

# PENENTUAN RASIO BAHAN SAMPAH ORGANIK OPTIMUM TERHADAP KINERJA COMPOST SOLID PHASE MICROBIAL FUEL CELLS (CSMFCs)

Meishinta Ariyanti<sup>1,\*</sup>, Ganjar Samudro<sup>1</sup>, Dwi Siwi Handayani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail: meishinta.ariyanti@gmail.com

## Abstrak

*Compost Solid Phase Microbial Fuel Cells (CSMFCs)* merupakan teknologi pengomposan yang diintegrasikan dengan sistem MFCs untuk menghasilkan kompos dan produksi biolistrik dari sampah padat organik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja CSMFCs melalui penerapan perlakuan optimal dari penelitian terdahulu seperti, kadar air 60%, volume sampah 2/3 reaktor, dan penambahan bioaktivator. CSMFCs dalam penelitian ini dilakukan dalam kondisi *batch* menggunakan reaktor tipe *single chamber* dan *dual anode graphene*. Sampah daun dan sampah sisa makanan digunakan sebagai substrat dalam studi ini. Bahan sampah tersebut divariasikan berdasarkan rasio bahan (sampah daun: sampah sisa makanan) yaitu 100:0, 0:100, dan 50:50. Hasil penelitian ini menunjukkan kinerja CSMFCs yang optimum terdapat pada variasi sampah campuran keduanya dengan rasio bahan 50:50. Variasi ini dapat menghasilkan kompos yang baik, yaitu memenuhi SNI 19-7030-2004, serta produksi listrik yang cukup tinggi yaitu *power density* 41,6 mW/m<sup>2</sup>, *coulombic efficiency* 0,647% dan *energy efficiency* 0,0127%.

**Kata Kunci:** bahan sampah, kinerja CSMFCs, pengomposan, biolistrik

## Abstract

*Compost Solid Phase Microbial Fuel Cells (CSMFCs)* are composting technology that integrated with the MFCs system to produce compost and generate bioelectricity using solid organic waste. This study tried to enhance CSMFCs performance by the application of optimum treatment from the previous research, used moisture content of 60%, 2/3 waste volume of reactor volume, and the addition of bioactivator. In this study, CSMFCs operated under batch conditions using single chamber reactor and dual anode graphene. Leaf waste and food waste were used as substrate within CSMFCs. The waste materials varied based on the material ratio (leaf waste: food waste) are 100:0, 0:100, and 50:50. The result showed that the CSMFCs performance was optimum in mixed waste material with material ratio of 50:50. This variation produced great compost which accordance to SNI 19-7030-2004, and generated good electricity for power density 41.6 mW/m<sup>2</sup>, coulombic efficiency 0.647% and energy efficiency 0.0127%.

**Keywords:** waste material, CSMFCs performance, composting, bioelectricity

## Pendahuluan

Sampah merupakan sisa kegiatan manusia sehari-hari dan/atau proses alam yang berbentuk padat (Undang-Undang RI Nomor 18, 2008). Sampah dapat dibedakan menjadi organik dan anorganik. Berdasarkan analisis karakteristik limbah padat dari banyak negara berkembang, ditemukan bahwa sebagian besar (lebih dari 80%) dari total limbah padat

terdiri dari sampah organik, biasanya kurang mendapatkan banyak perhatian untuk diolah atau didaur ulang (Moqsud *et al.*, 2008).

Dalam pengembangan sistem teknologi pengolahan sampah, muncul teknologi alternatif yang dapat diaplikasikan pada pengomposan menjadi sumber energi bahan bakar bernama *Compost Solid Phase Microbial Fuel Cells* (Wang *et al.*,

2013). CSMFCs merupakan salah satu teknologi MFC dengan substrat berupa limbah organik padat seperti sampah kebun, sampah daun, dan sampah sisa makanan, tujuan dari CSMFCs dapat menghasilkan energi listrik dari pengomposan. Berdasarkan penelitian Logrono, *et al.* (2015), yang menggunakan campuran substrat sampah organik dengan tanah pada MFC berbahan padatan tipe *single chamber* untuk menghasilkan *bioelectricity* sekaligus biotransformasi limbah organik. Nilai voltase yang dihasilkan pada MFCs, nilai tertinggi keluaran voltase sebesar 330 mV dan *power density* sekitar 2,8 mW/m<sup>2</sup>. SMFC yang berisi perpaduan 75:25 buah dan sayuran.

