



Peningkatan Produksi Biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dengan Fluidisasi Media Zeolit Termodifikasi pada Sistem *Batch*

Firda Mahira Alfiata Chusna^{1*}, Melly Mellyanawaty^{2,3}, Estin Nofiyanti³

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan Kampus IV, Jl Ringroad Selatan Bantul Yogyakarta 55191

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Jl Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55281
Jl Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55281

³Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya Jl. Tamansari km. 2,5, Mulyasari Tasikmalaya 4616,

*Alamat korespondensi: firda.chusna@che.uad.ac.id

([Submisi](#): 16 Mei 2020; [Revisi](#): 13 Juni 2020; [Penerimaan](#): 14 Juni 2020)

ABSTRACT

The production of crude palm oil (CPO) in Indonesia tends to increase over time. Palm oil mill effluent (POME) is the wastewater generated from the palm oil mill process with high organic content. POME is a potential source for anaerobic digestion due to its high organic content. The challenge of POME treatment using an anaerobic process is to enhance biogas production with high soluble chemical oxygen demand (sCOD) removal efficiency. The purpose of this study was to evaluate the effect of selected trace elements addition onto zeolite as immobilization media to the anaerobic digestion of POME in a fluidized batch system. Natural zeolite was used as the medium to immobilize microorganisms in an anaerobic fluidized bed reactor (AFBR). This study used three trace elements impregnated to natural zeolites, i.e. Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} . The result shows that Ni^{2+} and Zn^{2+} improve the methanogenesis process, prevent the accumulation of VFA as an intermediate product and increase the methane (biogas) production. Meanwhile, Mg^{2+} only reduced sCOD significantly but it did not affect methane production. Fluidization enhanced the performance of the POME anaerobic digestion process. The fluidization provide a positive effect to enhance biogas production and sCOD removal. The efficiency of sCOD removal in the entire reactors were 80.82%; 81.77%; 75.89% for AFBR-Ni; AFBR-Zn and AFBR-control respectively. The total volume of methane produced by the three AFBR were 163,04; 136,42; 62,79 (in ml CH_4 / g sCOD) for AFBR-Ni; AFBR-Zn and AFBR-control, respectively.

Keywords: *anaerobic digestion; biogas; fluidized bed reactor; zeolite; palm oil mill effluent*

ABSTRAK

Produksi *crude palm oil* (CPO) di Indonesia cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu. *Palm oil mill effluent* (POME) adalah air limbah yang dihasilkan dari proses penggilingan kelapa sawit dengan kandungan organik yang tinggi. Tantangan dalam mengolah POME menggunakan proses peruraian anaerobik adalah untuk meningkatkan produksi biogas dengan efisiensi penurunan *soluble chemical oxygen demand* (sCOD) yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh penambahan *trace element* terseleksi pada media imobilisasi zeolit terhadap proses peruraian anaerobik limbah POME dengan sistem *batch* terfluidisasi. Zeolit alam berperan sebagai media imobilisasi mikroorganisme dalam *anaerobic fluidized bed reactor* (AFBR). Penelitian ini menggunakan tiga *trace element* yang diimpregnasikan pada zeolit alam yaitu Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} . Hasil penelitian menunjukkan bahwa Ni^{2+} dan Zn^{2+} sebagai *trace element* dapat meningkatkan proses metanogenesis dan mencegah akumulasi VFA sebagai produk antara serta meningkatkan produksi gas metana (biogas). Mg^{2+} sebagai *trace element* menurunkan sCOD dengan cukup signifikan namun tidak diimbangi dengan banyaknya metana yang dihasilkan. Fluidisasi meningkatkan performa dari proses peruraian anaerobik POME. Proses fluidisasi memberi pengaruh positif dalam meningkatkan produksi biogas dan *soluble chemical oxygen demand* (sCOD) *removal*. Nilai sCOD *removal* yaitu 80,82%; 81,77%; 75,89% berturut-turut untuk AFBR-Ni; AFBR-Zn dan AFBR-kontrol. Total volume metana yang dihasilkan oleh ketiga AFBR yaitu 163,04; 136,42; 62,79 (dalam ml CH_4 / g sCOD) berturut-turut untuk AFBR-Ni; AFBR-Zn dan AFBR-kontrol.

