental laboratories*. The treatments given is the differences in nutrient composition and observation time. Nutrients is made of the results of boiling 100 grams (A), 200 grams (B), and 300 grams (C) fish filleting waste with the addition of 600 ml water. SMFC was made by filling the container with 400 ml of sediment on bottom and 600 ml nutrients on top, anodes and cathode is placed on each phase. Experiments were doing for 30 days by measuring BOD, COD and TPC at day 0 and day 30; and the measurement of electricity per 24 hours. Values of BOD, COD and TPC performed ANOVA and HSD; while the value of voltage and current strength displayed in the graph *time series*. The results showed that differences in the composition of the liquid waste significant effect ($P < 0.05$) on the performance of the SMFC. The greatest impact occurs in treatment C with a BOD reduction of 69.02%; COD has decreased 77.92%, and the largest electricity production is 0.55 V and 0.2 mA. Based on this study showed the higher fish fileting waste will increase the performance of SMFC.

Keywords: Electrical Energy, Fish filleting waste, SMFC

PENDAHULUAN

Industri filet ikan menghasilkan hasil samping berupa kepala, tulang, sisa daging dan kulit, serta jeroan ikan. Hasil samping tersebut mengandung berbagai macam senyawa organik yang jika tidak diolah atau dimanfaatkan dengan

baik maka akan menimbulkan permasalahan bagi lingkungan. Oleh karena itu beberapa penelitian telah mampu mengurangi dampak negatif tersebut seperti penelitian Anggraen *et al.* (2016) yang memanfaatkan tulang ikan nila sebagai nanokalsium pada beras analog, Prayitno *et al.*

(2012) memanfaatkan kulit ikan nila untuk kulit jaket, serta penelitian Priyangi *et al.* (2019) menggunakan *visceral* ikan nila sebagai bahan baku pembuatan limbah organik cair.

Kandungan senyawa organik pada limbah industri perikanan merupakan potensi untuk SMFC. SMFC merupakan teknologi yang mampu merubah energi kimia menjadi energi listrik melalui proses metabolisme mikroba. Proses SMFC dalam mengubah limbah industri filet ikan menjadi energi listrik harus melibatkan mikroba penghasil listrik (*electrogenic*). Salah satu spesies dari mikroba tersebut yaitu *Geobacter* sp. yang banyak terdapat pada sedimen atau tanah berlumpur. Mikroorganisme yang berperan penting dalam sistem SMFC merupakan bakteri penghasil listrik yang umumnya meliputi *Geobacter* sp, *Shewanella* sp, dan *Escherichia coli* (Januarita *et al.*, 2016). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan *Sediment Microbial Fuel Cell* yang memerlukan penambahan sedimen sebagai sumber mikroba. Sedimen yang ditambahkan diambil dari tambak ikan dan limbah padat industri filet ikan yang ditambahkan dalam bentuk nutrien cair sebagai sumber nutrien atau senyawa organik bagi mikroba.

Kandungan senyawa organik pada limbah industri perikanan yang diolah melalui pengolahan secara biologi memiliki potensi untuk dihasilkan hasil samping berupa listrik. Pengolahan secara biologi yang disertai rangkaian elektrik berupa anoda dan katoda mampu membentuk energi listrik melalui reaksi kimia yang terjadi. Reaksi kimia terjadi dengan adanya senyawa yang mampu diuraikan oleh mikroba sehingga senyawa hasil uraian mikroba tersebut mampu bereaksi dengan air membentuk energi listrik berupa proton dan elektron. Mikroba akan menguraikan atau mengambil senyawa organik yang ada dalam air untuk proses metabolismenya sehingga kandungan senyawa organik dalam air limbah berkurang (Wu *et al.*, 2013). Namun penelitian-penelitian sebelumnya dihasilkan energi listrik yang cenderung masih kecil. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk menaikkan produksi elektron dan proton. Penelitian Pramono dan Rani (2014) menghasilkan tegangan sebesar 453 mV, sedangkan penelitian Dwilina (2012) menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 144,9 mV dengan nutrien berupa limbah cair industri perikanan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi limbah industri filet ikan sebagai nutrien SMFC penghasil listrik; dan mengetahui pengaruh perbedaan komposisi nutrien dan waktu pengamatan terhadap kinerja SMFC.

METODE PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat industri *fillet* ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) berupa kepala, sisa daging, jeroan, dan tulang ikan. Bahan lain

yang digunakan meliputi sedimen tambak dan air PDAM.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *container* berbahan plastik dengan volume 2 L, anoda berupa karbon grafit berbentuk batang (7x1x1 cm³), katoda berupa pelat aluminium (8x3 cm²), kabel tembaga (1,5 mm), dan multimeter digital (Shinhwa DT 830B).

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 3 tahap. Tahap pertama yaitu pembuatan limbah cair buatan yang mengacu pada Kalzoum *et al.* (2018) dengan perlakuan perbedaan komposisi limbah cair seperti yang tersaji pada tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan Komposisi Limbah Cair

Perlakuan	Limbah padat (gr)
A	100
B	200
C	300
Kontrol	-

Keterangan:

- Masing-masing perlakuan ditambahkan air hingga volume 600 ml

Limbah tersebut dihaluskan menggunakan blender, selanjutnya dicampur dengan air dan direbus selama 10 menit. Proses perebusan bertujuan untuk melarutkan senyawa organik dan anorganik pada limbah. Air hasil perebusan kemudian disaring dan diambil filtratnya. Filtrat tersebut yang akan digunakan pada eksperimen SMFC. Substrat SMFC ditambahkan dalam bentuk limbah cair buatan untuk membantu mikroba dalam memecah senyawa organik dengan memanfaatkan oksigen terlarut pada air.