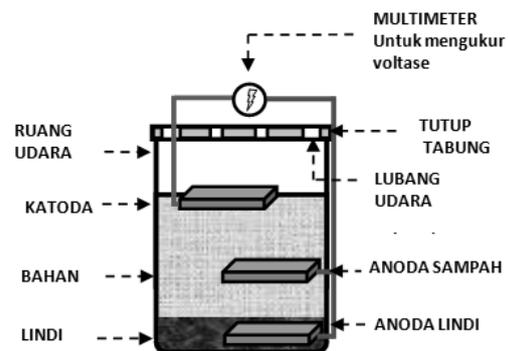
Kelebihan CSMFCs ini adalah penurunan bahan organik yang tinggi, hasil lumpur lebih sedikit dan selanjutnya dapat dihasilkan menjadi kompos, pupuk cair, biogas, dan energi listrik secara langsung. Beberapa penelitian telah menerapkan CSMFCs sebagai teknologi pemroses sampah maupun bahan padat lainnya. Penelitian Wang *et al.* (2015), menggunakan campuran sampah organik domestik seperti ampas kedelai, ampas kopi, dedaun, dan sekam padi untuk mengobservasi performa listrik CSMFCs. Rasio C/N awal 31,4 dengan kadar air 60% diperoleh *power density* optimal 4,6 mW/m<sup>2</sup>. CSMFCs memang masih dalam tahap pengembangan namun memiliki potensi besar dari segi inovasi dan dapat menjadi energi alternatif untuk menggantikan energi fosil (Kothapalli, 2013). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja CSMFCs berdasarkan variasi rasio bahan sampah.

### Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu dilakukan melalui observasi. Substrat yang digunakan berupa sampah organik yaitu sampah daun dari area Universitas Diponegoro dan sampah sisa makanan diperoleh dari rumah makan area Tembalang. Pemilihan substrat berdasarkan banyaknya sampah yang dihasilkan dan memiliki kandungan substrat organik yang tinggi. Sebelum dikomposkan, sampah yang berukuran besar akan dicacah terlebih dahulu supaya proses degradasi dapat lebih cepat.

Reaktor lab-scale yang digunakan dengan tipe *single chamber* yang terdiri dari dua anoda dan satu katoda. Penelitian dilakukan secara destruktif dengan variabel yang telah ditentukan serta reaktor dikondisikan *batch*

selama 23 hari. Tidak dilakukan penambahan substrat sampah dan sumber bakteri pada saat pengomposan berlangsung. Reaktor yang digunakan berukuran 2,5 liter. Desain *lab-scale* tersebut dipilih untuk memudahkan dalam observasi penelitian. Elektroda yang digunakan berasal dari *graphene handmade*. Penggunaan *graphene* sebagai elektrod dapat mengurangi kehilangan potensial listrik sehingga memperkuat kinerja MFC. Serta dapat dibuat dalam suhu ruang menggunakan larutan kimia sederhana yang terjangkau. Pembuatan *graphene* diawali dengan aktivasi batang aluminium dengan larutan HCl 1 M dan NaOH 1 M. Setelah itu, plat dilapisi dengan serbuk karbon dan cairan polyurethane yang dicampurkan dengan perbandingan 1:2. Lalu serbuk karbon murni ditaburkan lagi di atas plat aluminium dan didiamkan hingga kering. Kemudian seluruh bagian plat yang telah tertutupi serbuk karbon diolesi dengan larutan asam fosfat 85% dengan tujuan agar butir serbuk saling menempel dengan plat aluminium. Elektroda yang digunakan berukuran 2,5 cm x 10 cm. Kompartemen katoda dikondisikan kontak dengan udara – *air cathode*. Skema reaktor terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Reaktor CSMFCs

Variabel bebas pada penelitian ini adalah rasio bahan sampah. Serta variabel terikatnya yaitu parameter pengomposan (Suhu, pH, Kadar C-Organik, N-Total, Rasio C/N, P-Total dan K-Total) serta parameter listrik (PD, CE dan EE). Data untuk analisis produksi listrik diperoleh dari hasil pengukuran voltase dan hambatan dengan menggunakan digital multimeter DT-9205A dan hasil perhitungan arus. Nilai kuat arus dan voltase yang diperoleh kemudian dikonversi ke *power density*, PD (mW/m<sup>2</sup>) sesuai dengan rumus (Logan, 2008) di bawah ini :

$$P_D = \frac{V \times I}{A} \dots \dots \dots (1)$$

dimana, I (mA) adalah arus listrik, V (volt) adalah tegangan/ beda potensial dan A (m<sup>2</sup>) adalah luas permukaan yang digunakan mikroorganisme bertumbuh di anoda *graphene*.