Kata kunci: biogas; *fluidized bed reactor*; limbah minyak kelapa sawit; peruraian anaerobik; zeolit

1. Pendahuluan

Menurut Direktur Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian, pada tahun 2018 produksi *crude palm oil* (CPO) di Indonesia mencapai 41,67 juta ton. Produksi yang terus meningkat juga membutuhkan penanganan terhadap limbah yang dihasilkan. *Palm oil mill effluent* (POME) merupakan limbah yang banyak dihasilkan pada saat proses penggilingan kelapa sawit (Sumathi dkk., 2008). Limbah ini mengandung 95% air, lemak dan material organik yang lain (Ahmad dkk., 2005), sehingga apabila tidak diolah dengan baik akan menyebabkan polusi dan permasalahan pada lingkungan. Pengolahan POME menggunakan proses peruraian anaerobik telah banyak dilakukan (Borja dan Banks, 1994) dan terdapat

beberapa tantangan dalam mengolah limbah menggunakan proses ini, salah satunya adalah produksi biogas yang sedikit dan kualitas limbah pasca pengolahan. Proses peruraian anaerobik merupakan proses pengolahan yang melibatkan mikroorganisme tanpa adanya oksigen (Poh dan Chong, 2009). Hasil dari proses anaerobik adalah biogas dengan kandungan 65% metana dan 35% CO_2 (Ohimain dkk., 2014).

Pada proses peruraian anaerobik, material organik yang terukur sebagai *chemical oxygen demand* (COD) diurai oleh mikroorganisme anaerob menjadi biogas. Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang sedang dikembangkan untuk mengatasi ketersediaan energi fosil yang menipis (Deublein, 2008). Material organik

dalam POME yang terukur sebagai COD dikonversi oleh mikroorganisme asidogenik menjadi produk antara yaitu *volatile fatty acid* (VFA), kemudian VFA tersebut akan dikonversi menjadi gas metana oleh mikroorganisme metanogenik (Azis dkk., 2018).

Salah satu cara mengoptimalkan produksi biogas adalah mempercepat pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam proses peruraian anaerobik. Imobilisasi mikroorganisme adalah salah satu upaya perlindungan terhadap mikroorganisme serta memberikan tempat yang kondusif untuk tumbuh dan berkembang dengan menempel pada media imobilisasi. Salah satu media berpori yang kerap digunakan sebagai media imobilisasi adalah zeolit. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menguji performa zeolit sebagai media imobilisasi mikroorganisme. Berdasarkan penelitian sebelumnya, keberadaan zeolit dalam proses peruraian anaerobik dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu, zeolit juga mudah diperoleh. Zeolit dipilih sebagai media imobilisasi mikroorganisme karena kemampuannya sebagai penukar ion yang dapat membantu proses peruraian anaerobik, khususnya pada substrat dengan kandungan nitrogen yang cukup tinggi (Montalvo dkk., 2012).

Beberapa faktor mempengaruhi kinerja mikroorganisme dalam proses peruraian anaerobik. Salah satu faktor adalah penambahan mikronutrien sebagai *trace element*. *Trace element* yang umum digunakan dalam proses peruraian anaerobik adalah Ni^{2+} , Co^{2+} , Mo^{2+} dan Se (Facchin dkk., 2013; Zandvoort dkk., 2006). Kation-kation tersebut mempengaruhi pembentukan

metana pada proses metanogenesis. Proses metanogenesis merupakan proses yang membutuhkan kondisi anaerob secara obligat dan keberadaan *trace element* dapat membantu dalam tahap ini, sedangkan proses hidrolisis dan asidogenesis tidak memerlukan penambahan *trace element* secara khusus (Deublein, 2008). Pengaruh *trace element* dalam meningkatkan produksi biogas juga telah dibuktikan oleh Facchin dkk. (2013) dan Purnomo dkk. (2017).

Anaerobic fluidized bed reactor (AFBR) merupakan reaktor yang ideal untuk proses peruraian anaerobik, khususnya proses dengan penambahan media imobilisasi. Dalam reaktor ini substrat dan inokulum tercampur dengan baik. Selain itu, keberadaan media imobilisasi yang terfluidisasi juga menunjang proses untuk menghasilkan gas metana dibandingkan dengan tanpa fluidisasi. Adanya fluidisasi dapat menambah luas kontak antara mikroorganisme dan zeolit sebagai media imobilisasi.