Tahap kedua adalah pembuatan alat SMFC yang mengacu pada Holmes *et al.* (2004) berupa *Sediment SMFC* satu bejana dengan modifikasi elektroda. Komponen SMFC disusun dalam *container*. Sedimen ditambahkan sebanyak 400 ml pada dasar *container*, lalu anoda ditempatkan pada bagian tersebut yaitu sekitar 3 cm dari dasar *container*. Limbah cair kemudian dituang di atas permukaan sedimen, lalu katoda ditempatkan di bagian tersebut. Kedua elektroda (anoda dan katoda) dihubungkan menggunakan kabel tembaga menuju multimeter dan keduanya ditempatkan dengan jarak \pm 6 cm. Jarak yang semakin jauh akan semakin meningkatkan nilai tegangan dan arus. Penelitian Ibrahim *et al.* (2017^b) menggunakan variasi jarak antar elektroda dan dihasilkan perlakuan jarak antar elektroda sejauh 6 cm menimbulkan peningkatan energi listrik terbesar, maka penelitian ini menggunakan jarak antar elektroda yang mengacu pada penelitian Ibrahim *et al.* (2017^b).

Tahap ketiga yaitu eksperimen alat SMFC selama 30 hari dengan mengukur tegangan dan kuat

arus, analisis kadar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*); COD (*Chemical Oxygen Demand*); serta TPC (*Total Plate Count*). Pengukuran tegangan dan kuat arus mengacu pada Suyanto *et al.* (2010). Masing-masing elektroda dihubungkan dengan kabel yang dihubungkan oleh multimeter. Multimeter diatur untuk pengukuran tegangan listrik pada skala terkecil terlebih dahulu kemudian nilai tegangan yang tertera pada layar multimeter diamati setiap 24 jam sekali selama 30 hari, sedangkan analisis kadar BOD, COD, dan TPC diukur pada hari ke-0 dan hari ke-30.

Pengujian TPC (BSN, 2008)

Sedimen dilakukan pengeneran dilakukan dengan menimbang sebanyak 5 gram kemudian dilakukan pengenceran 10^{-1} hingga 10^{-7} dengan perbandingan 1:9. Penanaman bakteri pada media PCA menggunakan teknik pour plate. Setelah itu cawan dibungkus menggunakan kertas buram dan diinkubasi selama 24 jam. Perhitungan jumlah koloni bakteri dilakukan dengan menggunakan metode *Total Plate Count*. Cawan petri yang dihitung adalah cawan petri yang memiliki jumlah koloni bakteri 25 – 250 koloni bakteri. Hasil perhitungan jumlah koloni bakteri kemudian dimasukkan ke dalam rumus:

$$TPC (cfu/g) = \frac{\text{Jumlah koloni per cawan}}{\text{volume sampel(g)}} \times fp$$

Pengujian Kadar BOD (BSN, 2009)

Sampel dimasukkan ke dalam masing-masing botol DO A₁ dan A₂ kemudian dilakukan pengocokkan beberapa kali, dan tambahkan air bebas mineral pada sekitar mulut botol DO yang telah ditutup. Botol A₂ disimpan dalam lemari incubator 200C ± 10C selama 5 hari. Oksigen terlarut pada botol A₁ diukur dengan alat DO meter yang terkalibrasi sesuai dengan *Standart Methods for Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Membrane electrode method (4500-O G)*. Pengukuran oksigen terlarut diulangi terhadap larutan dalam botol A₂ yang telah diinkubasi. Selanjutnya hasil pengukuran tersebut dimasukkan ke dalam rumus berikut:

$$BOD (mg/L) = \frac{(A_1 - A_2)}{Fp}$$

Keterangan:

- A₁ : kadar oksigen terlarut sampel sebelum inkubasi (mg/L)
- A₂ : kadar oksigen terlarut sampel setelah inkubasi (mg/L)
- Fp : faktor pengenceran

Pengujian Kadar COD (BSN, 2009)

Sampel diambil sebanyak 2,5 mL ditambahkan larutan pengencer sebanyak 1,5 mL dan pereaksi asam sulfat sebanyak 3,5 mL ke dalam tabung reaksi, dilakukan pengocokan perlahan sampai homogen. Sampel uji diletakkan pada tabung pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C dan dilakukan refluks selama 2 jam. Panjang gelombang pada alat spektrofotometer diatur pada 600 nm. Serapan masing-masing larutan diukur kemudian dicatat dan diplotkan terhadap kadar COD. Kurva kalibrasi dibuat dari data dan ditentukan persamaan garis lurus hingga diperoleh nilai koefisien $r \geq 0,995$. Sampel yang telah direfluks didinginkan hingga mencapai suhu ruang dan larutan berwarna jernih. Larutan kemudian diukur serapan pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Kadar Cod dihitung berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi, kemudian hasil pengukuran tersebut dimasukkan ke dalam rumus berikut:

$$COD (mg/L) = C \times fp$$

Keterangan:

- C : konsentrasi sampel hasil pengukuran (mg/L)
- fp : faktor pengenceran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah Mikroba

Hasil pengujian TPC yang dianalisis menggunakan uji homogenitas dan normalitas menunjukkan data homogen dan normal. Hasil analisis sidik ragam diperoleh bahwa perbedaan komposisi nutrien tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah mikroba ($P > 0,05$), sedangkan waktu pengamatan berpengaruh nyata terhadap jumlah mikorba ($P < 0,05$).