Kinerja CSMFCs dalam produksi listrik juga dievaluasi berdasarkan efisiensinya melalui *coulombic efficiency*, CE(%) dan *energy efficiency*, EE (%). Nilai CE dikalkulasikan menggunakan persamaan (Logan, 2008) berikut :

$$CE = \frac{M_s \int I dt}{F b_{es} v_{an} \Delta COD} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

dimana M<sub>s</sub> adalah berat molekul substrat, I adalah arus listrik pada selang waktu dt, F adalah konstanta faraday (96485 Coulomb), b<sub>es</sub> adalah mol elektron yang dihasilkan selama proses oksidasi beban organik dalam bentuk kadar COD. M<sub>s</sub> adalah berat molekul oksigen yaitu 32 dan elektron yang dihasilkan per mol oksigen, b<sub>es</sub> adalah 4), v<sub>an</sub> adalah volume substrat di anoda dan ΔCOD adalah konsentrasi COD substrat (Logan, 2008).

Nilai *energy efficiency* (EE) dikalkulasikan dengan menggunakan persamaan (Liu *et al.*, 2005) berikut :

$$EE = \frac{M_i \int_0^{t_b} P dt}{\Delta H S_i v} \dots \dots \dots (3)$$

dimana, P adalah daya (watt), t<sub>b</sub> adalah waktu untuk satu siklus batch, ΔH adalah perubahan entalpi reaksi (J/mol), S<sub>i</sub> adalah konsentrasi substrat (g/L), v adalah volume liquid dalam kompartemen anoda (L), dan M<sub>i</sub> adalah berat molekul substrat (g/mol).

Perlakuan volume sampah 2/3 dari volume reaktor, penambahan bioaktivator EM-4 dan kadar air 60% untuk keseluruhan reaktor, sebagai variabel kontrol karena mempengaruhi variabel bebas dan variabel terikat. Variasi reaktor pada proses *running-batch* terdapat pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa jenis reaktor dibedakan berdasarkan variasi rasio bahan sampah. Variasi rasio bahan sampah berdasarkan penelitian Logrono *et al.* (2015), untuk mengetahui variasi rasio bahan sampah yang paling menguntungkan untuk menghasilkan kompos dan produksi listrik.

Tabel 1. Variasi Reaktor Berdasarkan Rasio Bahan Sampah

Bahan Sampah	Rasio Daun : Makanan	Kadar Air	Proses	Kode Reaktor
Daun	100 : 0	60%	<i>Batch</i>	D60
Makanan	0 : 100	60%	<i>Batch</i>	M60
Campuran	50 : 50	60%	<i>Batch</i>	C60

**Hasil dan Pembahasan**

Proses *running* dilakukan selama 23 hari terhitung sejak tanggal 20 Mei 2018 hingga 12 Juni 2018 dengan 8 kali pengambilan data pada hari ke-0, 1, 3, 5, 10, 15, 20, dan 23. Hari pengambilan sampel tersebut didasarkan pada penelitian Samudro, *et al.* (2017), dengan tujuan data yang diharapkan dapat menggambarkan kurva pertumbuhan mikroorganisme pada umumnya, yakni *lag phase*, *exponential phase*, *stationery phase* dan *death phase*.

Produksi Kompos

Suhu

Peningkatan suhu kompos secara drastis pada hari ke-3. Hal ini terjadi karena terdapat aktivitas mikroba menguraikan sampah organik. Suhu puncak pengomposan yaitu, 38°C pada sampah makanan, 36°C pada sampah campuran dan 35°C pada sampah daun. Pada tumpukan sampah makanan memiliki tingkat porositas yang rendah

daripada sampah daun sehingga kemampuan dalam mempertahankan panas lebih tinggi. Porositas kompos adalah celah rongga di antara tumpukan kompos (Widarti dkk., 2015). Hal ini terjadi akibat suhu sulit menguap keluar karena sedikitnya rongga yang ada. Peningkatan suhu terjadi karena adanya aktivitas bakteri dalam mendekomposisi bahan organik. Menurut Wahyono dkk (2011), semakin tinggi tumpukan sampah maka suhu yang dihasilkan semakin tinggi. Pada akhir pengomposan, suhu pada semua variasi kompos berkisar pada 27°C.