Kandungan *trace element* di dalam masing-masing reaktor harus dijaga agar tidak melebihi batas yang menyebabkan penghambatan aktivitas mikroorganisme pada proses peruraian anaerobik. Tabel 1 menunjukkan jumlah masing-masing *trace element* yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam proses peruraian anaerobik.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh penambahan *trace element* pada zeolit sebagai media imobilisasi dalam proses peruraian anaerobik limbah POME dengan sistem *batch* terfluidisasi. Selain itu, juga dipelajari pengaruh fluidisasi media imobilisasi terhadap pembentukan biogas.

Tabel 1. Jumlah *trace element* yang dibutuhkan oleh mikroorganismes dalam proses peruraian anaerobik

<i>Trace Element</i>	Nilai (mg/L)	Batas (mg/L)
Ni	0,05	0,005-0,5
Zn	0,06	< 5
Mg	0,06	-

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif cara untuk meningkatkan produksi biogas pada proses peruraian anaerobik. Penggunaan media imobilisasi berbasis zeolit termodifikasi dimaksudkan agar diperoleh media yang sehemat mungkin, karena zeolit merupakan sumber alam di Indonesia yang murah dan mudah didapat.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah POME yang diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara VII (PTPN VII), Lampung. Karakteristik POME disajikan dalam Tabel 2. Inokulum yang digunakan berupa efluen dari digester anaerobik yang digunakan untuk mengolah limbah biodiesel dari industri biodiesel di daerah Jawa Timur.

Tabel 2. Karakteristik *Palm Oil Mill Effluent*

Parameter	Nilai	Satuan
pH	3,97	-
sCOD	12.000	mg/L
Protein	0,73	%
Lemak	1,40	%
Total gula	0,20	%
Abu	0,40	%
Air	95,52	%

Media imobilisasi mikroorganismes dalam penelitian ini berupa zeolit alam yang berasal dari Tasikmalaya, dengan ukuran rata-rata sekitar 2-2,38 mm. *Trace element* yang

digunakan berupa kation Ni^{2+} , Zn^{2+} , dan Mg^{2+} . Larutan yang digunakan untuk impregnasi adalah Ni_2SO_4 p.a. (Merck), ZnSO_4 p.a. (Emsure), MgSO_4 p.a. (Merck). Pembuatan media imobilisasi yang ditambahkan dengan *trace element* dilakukan dengan cara impregnasi ke dalam zeolit. Sebelum dilakukan impregnasi, zeolit terlebih dulu dihomionkan dengan cara direndam di dalam larutan NaCl. Setelah itu zeolit dicuci menggunakan aquabidestilata lalu dilakukan impregnasi. Masing-masing reagen *trace element* dilarutkan dalam aquabidestilata dengan konsentrasi 200 ppm. Impregnasi dilakukan mengikuti metode yang telah dipublikasikan oleh Mellyanawaty dkk. (2018).

Kandungan Ni^{2+} , Zn^{2+} dan Mg^{2+} yang terimpregnasi pada zeolit dianalisis menggunakan *Inductively Coupled Plasma* (ICP). Hasil ICP terhadap zeolit disajikan pada Tabel 3. Jumlah kandungan Ni^{2+} pada zeolit-Ni adalah 0,05 mg/L. Jumlah ini memenuhi kriteria yang dibutuhkan oleh mikroorganismes yaitu antara 0,005 hingga 0,5 mg/L (Irvan dkk., 2018). Kandungan Zn^{2+} dan Mg^{2+} pada zeolit-Zn dan zeolit-Mg memiliki jumlah yang sama yaitu 0,06 mg/L. Jumlah ini juga tidak melebihi batas maksimal kebutuhan mikroorganismes yaitu kurang dari 5 mg/L (Deublein, 2018). Namun untuk Mg^{2+} belum ditemukan kadar yang diperlukan oleh mikroorganismes. Rasio jumlah zeolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah 17 g/g sCOD (Setyowati dkk., 2016).