Tabel 2. Hasil pengujian TPC pada nutrien SMFC

Sampel	Jumlah Mikroba (log)	
	Hari ke-0	Hari ke-30
A	6,20 ± 0,05 ^b	7,70 ± 0,00 ^d
B	6,20 ± 0,00 ^b	7,70 ± 0,00 ^d
C	6,20 ± 0,00 ^b	7,70 ± 0,00 ^d
K	6,10 ± 0,05 ^a	7,60 ± 0,00 ^c

Keterangan :

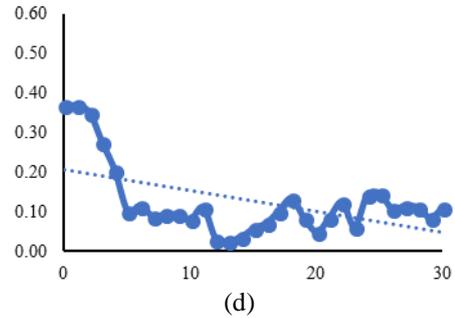
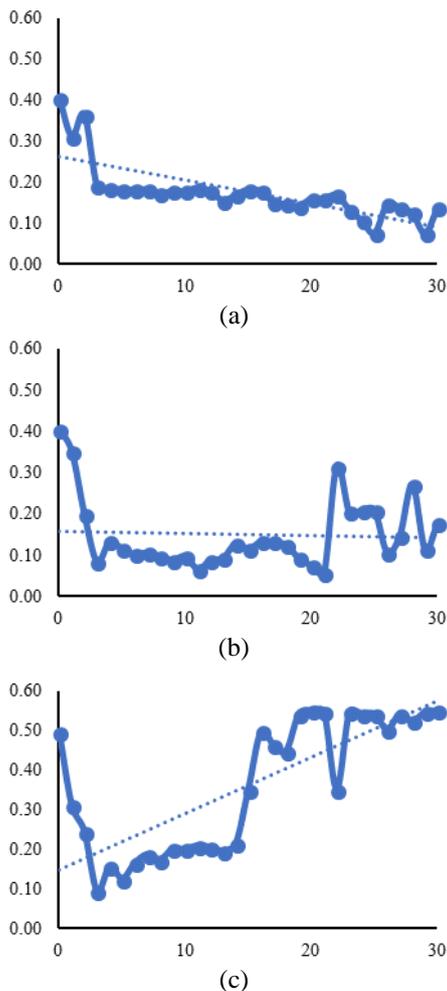
- Data merupakan hasil rata-rata dari tiga ulangan ± standar deviasi
- Data yang diikuti tanda huruf kecil yang berbeda pada bagian atasnya menunjukkan adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Pengujian TPC dilakukan dengan menggunakan campuran sedimen dan limbah cair yang telah ditempatkan pada alat SMFC. Perlakuan perbedaan komposisi nutrien tidak berpengaruh

nyata pada jumlah mikroba dimungkinkan karena sedimen yang ditambahkan dalam jumlah yang sama sehingga terdapat jumlah mikroba yang kurang lebih sama, selain itu waktu penyimpanan yang sama yaitu 30 hari juga menyebabkan fase pertumbuhan yang bersamaan. Namun, waktu pengamatan memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah mikroba dikarenakan mikroba berkembangbiak dengan merombak senyawa-senyawa organik pada nutrisi sehingga terjadi penambahan jumlah mikroba. Kinerja SMFC yang berasal dari metabolisme mikroba perlu diimbangi dengan konsentrasi nutrisi yang tepat. Sel mikroorganisme mengandung C, N, P dan S dengan perbandingan 100:10:1:1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme unsur-unsur diatas harus ada pada sumber makanan (nutrien). Konsentrasi nutrisi dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi nutrisi (Moertinah, 2010).

Produksi Listrik

Hasil pengukuran tegangan pada SMFC tersaji pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil pengukuran tegangan pada SMFC

Keterangan:

- (a) : Tegangan pada perlakuan A
- (b) : Tegangan pada perlakuan B
- (c) : Tegangan pada perlakuan C
- (d) : Tegangan pada kontrol
- koordinat x : nilai tegangan (V)
- koordinat y : waktu pengamatan (hari)

Hasil pengukuran tegangan limbah cair perikanan pada SMFC menunjukkan hasil yang fluktuatif. Penelitian Ibrahim *et al.* (2017^b) juga mengalami hal serupa, nilai tegangan listrik yang dihasilkan oleh sistem SMFC pada setiap jarak elektroda yang berbeda selama 48 jam mengalami fluktuasi selama pengamatan. Tegangan pada semua jarak mengalami kenaikan maksimum sampai waktu tertentu dan kemudian mengalami penurunan sampai akhir pengamatan. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya persaingan antar bakteri yang memperebutkan senyawa organik dalam limbah cair perikanan, dimana senyawa tersebut berperan sebagai penangkap elektron yang akan menghasilkan arus listrik.