Derajat Keasaman (pH)

Penurunan pH kompos secara drastis pada hari ke-3. Selama pengomposan, pH pada sampah daun rentang 4,7-7,4, sampah makanan rentang 3,8-5,8, dan sampah campuran daun-makanan rentang 4,5-6,9. Penurunan pH terjadi karena mikroorganisme mengubah bahan organik menjadi asam organik sehingga pH menurun (Sidabutar dkk., 2012). Menurut Kusuma (2012), pH

dipengaruhi oleh adanya nitrogen dan keadaan anaerobik. Mikroorganisme tertentu akan mengubah bahan organik menjadi asam organik. Selanjutnya asam organik tersebut akan dimakan oleh mikroorganismenya lainnya sehinggatingkat pH naik mendekati netral. Hasil akhir pH pengomposan, sampah makanan tidak memenuhi SNI 19-7030-2004, dibawah rentang 6,8-7,49 yaitu 5,8. Menurut Mulyani (2014), nilai pH yang rendah pada kompos tidak baik karena menyebabkan unsur hara N, P, K, Ca, Mg sulit terlarut sehingga sukardiserap oleh tumbuhan.

#### Kadar C-Organik

Kadar C-Organik awal mulai dari tertinggi ke terendah, yaitu pada sampah campuran 27,64%, sampah daun 26,43%, dan sampah makanan 23,41%. Tinggi rendahnya kandungan C-Organik awal akan mempengaruhi hasil akhir pengomposan. Hasil kadar C-Organik akhir pada sampah campuran sebesar 15,83%, sampah daun sebesar 14,75%, dan sampah makanan sebesar 12,57%. Selama pengomposan kadar C-Organik menurun karena bahan organik yang terkandung dalam sampah dikonsumsi oleh mikroorganisme. Penurunan kadar C-Organik pada seluruh variasi rasio bahan sampah terjadi karena C-Organik pada sampah digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi untuk proses metabolisme dan sebagian terurai menjadi CO<sub>2</sub> ke udara sehingga kadarnya berkurang (Setyorini dkk., 2006). Pada akhir pengomposan semua reaktor telah memenuhi SNI 19-7030-2004 terdapat pada rentang 9,8-32%.

#### Kadar N-Total

Berdasarkan hasil penelitian, kadar N-Total awal mulai dari tertinggi ke terendahnya yaitu, pada sampah makanan 0,50%, sampah campuran 0,45%, dan sampah daun 0,38%. Selama pengomposan N-Total mengalami peningkatan. Pada sampah daun, meningkat menjadi 0,87%. Pada sampah makanan menjadi 1,58%. Sedangkan pada sampah campuran meningkat menjadi 0,99%. Penurunan ini disebabkan karena nitrogen dalam pengomposan digunakan oleh mikroorganisme untuk sintesis protein. Pada pengomposan N-Total meningkat karena mikroorganisme mengurai protein menjadi asam amino. Proses amonifikasi menjadi ammonium kemudian menghasilkan nitrit dan nitrat dari proses oksidasi (Jannah, 2003). Nitrogen kembali tersedia apabila mikroorganisme mati dan dirombak oleh mikroorganisme lainnya (Bernal *et al.*,

2009). Hasil akhir pengomposan untuk semua reaktor telah memenuhi kadar N-Total sesuai SNI 19-7030-2004 yaitu minimal 0,4%.

#### Rasio C/N

Nilai rasio C/N dapat dipengaruhi faktor jenis bahan yang akan digunakan untuk kompos (Jannah, 2003). Berdasarkan hasil penelitian rasio C/N awal mulai tertinggi ke terendah yaitu sampah daun 70,37, sampah campuran 61,87 dan sampah makanan 46,47. Selama pengomposan, rasio C/N mengalami penurunan. Pada akhir pengomposan, rasio C/N pada sampah daun sebesar 17,01, sampah campuran sebesar 15,92, dan sampah makanan memiliki nilai terendah yaitu 7,95. Penurunan rasio C/N terjadi akibat mikroorganisme melepas CO<sub>2</sub> ke udara sehinggakadar C-Organik turun dan kadar N-Total naik karena terbentuknya ammonium menjadi nitrat selama dekomposisi (Jannah, 2003). Hasil akhir pengomposan untuk reaktor M60 sebesar 7,95 tidak memenuhi Rasio C/N pada SNI 19-7030-2004 yaitu di bawah rentang 10-20. Bila rasio C/N terlalu rendah, keberadaan senyawa karbon sebagai sumber energi yang dimanfaatkan mikroorganisme terbatas untuk mengikat nitrogen bebas. Dalam hal ini jumlah nitrogen bebas dilepaskan dalam bentuk gas NH<sub>3</sub> dan kompos yang dihasilkan mempunyai kualitas rendah (Siswanto, 2012).