Tabel 3. Kandungan Ni, Zn, dan Mg dalam zeolit setelah impregnasi

Sampel	(mg kation/kg zeolit)	(mg kation/L cairan)
Zeolit – Ni	2,68 ± 0,30	0,05
Zeolit – Zn	3,46 ± 0,18	0,06
Zeolit - Mg	3,51 ± 0,12	0,06

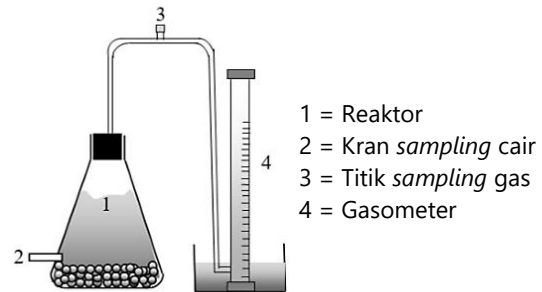
Bahan-bahan yang digunakan sebagai pendukung beberapa analisis antara lain adalah NaCl p.a (Merck), H₂SO₄ 95-97% p.a (Merck), HCl 37-38% p.a. (Merck), NaOH pellet p.a. (Merck), AgSO₄ p.a. (Merck), HgSO₄ p.a. (EMSURE), K₂Cr₂O₇ p.a. (Merck), K₂Cr₂O₇ p.a. (EMSURE). Bahan-bahan tersebut digunakan untuk analisis sCOD dan VFA.

2.2 Cara Penelitian

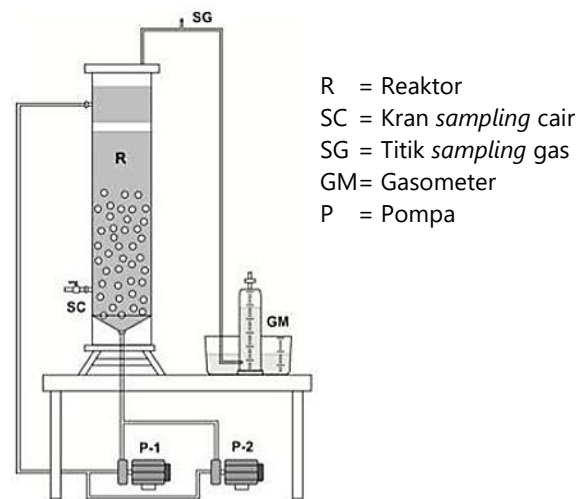
Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap eksperimen untuk mengevaluasi *trace element* yang ditambahkan ke dalam media imobilisasi zeolit. Pada tahap pertama digunakan reaktor tanpa fluidisasi (Gambar 1) untuk proses pemilihan beberapa *trace element* yang memberi pengaruh positif dalam proses peruraian anaerobik POME. *Trace element* yang akan diseleksi adalah kation Ni²⁺, Mg²⁺ dan Zn²⁺. Pada tahap kedua, dua *trace element* yang memberi pengaruh lebih baik dalam peruraian anaerobik POME pada tahap sebelumnya, diaplikasikan pada reaktor media terfluidisasi atau AFBR (Gambar 2). Kedua tahap dilakukan dalam kondisi *batch* dan dibandingkan terhadap reaktor kontrol yaitu reaktor dengan zeolit alam tanpa impregnasi *trace element* (R-Kontrol dan AFBR-Kontrol).

Erlenmeyer 1000 ml digunakan sebagai reaktor tanpa fluidisasi yang dihubungkan dengan gasometer. Gasometer berfungsi untuk mengukur volume gas yang dihasilkan.

Pada reaktor AFBR dilengkapi dengan pompa untuk menyirkulasi substrat dan memberi efek fluidisasi pada zeolit. AFBR juga dihubungkan dengan gasometer sebagai pengukur volume gas.



Gambar 1. Rangkaian reaktor tanpa fluidisasi



Gambar 2. Rangkaian Anaerobic Fluidized Bed Reactor

Substrat POME pada eksperimen ini merupakan hasil pengenceran yang dikondisikan pada konsentrasi 5500 mg/L sCOD. Cairan POME dan efluen digester aktif dimasukkan ke dalam reaktor yang telah diisi zeolit. Perbandingan substrat POME dan efluen digester aktif adalah 3:1 (rasio volume). *Flushing* gas nitrogen ke dalam reaktor pada awal proses dilakukan untuk membuat kondisi di dalam reaktor menjadi anaerob. Pengamatan yang dilakukan yaitu volume gas dengan metode pengukuran oleh Walker (2009), analisis kadar sCOD, VFA, serta kadar metana setiap 4 hari sekali.