Perlakuan A mencapai nilai tertinggi sebesar 0,41 V pada hari ke-0 dan nilai terendah 0,08 V pada hari ke-29. Perlakuan B juga mencapai nilai tegangan tertinggi pada hari ke-0 sebesar 0,40 V dan nilai terendah terjadi pada hari ke-21 sebesar 0,06 V. Hasil pengukuran tegangan tertinggi pada perlakuan C yaitu sebesar 0,55 V terjadi di beberapa titik waktu pengamatan (hari ke-20, 21, 23, 29, dan 30), sedangkan nilai terendah ditunjukkan pada hari ke-3 sebesar 0,09 V.

Perlakuan kontrol menunjukkan nilai tertinggi pada hari ke-0, 1, dan 15 yaitu sebesar 0,37 V, sedangkan nilai terendah dialami pada hari ke-12 yaitu 0,03 V. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan terbesar terjadi pada perlakuan C dan nilai tegangan terkecil terjadi pada kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh pada nilai tegangan yang dihasilkan. Semakin tinggi komponen limbah padat yang ditambahkan maka nilai tegangan yang dihasilkan juga cenderung lebih tinggi. Jumlah senyawa organik mempengaruhi besaran elektrisitas limbah, karena senyawa organik

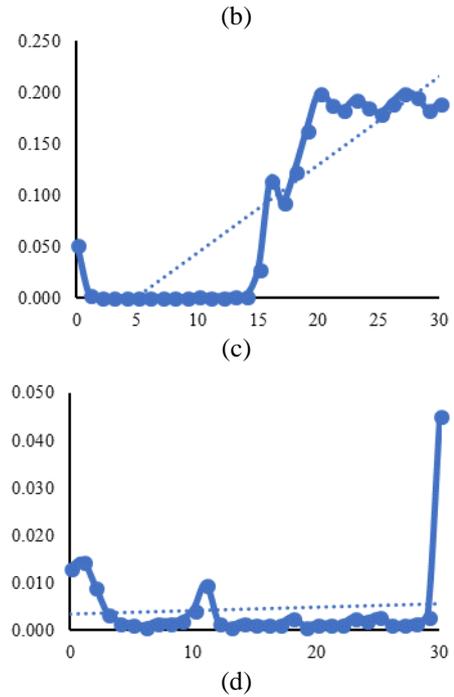
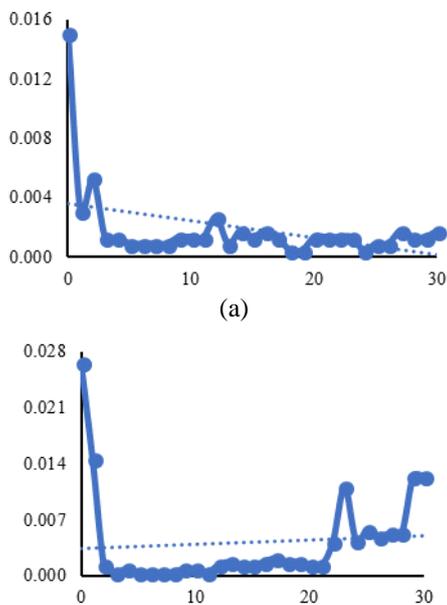
berperan sebagai penerima elektron (Agustus dan Irawan, 2014).

Hasil pengukuran nilai tegangan tersebut telah mengalami peningkatan dari penelitian sebelumnya. Penelitian Shrivasta dan Bundela (2013) menghasilkan tegangan sebesar 434 mV dengan nutrisi berupa limbah industri pembuatan roti, sedangkan penelitian Pramono dan Rani (2014) yang menggunakan urine menghasilkan tegangan sebesar 453 mV. Nutrien merupakan faktor kunci untuk produksi listrik yang efisien pada sistem SMFC. Nutrien yang digunakan mulai dari material organik sederhana sampai campuran kompleks seperti pada limbah cair (Kristin, 2012).

Penelitian lain dengan nutrisi yang sama dengan penelitian ini yaitu limbah perikanan cair buatan dengan volume yang sama dengan perlakuan A yaitu 100 gr limbah padat dan 500 ml air, menghasilkan nilai tegangan tertinggi sebesar 144,9 mV dengan waktu pengamatan selama 5 hari. Hal ini juga membuktikan bahwa waktu penyimpanan mempengaruhi nilai tegangan listrik yang dihasilkan. Semakin lama waktu tinggal proses yang terjadi, semakin besar pula produksi listriknya. Semakin rendah laju alir maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam limbah berlangsung baik, karena kontak antara mikroorganismedengan limbah berlangsung cukup lama(Kurniawati *et al.*, 2017).

Hasil tegangan yang semakin tinggi tidak searah dengan pertumbuhan mikroba yang semakin tinggi pula, hal ini dikarenakan adanya perbedaan jumlah senyawa organik pada masing-masing perlakuan. Perlakuan C terdapat senyawa organik yang lebih banyak untuk diuraikan oleh mikroba, sehingga jumlah senyawa organik yang dikonversi menjadi elektron dan proton akan lebih banyak.