#### Kadar P-Total

Pada pengomposan fosfor dimanfaatkan mikroorganisme untuk pembentukan zat putih telur di tubuhnya (Suswardany, dkk., 2006). Kadar P-total awal mulai dari tertinggi ke terendah yaitu, pada sampah makanan 0,39%, sampah campuran 0,31%, sampah daun 0,29%. Selama pengomposan kadar P-Total cenderung meningkat. Pada sampah makanan, kadar P-Total akhir sebesar 0,75%. Pada sampah campuran sebesar 0,56%. Serta pada sampah daun, kadar P-Total akhir pada kompos sebesar 0,50%. Menurut Ayuningtyas (2009), penurunan P-Total disebabkan karena kadar P dikonsumsi oleh mikroorganisme pengurai. Kadar P-Total semakin tinggi karena bahan organik yang dikomposkan telah lapuk, mikroorganisme akan mati dan kandungan P dalam mikroorganisme akan tercampur dalam bahan kompos sehingga kandungan fosfor meningkat (Nurdiansyah, 2015 dalam Yulianto dkk., 2017). Kadar P-Total di semua reaktor telah sesuai SNI 19-7030-2004, yaitu melebihi P-Total minimum 0,1%.

### Kadar K-Total

Pengomposan pada penelitian ini, kadar K-Total awal mulai dari tertinggi ke terendah yaitu, pada sampah daun 1,46%, sampah campuran 0,99%, dan sampah makanan 0,85%. Saat pengomposan kadar K-Total cenderung meningkat. Pada sampah daun, kadar K-Total akhir pada kompos sebesar 2,18%. Pada sampah makanan, kadar K-Total akhir pada kompos sebesar 1,10%. Serta sampah campuran, kadar K-Total akhir pada kompos sebesar 2,08%. Peningkatan ini dapat terjadi karena penguraian mikroorganisme. Kalium dalam bahan substrat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai katalisator (Walidaini dkk., 2016). Penurunan kadar K-Total selama pengomposan terjadi karena unsur kalium dari hasil penguraian bahan organik

digunakan oleh mikroorganisme (Wibawati, 2013). Semua reaktor sudah memenuhi SNI 19-7030-2004 dari awal sampai akhir pengomposan kadar K-Total lebih dari 0,2%. Kualitas kompos dapat dilihat dari tingkat kematangan kompos sebagai syarat utama untuk dipenuhi agar dapat digunakan dengan baik di dalam tanah. Kematangan kompos dapat diukur dari kadar unsur hara yang terkandung dalam kompos seperti kadar karbon organik, nitrogen total, rasio C/N, fosfor, dan kalium serta melibatkan suhu dan pH. Penentuan kualitas kompos pada penelitian ini ditinjau dari parameter suhu, pH dan kadar unsur hara yang telah terpenuhi berdasarkan SNI 19-7030-2004. Kualitas kompos yang baik diperoleh reaktor D60 dan C60. Rekapitulasi hasil akhir pengomposan semua reaktor dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Akhir Pengomposan

Parameter	SNI 19-7030-2004	D60	Ket.*	M60	Ket.*	C60	Ket.*
Suhu (°C)	< 30 °C	27	√	27,5	√	27	√
pH	6,8-7,49	7,3	√	5,8	x	6,9	√
C-Organik (%)	9,8%-32%	14,75	√	12,57	√	15,83	√
N-Total (%)	> 0,4%	0,87	√	1,58	√	0,99	√
Rasio C/N	10-20	17,01	√	7,95	x	15,92	√
P-Total (%)	> 0,1%	0,50	√	0,75	√	0,56	√
K-Total (%)	> 0,2%	2,18	√	1,10	√	2,08	√

\* Ket. = Keterangan

√ = telah memenuhi SNI 19-7030-2004

x = tidak memenuhi SNI 19-7030-2004

### Produksi Listrik

#### Power Density (mW/m<sup>2</sup>)

*Power density* atau rapat daya adalah satuan yang digunakan untuk mengetahui daya yang dapat dihasilkan sistem MFCs. Pada umumnya, daya pada sistem MFCs yang diasumsikan dihasilkan pada suatu luas area anoda dimana reaksi biologis terjadi (mW/m<sup>2</sup>) (Logan, 2008). Pada sampah daun dihasilkan PD tertinggi pada hari ke-15 sebesar 27,2 mW/m<sup>2</sup>. Sampah makanan dihasilkan PD tertinggi di hari ke-5 sebesar 70,5 mW/m<sup>2</sup>. Sedangkan pada sampah campuran dihasilkan PD tertinggi pada hari ke-15 sebesar 41,6 mW/m<sup>2</sup>. Grafik peningkatan dan penurunan *power density* dapat dilihat pada Gambar 2. Sampah makanan menghasilkan *power density* lebih tinggi dibandingkan dengan sampah daun. Hal ini disebabkan karena sampah daun memiliki molekul

senyawa organik yang lebih kompleks misalnya selulosa. Menurut Kristin (2012), substrat yang banyak mengandung organik membantu metabolisme beragam mikroba, namun substrat sederhana lebih baik untuk menghasilkan energi listrik dalam waktu singkat. Mikroorganisme lebih mudah memanfaatkan nutrisi yang terdapat pada substrat sederhana. Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan *power density* tertinggi terjadi di reaktor sampah makanan.