Penelitian ini menggunakan 7 buah reaktor yaitu 4 reaktor tanpa fluidisasi dan 3 reaktor dengan fluidisasi. Penamaan reaktor disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penamaan Reaktor

Nama Reaktor	Media Imobilisasi Mikroorganisme	Proses
R-Kontrol	Zeolit alam	Batch tanpa fluidisasi
R-Ni	Zeolit alam termodifikasi Ni	Batch tanpa fluidisasi
R-Zn	Zeolit alam termodifikasi Zn	Batch tanpa fluidisasi
R-Mg	Zeolit alam termodifikasi Mg	Batch tanpa fluidisasi
AFBR-Kontrol	Zeolit alam	Batch dengan fluidisasi
AFBR-Ni	Zeolit alam termodifikasi Ni	Batch dengan fluidisasi
AFBR-Zn	Zeolit alam termodifikasi Zn	Batch dengan fluidisasi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Seleksi Trace Element untuk Proses Peruraian Anaerobik POME

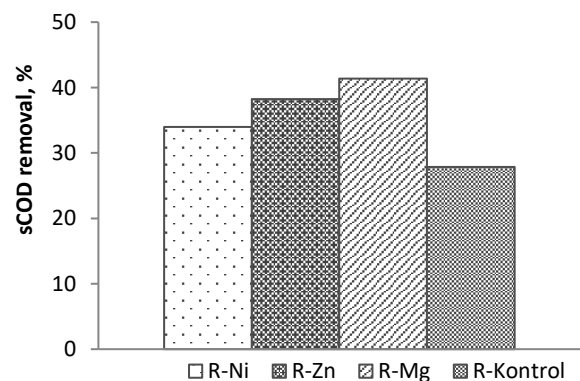
Penelitian pada tahap ini menggunakan 4 buah reaktor tanpa fluidisasi yaitu R-Kontrol, R-Ni, R-Zn dan R-Mg. Data penelitian berupa nilai sCOD, VFA dan gas metana pada R-K, R-Ni dan R-Zn telah dilaporkan oleh Mellyanawaty dkk. (2019).

Efisiensi penurunan sCOD total dari masing-masing reaktor hingga hari ke-30 ditampilkan dalam Gambar 3, yaitu sebesar 27,87%; 33,96%; 38,22%; 41,38%; untuk R-Kontrol, R-Ni; R-Zn; dan R-Mg. Untuk reaktor dengan kation Ni^{2+} dan Mg^{2+} diperoleh hasil 50–60% lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Mellyanawaty dkk., 2018). Hal ini disebabkan oleh perbedaan kadar *trace element* yang

digunakan. Mellyanawaty dkk (2018) menggunakan jumlah *trace element* dengan jumlah yang lebih besar.

Kadar metana yang dihasilkan pada R-Ni, R-Zn, R-Mg dan R-Kontrol berturut-turut adalah 30,57%; 21,08%; 15,86%; dan 5,47%. Kadar metana yang rendah ini diduga karena substrat dan inokulum di dalam reaktor tidak tercampur dengan baik (Abbas dkk, 2011). Rendahnya kadar metana dalam R-Kontrol juga membuktikan bahwa proses metanogenesis kurang berjalan dengan baik tanpa adanya penambahan *trace element*.

Gambar 3 menunjukkan penurunan sCOD dari R-Mg mempunyai nilai yang tertinggi namun tidak diikuti dengan jumlah gas metana yang dihasilkan. Terdapat indikasi bahwa keberadaan Mg^{2+} sebagai *trace element* menstimulai degradasi sCOD yang berupa asam lemak. POME mengandung asam lemak rantai panjang (*long chain fatty acid/ LCFA*) sebagai hasil dari proses hidrolisis lemak. Mikroorganisme asidogenesis memerlukan waktu lebih lama untuk mengurai LCFA menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek (VFA) agar dapat dikonversi menjadi metana. Hal ini mengonfirmasi yang telah dipaparkan oleh Deublein (2008) bahwa Mg^{2+} mempunyai pengaruh terhadap asam lemak.