Hasil pengukuran kuat arus limbah cair perikanan pada SMFC tersaji pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil pengukuran kuat arus pada SMFC

Keterangan:

- (a) : Kuat arus pada perlakuan A
- (b) : Kuat arus pada perlakuan B
- (c) : Kuat arus pada perlakuan C
- (d) : Kuat arus pada kontrol
- koordinat x : nilai kuat arus (mA)
- koordinat y : waktu pengamatan (hari)

Hasil pengukuran kuat arus pada SMFC juga menunjukkan hasil yang fluktuatif. Nilai kuat arus yang terukur memiliki nilai yang cukup tinggi pada awal waktu pengamatan, namun kemudian terjadi penurunan drastis yang juga terjadi pada tegangan. Hal ini dimungkinkan adanya pengaruh dari elektron yang telah terakumulasi pada sedimen, sehingga kuat arus yang terukur lebih banyak. Kuat arus listrik yang dihasilkan pada hari pertama tinggi, diduga disebabkan adanya akumulasi elektron yang telah ada pada sedimen, sedangkan peningkatan jumlah arus listrik dari hari kedua dan seterusnya diduga merupakan hasil dari aktivitas dan jumlah mikroorganisme pada sedimen yang makin meningkat (Riyanto *et al.*, 2012).

Kuat arus yang terukur pada perlakuan A memiliki kuat arus maksimum sebesar 0,015 mA pada hari ke-0 dan perlakuan B memiliki kuat arus maksimum sebesar 0,027 mA juga pada hari ke-0. Kuat arus maksimum pada perlakuan C terjadi pada hari ke-20 dan 27 sebesar 0,2 mA, sedangkan pada perlakuan kontrol 0,045 mA pada hari ke-30. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa perlakuan C juga memiliki kuat arus yang terbesar dibanding perlakuan lain, dikarenakan jumlah senyawa organik pada perlakuan C lebih

mencukupi bagi metabolisme mikroba dibanding perlakuan lain. Perombakan nutrisi dalam air limbah oleh mikroorganisme sebagai sumber energi bagi kehidupannya, juga menghasilkan ion-ion berupa elektron maupun proton. Elektron dan proton yang akan dihasilkan akan berkurang apabila nutrisi berkurang, yang kemudian menurunkan elektrisitas (Ibrahim *et al.*, 2017^a).

Hasil pengukuran tersebut cenderung lebih kecil dibanding penelitian sebelumnya. Penelitian Pramono dan Rani (2014) didapatkan kuat arus maksimal sebesar 0,149 mA sedangkan Pramono *et al.* (2015) memiliki kuat arus maksimal sebesar 101,50 mA dengan nutrisi berupa limbah *pulp* dan kertas. Kecilnya kuat arus yang dihasilkan diduga karena aliran elektron dari anoda ke katoda relatif kecil. Produksi arus listrik yang rendah kemungkinan karena konsumsi elektron yang rendah oleh katoda dan laju transfer melewati lintasan listrik eksternal. Hal ini disebabkan oleh suplai proton atau oksigen yang rendah. Produksi arus listrik yang rendah ini menandakan bahwa beberapa elektron digunakan oleh mekanisme-mekanisme lain selain reaksi katode seperti penggunaan elektron pada anoda untuk mereduksi elektron akseptor pada sulfat dan nitrat, oksigen yang terdifusi dari katoda atau oksigen terlarut dalam influen, dan produksi metan di sekitar anoda (Ibrahim *et al.*, 2019).

Penurunan BOD

Hasil pengukuran kadar BOD yang dianalisis menggunakan uji homogenitas dan normalitas menunjukkan data homogen dan normal. Hasil analisis sidik ragam diperoleh bahwa perbedaan konsentrasi pengenceran memberikan pengaruh nyata terhadap kadar BOD ($P < 0,05$). Berdasarkan uji lanjut BNJ pada kadar BOD yang telah dilakukan menunjukkan kadar BOD masing-masing perlakuan memiliki perbedaan yang nyata antar perlakuan pada masing-masing waktu pengamatan.

Hasil pengukuran kadar BOD pada SMFC menunjukkan adanya penurunan pada masing-masing perlakuan dari hari ke-0 hingga hari ke-30 seperti yang tersaji pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penurunan BOD pada SMFC

Sampel	Hasil BOD (mg/L)		Penurunan (%)
	Hari ke-0	Hari ke-30	
A	235,44±1,28	218,49±0,005	7,20
B	6842,41±0,28	3026,63±0,19	55,24
C	8769,49±0,4	2716,80±0,02	69,02
K	53,55±0,42	51,52±1,87	3,79

Keterangan :

- Data merupakan hasil rata-rata dari tiga ulangan ± standar deviasi

Penurunan terbesar terjadi pada perlakuan C, hasil tersebut relatif lebih tinggi dibanding penelitian Ibrahim *et al.* (2014^b) menggunakan SMFC terhadap limbah cair perikanan mampu menurunkan kadar BOD 55,91%, sedangkan penelitian Prayogo *et al.* (2017) dengan nutrisi berupa limbah *septic tank* mampu menurunkan kadar BOD sebesar 25,03 %.

Perlakuan C memiliki persentase penurunan kadar BOD tertinggi juga dipengaruhi oleh kandungan senyawa organik yang lebih banyak dibanding perlakuan lain. Penurunan kadar BOD terendah terjadi pada perlakuan kontrol yaitu dengan sampel berupa air bersih. Hal ini disebabkan jumlah senyawa organik pada air bersih tidak lebih tinggi dari limbah cair perikanan, sehingga proses degradasi berlangsung lebih lambat. Penurunan kadar BOD menunjukkan adanya aktivitas degradasi senyawa *biodegradable* oleh mikroba. Semakin kecil persentase penurunan kadar BOD maka dapat diartikan bahwa senyawa *biodegradable* belum seluruhnya dapat didegradasi oleh mikroba atau proses degradasi berlangsung lambat. Laju degradasi tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti laju metabolisme mikroba, ukuran atau kepadatan partikel dari senyawa tersebut, serta faktor suasana lingkungan (Berliana, 2016).