#### Coulombic Efficiency (CE)

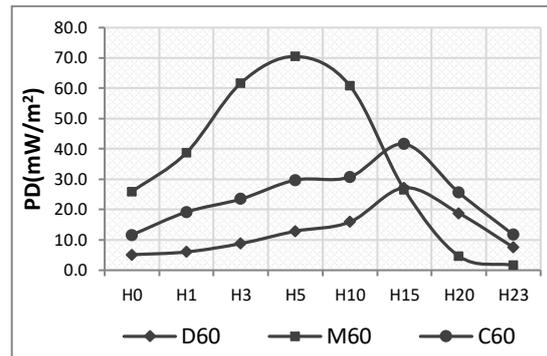
*Coulombic efficiency* didefinisikan sebagai rasio total Coulombs yang ditransfer ke anoda dari substrat dibagi dengan kemungkinan Coulombs maksimum yang dapat dihasilkan jika semua substrat disisihkan untuk menghasilkan listrik. Nilai CE diperoleh dari formula perhitungan yang menggunakan nilai penurunan COD.

Parameter ini mengukur seberapa besar substrat (beban organik) yang mampu terolah dan terkonversi menjadi listrik (coulombic efficiency), biomassa (hasil pertumbuhan) dan melalui reaksi kompetitif dengan akseptor elektron alternatif (nitrat, oksigen, dan sulfat) (Logan *et al.*, 2006). Grafik peningkatan dan penurunan CE dapat dilihat pada Gambar 3. Pada sampah daun dihasilkan CE tertinggi di hari ke-15 sebesar 0,486%. Sampah makanan CE tertinggi di hari ke-5 sebesar 0,820%. Sedangkan pada sampah campuran dihasilkan CE tertinggi di hari ke-15 sebesar 0,647%. Nilai CE yang dihasilkan penelitian ini lebih rendah daripada hasil nilai CE penelitian Liu *et al.* (2005) sebesar 3–12 % dengan substrat air limbah. Sedangkan CSMFCs hanya mengandalkan kadar air yang tersedia pada substrat untuk larut karena berupa padatan. Nilai CE yang rendah dapat juga terjadi karena densitas biofilm bakteri eksoelektrogen yang rendah akibat terjadinya kompetisi pertumbuhan dengan komunitas mikrobialain pada permukaan anoda (Lee *et al.*, 2008).

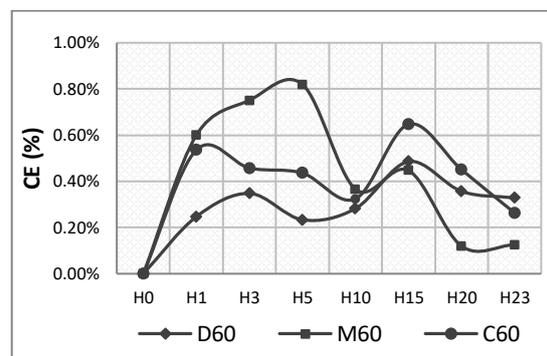
#### Energy Efficiency (EE)

Nilai *energy efficiency* (EE) dapat dievaluasi dari proses transfer elektron pada MFCs. Nilai EE didapatkan dari jumlah daya listrik yang terukur dibagi dengan jumlah energi total yang didapatkan dari reaksi degradasi senyawa organik (Utami dkk., 2017). Pada sampah daun, EE tertinggi di hari ke-15 sebesar 0,0054%. Sampah makanan, EE tertinggi pada hari ke-5 diperoleh sebesar 0,0254%. Sedangkan pada sampah campuran, EE tertinggi terjadi di hari ke-15 sebesar 0,0127%. Grafik peningkatan dan penurunan *energy efficiency* dapat dilihat pada Gambar 4. Kehilangan energi (*energy losses*) pada sistem dapat menyebabkan nilai EE yang rendah. Listrik dalam MFCs yang terukurakan lebih kecil daripada hasil energi listrik secara teoritis. Hal ini diakibatkan kehilangan potensial yang berhubungan dengan transfer elektron serta adanya hambatan internal (Sitorus, 2010 dalam Utami, dkk., 2017). Menurut Lee *et al.*, (2008), komunitas mikroba eksoelektrogen cenderung menyukai produk fermentasi dari glukosa seperti asetat sehingga terdapat juga komunitas mikroba fermentatif. Hal ini dapat mengakibatkan lapisan biofilm menebal, namun didominasi biomassa non eksoelektrogen atau inert yang tidak dapat menghasilkan arus. Keadaan ini dapat mengakibatkan konsentrasi elektron donor menurun dan laju transfer massa terhambat