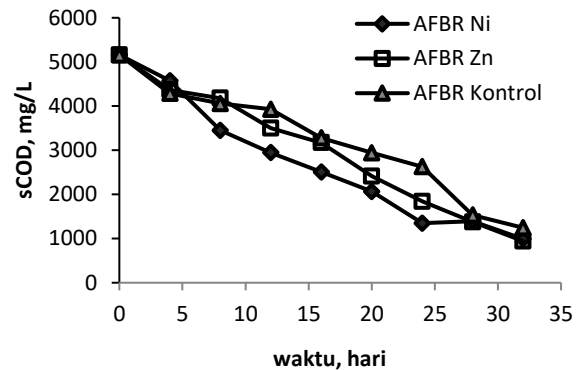
Gambar 3. Efisiensi penurunan sCOD pada reaktor tanpa fluidisasi

Apabila performa empat reaktor tersebut dibandingkan, R-Ni dan R-Zn mempunyai performa yang lebih baik dibandingkan dengan R-Mg dan R-K. Hal ini dibuktikan dari kadar metana tertinggi yang dicapai dan penurunan sCOD. Keberadaan *trace element* Ni dan Zn berpengaruh secara signifikan pada proses metanogenesis (Irvan dkk., 2018). Dengan demikian selanjutnya dua *trace element* terseleksi (Ni^{2+} dan Zn^{2+}) diaplikasikan pada reaktor AFBR untuk mengetahui pengaruh fluidisasi terhadap proses peruraian anaerobik dan produksi metana.

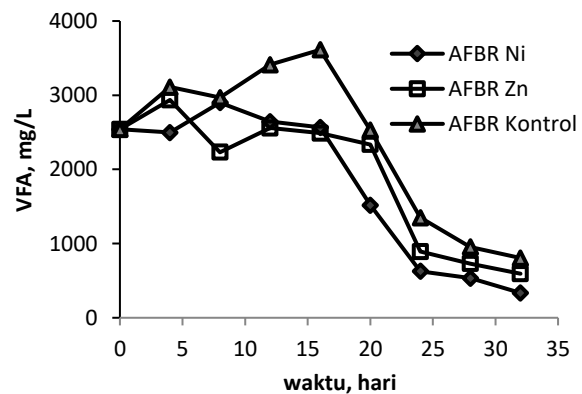
3.2 Reaktor Fluidisasi/ AFBR

Tiga reaktor digunakan pada tahap ini yaitu AFBR-Ni, AFBR-Zn dan AFBR-Kontrol yang dijalankan secara duplo dengan proses *batch*. Profil konsentrasi sCOD, VFA dan metana yang disajikan pada Gambar 4, 5 dan 6 merupakan data rerata dari dua kali percobaan. Profil konsentrasi sCOD pada AFBR-Ni, AFBR-Zn dan AFBR-Kontrol pada Gambar 7 menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Penurunan sCOD pada AFBR Ni lebih banyak pada hari ke-8 hingga hari ke-24 apabila dibandingkan dengan AFBR Zn dan AFBR kontrol. Penurunan sCOD pada AFBR Zn relatif lebih stabil apabila dibandingkan dengan AFBR kontrol. Gambar 7 menunjukkan perbandingan efisiensi penurunan sCOD (*sCOD removal*) dari reaktor tanpa fluidisasi dan AFBR. Nilai penurunan sCOD dari ketiga reaktor fluidisasi adalah 80,82%; 81,77%; 75,89% berturut-turut untuk AFBR-Ni, AFBR-Zn dan AFBR-Kontrol. Dibandingkan dengan reaktor tanpa fluidisasi (Gambar 3), efisiensi penurunan sCOD dari AFBR menunjukkan hasil yang lebih tinggi sehingga dapat

disimpulkan bawah fluidisasi memberikan efek positif pada *sCOD removal* (Chusna dkk., 2018).