Penurunan kadar BOD pada semua perlakuan menunjukkan adanya reaksi oksidasi pada anoda SMFC, dimana mikroba yang tumbuh melekat di anoda mengoksidasi senyawa organik pada limbah cair perikanan. Senyawa organik yang diurai oleh mikroba tersebut akan berkurang atau bahkan habis karena proses oksidasi tersebut. Proses tersebut membutuhkan oksigen untuk dapat merubah senyawa organik menjadi CO₂, proton dan elektron. Kebutuhan oksigen tersebut dapat dinyatakan sebagai kadar BOD sesuai dengan yang telah disajikan pada gambar 5. Jumlah oksigen dalam mg/l yang diperlukan dalam kondisi penetapan inkubasi selama 5 hari dalam suhu 20 °C dalam kegelapan menyatakan degradasi zat organik terhadap oksigen melalui cara biologis (Sumantri dan Cordova, 2011).

Penurunan kadar BOD tersebut juga berhubungan dengan adanya produksi listrik berupa arus dan tegangan. Arus dan tegangan terbentuk karena adanya perpindahan elektron dan proton dari anoda menuju katoda. Kedua muatan tersebut dihasilkan dari reaksi oksidasi yang terjadi di anoda, dimana reaksi tersebut memerlukan senyawa organik untuk dapat diubah menjadi energi listrik. Produksi listrik yang terus menerus terjadi menyebabkan senyawa organik tersebut akan berkurang. Mikroorganisme dapat mengoksidasi bahan organik kompleks pada sedimen dan menghasilkan elektron yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik akibat beda potensial yang terjadi. Elektron tersebut mengalir dari bagian

anoda ke katoda dan bereaksi dengan oksigen membentuk air pada katoda (Riyanto *et al.*, 2011).

Penurunan COD

Hasil pengukuran kadar COD yang dianalisis menggunakan uji homogenitas dan normalitas menunjukkan data homogen dan normal. Hasil analisis sidik ragam diperoleh bahwa perbedaan konsentrasi pengenceran memberikan pengaruh nyata terhadap kadar COD ($P < 0,05$). Berdasarkan uji lanjut BNJ pada kadar COD yang telah dilakukan menunjukkan kadar COD masing-masing perlakuan memiliki perbedaan yang nyata antar perlakuan dan perbedaan nyata antar waktu pengamatan.

Hasil pengukuran kadar COD pada SMFC menunjukkan respon yang sama dengan kadar BOD limbah cair perikanan yaitu adanya penurunan pada masing-masing perlakuan dari hari ke-0 hingga hari ke-30. Perbedaan yang signifikan pada nilai penurunan kadar COD juga ditunjukkan antar perlakuan seperti yang tersaji pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Penurunan BOD pada SMFC

Sampel	Hasil BOD (mg/L)		Penurunan (%)
	Hari ke-0	Hari ke-30	
A	10740,46±0,4	2371,57±0,16	54,83
B	12668,46±0,1	3668,38±0,21	71,04
C	16611,51±0,1	7503,34±0,23	77,92
K	4208,14±0,8	1971,58±0,15	53,15

Keterangan :

- Data merupakan hasil rata-rata dari tiga ulangan ± standar deviasi

Penurunan terbesar yaitu pada perlakuan C relatif lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya. Penelitian Ibrahim *et al.* (2014^b) dapat menurunkan COD limbah cair sebesar 49,90%, sedangkan Ibrahim *et al.* (2017) dengan perlakuan yang berbeda mampu menurunkan kadar COD menjadi 59,34%.

Penurunan terbesar terdapat pada perlakuan C, kemudian perlakuan B, dilanjutkan perlakuan A, dan penurunan terkecil yaitu perlakuan K atau kontrol. Perlakuan C memiliki komposisi limbah perikanan tertinggi dibanding perlakuan lain, sedangkan kontrol sebagai perlakuan dengan penurunan terkecil tidak mengandung limbah perikanan. Semakin tinggi komposisi limbah perikanan yang ditambahkan maka kandungan COD pun akan semakin tinggi seperti yang tersaji pada gambar 5, dimana perlakuan C memiliki kadar COD tertinggi pada hari ke-0. Konsentrasi COD yang tinggi membuat metabolisme mikroba meningkat karena ketersediaan nutrisi yang tinggi, sehingga kinerja SMFC menjadi maksimal. 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. Bertambahnya konsentrasi COD meningkatkan aktivitas mikroorganisme sehingga meningkatkan produksi arus listrik (Gonzales *et al.*, 2012).

Penurunan COD terjadi ketika adanya aktivitas mikroba yang menempel pada anoda menguraikan senyawa organik pada limbah cair perikanan, sehingga senyawa organik yang digunakan terus menerus tersebut akan semakin berkurang. Semakin berkurangnya senyawa tersebut maka kebutuhan oksigen pun menurun. Nilai COD pada hari ke-0 menggambarkan kebutuhan oksigen ketika senyawa organik belum berkurang, sedangkan nilai COD yang menurun pada hari ke-30 membuktikan bahwa senyawa organik telah berkurang. COD dapat didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang diperlukan proses kimia di perairan. Makin tinggi nilai COD menunjukkan bahwa limbah tersebut banyak mengandung bahan-bahan organik dan anorganik. Semakin banyak bahan buangan organik yang ada di dalam air, maka semakin sedikit kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Senyawa organik yang terkandung dalam air buangan berguna sebagai makanan dan pertumbuhan sel baru (Ibrahim *et al.*, 2014^a).