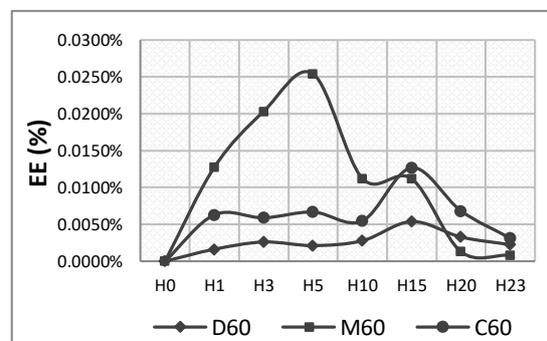
pada permukaan anoda sehingga nilai efisiensi energi rendah.



Gambar 2. Pengaruh Rasio Bahan Terhadap Produksi Listrik dalam *Power Density*



Gambar 3. Pengaruh Rasio Bahan Terhadap Produksi Listrik dalam *Coulombic Efficiency*



Gambar 4. Pengaruh Rasio Bahan Terhadap Produksi Listrik dalam *Energy Efficiency*

#### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi bahan sampah memiliki pengaruh terhadap produksi kompos dan nilai produksi listrik yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar nutrisi N, P, K pada bahan sampah awal yang digunakan, maka semakin banyak pula ketersediaan organik yang disuplai bagi bakteri sehingga dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Variasi pada reaktor C60 yang berisi bahan sampah campuran daun dan makanan dengan rasio 50:50 merupakan variasi yang paling optimum dalam kualitas kompos dan

produksi listrik. Hasil tersebut diperoleh kualitas kompos yang baik, parameter kompos akhir telah memenuhi SNI 19-7030-2004 yaitu kadar C-Organik sebesar 15,83%, N-Total sebesar 0,99%, rasio C/N sebesar 15,92%, P-Total sebesar 0,56%, K-Total sebesar 2,08%, pada suhu 27°C serta pH 6,9. Selain itu, hasil produksi listrik diperoleh cukup tinggi, yaitunilai *power density* 41,6 mW/m<sup>2</sup>, *coulombic efficiency* 0,647% dan *energy efficiency* 0,0127%.

**Ucapan Terima Kasih:** Ucapan terima kasih kepada Departemen Teknik Lingkungan dan Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas fasilitas yang diberikan selama penelitian.

### Daftar Pustaka

- Ayuningtias, Dyah Nurhati. (2009). *Pengaruh Ketersediaan Oksigen dan Sistem Aerasi terhadap Laju Proses Pengomposan dan Kualitas Kompos Berbahan Baku Limbah Pencucian Biji Kakao Terfermentasi, Serasah Daun, dan Kotoran Sapi*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Bernal, M.P., J.A. Alburquerque, dan R. Moral. (2009). *Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assesment*. Departement of Soil and Water Conservation and Organic Waste Management. Murcia.
- Jannah, Miftahul. (2003). *Evaluasi Kualitas Kompos dari Berbagai Kota sebagai Dasar dalam Pembuatan SOP (Standar Operating Procedure) Pengomposan*. Fakultas Teknik Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor:
- Kothapalli, Ananta. (2013). *Sediment Microbial Fuel Cell as Sustainable Power Resource (Thesis and Dissertations)*. Paper 294. University of Wisconsin Milwaukee.
- Kristin, Ester. (2012). *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Skripsi. Program Studi Teknologi Bioproses. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia
- Kusuma, M. Angga. (2012). *Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Laju Dekomposisi Kompos Sampah Organik di Kota Depok*. (Tesis). Depok: Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia.
- Lee, Hong S., Parameswaran, P. Kato-Marcus, A. Torres, C.I. (2008). *Evaluation of Energy-Conversion Efficiencies In Microbial Fuel Cells (MFCs) Utilizing Fermentable and Non-Fermentable Substrates*. Water Research. 42(6-7): 1501-1510.
- Liu, Hong., Cheng, Shaoan., and Logan, Bruce E. (2005). *Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell*. Environ. Sci. Technol. 2005, 39, 658-662.
- Logan B. E., Hamelers, Bert., Rozendal, R., Schroder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., Rabaey, K. (2006). *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. Environmental Science & Technology 40:5181-5192.
- Logan, B. E. (2008). *Microbial Fuel Cell*. New Jersey: John Wiley & Sons. 216 p.
- Logroño, Washington., Ramirez, Geovany., Recalde, Celso., Echeverria, Magdy., dan Cunachi, Ana. (2015). *Bioelectricity Generation From Vegetables and Fruits Wastes by Using Single Chamber Microbial Fuel Cells With High Andean Soils*. Energy Procedia, Volume 75, August 2015, Pages 2009-2014.
- Mulyani, Happy. 2014. *Buku Ajar Kajian Teori dan Aplikasi : Optimasi Perancangan Model Pengomposan*. Jakarta : CV. Trans Info Media.
- Moqsud, M.A., Rahman, M.H., Hayashi, S., Du, Y.J., (2008). *An Assessment of Modified Composting Barrel For Sustainable Organic Waste Management In Bangladesh*. Journal of Solid Waste Technology and Management 34 (1), 35–46.
- Samudro, Ganjar., Syafrudin., Nugraha, Winardi D., Sutrisno, Endro., Priyambada, Ika B., Muthi'ah, Hilma., Sinaga, Glory N., Hakiem, Rahmat T. (2017). *The Effect of COD Concentration Containing Leaves Litter, Canteen and Composite Waste to the Performance of Solid Phase Microbial Fuel Cell (SMFC)*. E3S Web of Conferences 31, 02008 (2018) ICENIS 2017 : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183102008>.
- Setyorini, Diah., Saraswati, Rasti., Anwar, Ea Kosman. (2006). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Pengaruh Rasio C/N Bahan Baku Pembuatan Kompos, 76.