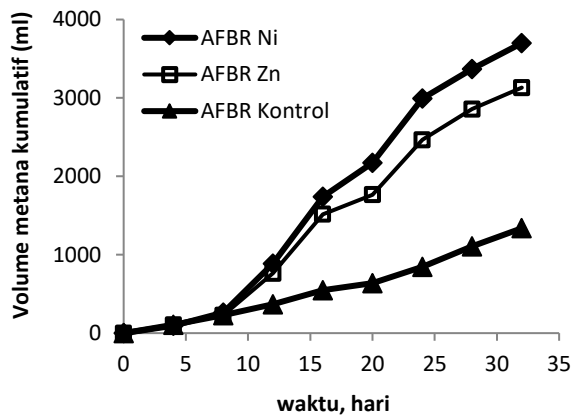
Gambar 4. Profil konsentrasi sCOD pada AFBR



Gambar 5. Profil konsentrasi VFA pada AFBR

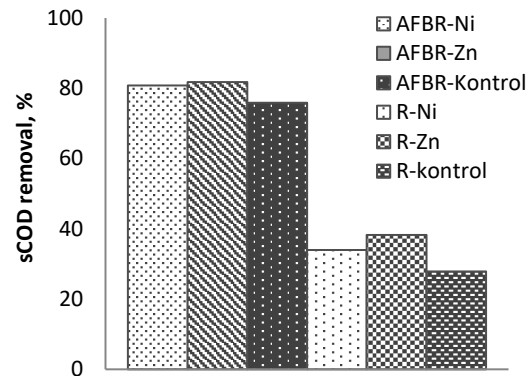
Profil konsentrasi VFA pada AFBR disajikan pada Gambar 5. Profil konsentrasi VFA pada semua reaktor fluidisasi cenderung naik di awal proses dan mengalami penurunan di akhir proses. Kenaikan VFA mengindikasikan adanya akumulasi VFA dalam proses. Akumulasi VFA dapat disebabkan oleh adaptasi mikroorganisme pada saat awal proses sehingga mikroorganisme khususnya mikroorganisme metanogenesis belum dapat mengonversi VFA dengan baik. Pada hari ke-20 terlihat penurunan tajam konsentrasi VFA pada ketiga reaktor, meskipun pada saat awal proses hingga pertengahan proses

akumulasi VFA pada AFBR-kontrol cukup tinggi, yaitu pada hari ke-16 dengan konsentrasi 3.612 mg/L. Secara umum profil VFA pada ketiga reaktor AFBR tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Namun terdapat perbedaan signifikan pada hasil metana AFBR-Ni dan AFBR-Zn dibandingkan dengan AFBR-kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan *trace element* dalam media imobilisasi dapat membantu aktivitas mikroorganisme metanogenesis sehingga dapat mengonversi VFA menjadi gas metana dengan baik.

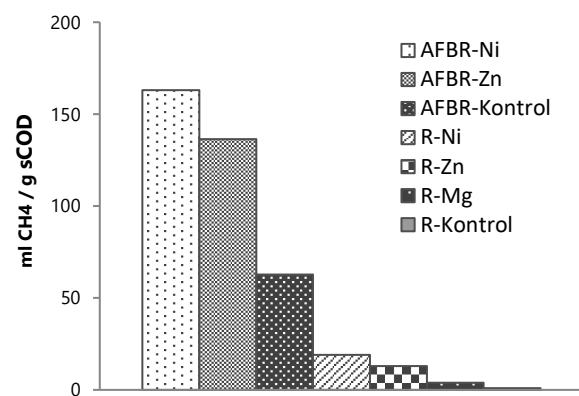


Gambar 6. Profil volume metana kumulatif pada AFBR

Efek fluidisasi terlihat dari Gambar 7 dan Gambar 8, yang menunjukkan bahwa adanya fluidisasi dapat meningkatkan efisiensi penurunan sCOD dan produksi metana secara signifikan. Nilai teoretis produksi metana dari proses peruraian anaerobik POME berkisar pada 300 ml CH₄/g sCOD, sedangkan nilai yang didapatkan pada penelitian ini adalah 163,04 (AFBR-Ni); 136,42 (AFBR-Zn) dan 62,79 (AFBR-Kontrol) (ml CH₄/g sCOD). Apabila dibandingkan dengan produksi gas metana pada reaktor tanpa fluidisasi maka terlihat jelas bahwa fluidisasi mempunyai peran dalam meningkatkan produksi gas metana (Gambar 8).