Nilai penurunan kadar COD cenderung lebih besar dibanding nilai penurunan kadar BOD dikarenakan pada prinsip pengujian COD yaitu oksigen dibutuhkan untuk menguraikan senyawa organik secara kimiawi. Proses kimiawi tersebut tidak hanya mengurai senyawa yang mudah terurai yang hanya dapat diurai secara biologi seperti pada uji BOD, namun juga senyawa yang tidak mudah diurai yang dapat diuraikan secara kimiawi. COD mampu menggambarkan banyaknya seluruh padatan tersuspensi pada limbah berupa bahan organik maupun anorganik. Selisih antara nilai COD dengan BOD dapat menyatakan jumlah senyawa yang sulit atau tidak dapat diuraikan oleh mikroba (Ibrahim *et al.*, 2009).

Kadar BOD dan COD memiliki pengaruh terhadap tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh SMFC dengan nutrisi limbah cair perikanan. Perlakuan C yang pada hari ke-0 menunjukkan kadar BOD dan COD tertinggi memiliki tegangan dan kuat arus tertinggi pula di hari yang sama. Hal ini juga terjadi pada perlakuan K atau kontrol yang memiliki kadar BOD dan COD hari ke-0 terendah, menghasilkan tegangan dan kuat arus yang terendah pula di antara perlakuan lain. Diketahui bahwa perlakuan C memiliki komposisi limbah perikanan tertinggi dan perlakuan K tidak mengandung limbah perikanan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kandungan bahan organik dan anorganik searah dengan listrik yang dihasilkan. Ada korelasi linier antara nilai material organik dengan energi listrik yang dihasilkan yang

disebabkan oleh bakteri yang menempel pada permukaan anoda mendegradasi material organik dalam kondisi anaerobik yang menghasilkan karbon dioksida, proton, dan elektron dalam limbah (Maharaj dan Paul, 2015).

KESIMPULAN

Limbah industri filet ikan perikanan berpotensi sebagai nutrisi penghasil listrik melalui proses pengolahan limbah menggunakan teknologi SMFC. Listrik yang dihasilkan mencapai puncak dengan tegangan terbesar 0,55 V serta kuat arus terbesar 0,217 mA pada perlakuan C.

Perbedaan komposisi nutrisi dan waktu pengamatan berpengaruh pada proses degradasi nutrisi sehingga jumlah elektron yang dihasilkan akan semakin banyak, namun komposisi nutrisi tidak berpengaruh pada jumlah mikroba yang hanya dipengaruhi oleh waktu pengamatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, H dan Irwan, N. 2014. Potensi Perolehan Energi Listrik dari Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode *Salt Bridge Microbial Fuel Cell*. *Jurnal Sains Dasar*, 1(3):162-168.
- Anggraen, N., Darmanto, Y. S dan Riyadi, P. H. 2016. Pemanfaatan Nanokalsium Tulang Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) pada Beras Analog dari Berbagai Macam Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L.). *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(4):114-123.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 2897 Tentang Metode Pengujian Cemarkan Mikroba dalam daging, Telur dan Susu, serta Hasil Olahannya. Standar Nasional Indonesia, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 6989 Tentang Air dan Air Limbah-Bagian 2: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometri. Standar Nasional Indonesia, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 6989 Tentang Air dan Air Limbah-Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*). Standar Nasional Indonesia, Jakarta.
- Berliana, A. 2016. Biodegradabilitas Bakteri Isolat Lokal Pendegradasi Lipid. [Skripsi]. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 57 hlm.
- Dwilina, A. 2013. Biolistrik dari Limbah Cair Perikanan dengan Metode *Microbial Fuel Cell* Satu Bejana. [Skripsi]. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 58 hlm.
- Gonzales del Campo, A., Lobato, J., Cañizares, P., Rodrigo, M. A dan Morales, F. J. F. 2013. Short-term Effects of Temperature and COD in a Microbial Fuel Cell. *Applied Energy*. 101(C):213-217.
- Holmes, D. E., Bond, D. R., O'Neil, R. A., Reimers, C. E., Tender, L. R dan Lovley, D. R. 2004. *Microbial Communities Associated with Electrodes Harvesting Electricity from a Variety of Aquatic Sediments*. *Microbial Ecology*, hlm. 178-190.
- Ibrahim, B., Erungan, A. C dan Heriyanto. 2009. Nilai Parameter Biokinetika Proses Denitrifikasi Limbah Cair Industri Perikanan pada Rasio COD/TKN yang Berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 12(1):31-45.
- Ibrahim, B., Salamah, E dan Alwinsyah, R. 2014^a. Pembangkit Biolistrik Limbah Cair Industri Perikanan Menggunakan MFC dengan Jumlah Elektroda yang Berbeda. *Dinamika Maritim*, 6(1):1-9.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., Rosmalawati, S. 2014^b. Kinerja Rangkaian Seri pada Sistem *Microbial Fuel Cell* sebagai Penghasil Biolistrik dari Limbah Cair Perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(1):71-79.
- Ibrahim, B dan Adjani, Z. N. 2017^a. Kinerja *Microbial Fuel Cell* Penghasil Biolistrik dengan Elektroda yang Berbeda pada Limbah Cair Industri Perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2):296-304.
- Ibrahim, B dan Agung, B. S. 2017^b. Jarak Elektroda *Microbial Fuel Cell* pada Limbah Cair Pemindangan Ikan terhadap Elektrisitas dan Beban Pencemaran. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(3):561-569.
- Ibrahim, B., Uju dan Mukti, A. C. 2019. Densitas Biofilm pada Elektroda Berpengaruh Positif terhadap Produksi Biolistrik *Microbial Fuel Cell* Limbah Cair Perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(2):72-79.
- Januarita, R., Azizah, A., Ulfa, A. W. A., Syahidah, H dan Samudro, G. 2015. MFCs 2 in 1: *Microbial Fuel Cells* Pengolah Air Limbah dan Penghasil Listrik. Artikel Ilmiah Universitas Diponegoro, e-Journal S1 Undip, hlm. 1-6.
- Kalzoum, A. N., Kirom, M. R dan Qurthobi, A. 2018. Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Penghasil energi listrik menggunakan sistem SMFC. *Dalam: e-Proceeding of Engineering* pada Tanggal 3 Desember 2018, Bandung, 5(3): 5724-5731.
- Kurniawati, A. D., Zaman, B dan Purwono. 2017. Pemanfaatan Sistem SMFC sebagai Sumber