- Sidabutar, Noni V. (2012). *Peningkatan Kualitas Kompos UPS Permata Regency dengan Penambahan Kotoran Ayam Menggunakan Windrow Composting*. Jakarta: Teknik Lingkungan Universitas Indonesia.
- Siswanto, Thesa. (2012). *Pengaruh Penambahan Bahan Berunsur Karbon Tinggi Untuk Meningkatkan Nilai Rasio C/N Pada Kompos di UPS*. Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia 19-7030-2004 Tentang *Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik*.
- Suswardany, Dwi. L., Ambarawati., Kusumawati, Yuli.(2006). *Peran Efective Mikroorganisme (EM-4) dalam Meningkatkan Kualitas Kimia Kompos Ampas Tahu*. Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi, Vol.7 No 2:141-149.
- Utami, Tania S., Arbianti, Rita., Mulyana, Guruh M.(2017). *Evaluasi Produksi Listrik Sumber Energi Terbarukan Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba Pada Volume Reaktor Yang Berbeda*. p- ISSN : 2407-1846. Website : [jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaste](http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaste)
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2018 Tentang Pengelolaan Sampah.
- Wahyono, Sry., Sahwan, Firman L., Suryanto, Feddy.(2011). *Membuat Pupuk Organik Granul dari Aneka Limbah*. Jakarta : PT. AgroMedia Pustaka.
- Walidaini, Rantidaista A., Nugraha, Winardi D., Samudro, Ganjar.(2016). *Pengaruh Penambahan Pupuk Urea dalam Pengomposan Sampah Organik secara Aerobik menjadi Kompos Matang dan Stabil*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Wang, et al. (2013). *Electrical analysis Electrical Analysis of Compost Solid Phase Microbial Fuel Cell*. International journal of hydrogen energy, 38(25), pp.11124-11130. Taiwan: Hydrogen Energy Publications, LLC.
- Wibawati, Riya.E. (2013). *Rasio C/N, Kandungan Kalium (K), Keasaman (pH), dan Bau Kompos Hasil Pengomposan Sampah Organik Pasar dengan Starter Kotoran Sapi*. Semarang: IKIP PGRI Semarang.
- Widarti, Budi N., Wardhini, Wardah K., Sarwono, Edhi.(2015). *Pengaruh Rasio C/N Bahan Baku pada Pembuatan Kompos dari Kubis dan Kulit Pisang*. Jurnal Integrasi Proses , 75-80.
- Yulianto, Agung., Zaman, Barus., Purwono.(2017). *Pengaruh Penambahan Pupuk Organik Kotoran Sapi Terhadap Kualitas Kompos Dari Sampah Daun Kering di TPST Undip*. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 6, No. 3.
- Yuan, H. dan He, Z., 2015. *Graphene-Modified Electrodes For Enhancing The Performance of Microbial Fuel Cells*. Nanoscale, 7(16), pp.7022-7029.