- Listrik Alternatif pada Pengolahan COD dalam Lindi Menggunakan Tumbuhan Sente. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2):1-10.
- Kristin, E. 2012. Produksi Energi Listrik melalui *Microbial Fuel Cell* menggunakan Limbah Industri Tempe. [Skripsi]. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, 63 hlm.
- Maharaj, K.T. dan Paul, P. 2015. Performance of Pilot-scale Microbial Fuel Cells Treating Wastewater with Associated Bioenergy Production in the Carribean Context. *International Journal Energy Environmental Engineering*, 6:213-220.
- Moertinah, S. 2010. Kajian Proses Anaerobik sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi. *Jurnal Riset TPPI*, 1(2):104-114.
- Pramono, K.J., Wardhana, K. A., Astari, P dan Saepulloh. 2015. Biokonversi Bahan Organik pada Pengolahan Air Limbah Industri *Pulp* dan Kertas menjadi Energi Listrik Menggunakan *Membran-less* SMFC. *Jurnal Selulosa*, 5(1):39-46.
- Pramono, S. dan Rani, E. 2014. Pengaruh Penambahan Bakteri *E. coli* terhadap Produksi Listrik pada Sel Bahan Bakar Urine. *Jurnal Neutrino*, 6(2):99-108.
- Prayogo, F.A., Suprihadi, A dan Raharjo, B. 2017. SMFC Menggunakan *B. subtilis* dengan Substrat Limbah *Septic Tank* serta Pengaruhnya terhadap Kualitas Limbah. *Jurnal Biologi*, 6(2):17-25.
- Prayitno, K. Emiliana dan Wachid, S. N. 2012. Pemanfaatan Kulit Ikan Nila dari Industri Filet untuk Kulit Jaket. *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, 28(1):51-59.
- Priyangi, R.W., Nugroho, R. A dan Sari, Y. P. 2019. Pengaruh Rasio Pupuk Organik Cair Limbah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dengan Pupuk Inorganik Komersial terhadap Pertumbuhan Sawi Pakcoy (*Brassica rapa* L.) secara Hidroponik Rakit Apung. *Jurnal Bioprospek*, 14(1):11-22.
- Riyanto, B., Mubarik, N. R dan Idham, F. 2011. Energi Listrik dari Sedimen Laut Teluk Jakarta melalui Teknologi *Microbial Fuel Cell*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, XIV(1):35-42.
- Riyanto, B., Maddu, A dan Firmansyah, Y. 2012. Degradasi Bahan Organik dan Pemanfaatan Arus Listrik pada Sedimen Tambak Udang Tradisional melalui SMFC. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 15(3):183-193.
- Shrivasta, S dan Bundela, H. 2013. Power Generation Through Double Chamber SMFC Operation by Slurry Mixed with Different Substrates. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(9):4201-4205.
- Sumantri, A dan Cordova, M. R. 2011. Dampak Limbah Domestik Perumahan Skala Kecil terhadap Kualitas Air Ekosistem Penerimaannya dan Dampaknya terhadap Kesehatan Masyarakat. *JPSL*, 2(1):127- 134.
- Suyanto, E., Mayangsari, A., Wahyuni, A., Zuhro, F., Isa, S. M. S. H., Sutariningsih, E. S dan Retnaningrum, E. 2010. Pemanfaatan Limbah Cair Domestik IPAL Kricak sebagai Substrat Generator Elektrasitas Melalui Teknologi *Microbial Fuel Cell* Ramah Lingkungan. *Dalam: Seminar Nasional Biologi UGM* pada 24-25 September, Yogyakarta, hlm. 230-242.
- Wu, Y., Guan, K., Wang, Z., Xu, B dan Zhao, F. 2013. Isolation, Identification and Characterization of an Electrogenic Microalgae Strain. *PLOS*, 10(9):1-10.