Gambar 7. Efisiensi penurunan sCOD pada AFBR dan reaktor tanpa fluidisasi



Gambar 8. Perbandingan produksi gas metana pada AFBR dan reaktor tanpa fluidisasi

Konsentrasi VFA pada AFBR-Ni dan AFBR-Zn yang relatif stabil pada awal proses menghasilkan gas metana yang cukup banyak. Pada saat akhir proses, konsentrasi VFA mengalami penurunan, VFA tersebut terkonversi menjadi gas metana. Pengaruh *trace element* juga terlihat dari jumlah gas metana yang dihasilkan dari AFBR-Ni dan AFBR-Zn yang lebih banyak dibanding dengan AFBR-kontrol, seperti yang ditampilkan pada Gambar 6. Jumlah total gas metana yang dihasilkan AFBR-Ni, AFBR-Zn dan AFBR-kontrol adalah 3699,28; 3131,63; dan 1337,89 ml CH₄. Produksi gas metana ini lebih tinggi dari penelitian sejenis (Aziz dan Hanafiah, 2018). Jumlah gas metana yang dihasilkan oleh AFBR-Ni 2,8 kali lipat dari AFBR-kontrol. Akan tetapi apabila ditinjau

dari kadar gas metana yang dihasilkan, ketiga AFBR tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Kadar metana AFBR Ni dan AFBR Kontrol yang tertinggi adalah 59% sedangkan AFBR Zn 56%.

4. Kesimpulan

Di antara tiga jenis *trace element* yang diseleksi dengan sistem *batch* tanpa fluidisasi, reaktor dengan tambahan Ni^{2+} dan Zn^{2+} memiliki performa yang lebih baik dibandingkan reaktor dengan penambahan Mg^{2+} . Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya biogas yang dihasilkan pada reaktor dengan tambahan Ni^{2+} dan Zn^{2+} . Fluidisasi dapat meningkatkan volume gas metana yang dihasilkan, yaitu 8,5-10,6 kali dibandingkan reaktor tanpa fluidisasi, pada reaktor dengan media imobilisasi yang ditambahkan *trace element* Ni^{2+} dan Zn^{2+} . Selain itu fluidisasi juga meningkatkan efisiensi penurunan sCOD sebesar 2,1 – 2,7 kali dibandingkan dengan reaktor tanpa fluidisasi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (KEMENRISTEKDIKTI) pada skema Penelitian Kerja Sama Antar Perguruan Tinggi (PKPT) tahun pelaksanaan 2018. Terima kasih disampaikan kepada Wiratni Budhijanto, Departemen Teknik Kimia FT UGM atas diskusi yang bermanfaat dalam menjalankan penelitian.

Daftar Pustaka

Abass, O., Alade., Ahmad, T., Jameel., Suleyman, A., Muyibi., Mohamed, I., Abdul Karim and Md. Zahangir Alam., 2011, Application of semifluidized bed

bioreactor as novel bioreactor system for the treatment of palm oil mill effluent (POME), *Afr. J. Biotechnol.*, 10(81), 18642-18648.

Ahmad, A.L., Sumathi, S., and Hameed, B.H., 2005, Adsorption of residue oil from palm oil mill effluent using powder and flake chitosan: equilibrium and kinetic studies, *Water Res.*, 39, 2483-2494.

Borja, R., and Banks, C. J., 1994, Treatment of palm oil mill effluent by upflow anaerobic filtration, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 61(2), 103-109.

Chernicaró, C. A. L., 2007, *Biological Wastewater Treatment Series : Anaerobic Reactors*, IWA publishing, London.

Chusna, F.M.A., Mellyanawaty, M., Cahyono, R.B., and Budhijanto, W., 2018, Cation modification of zeolite as microbial immobilization media in anaerobic digestion process of palm oil mill effluent (POME), *Proceeding of SEATUC*, pp. 616-621.

Deublein, D., 2008, *Biogas from Waste and Renewable Resources*, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA., Germany.

Facchin, V., Cavinato, C., Fatone, F., Pavan, P., Cecchi, F., and Bolzonella, D., 2013. Effect of trace element supplementation on the mesophilic anaerobic digestion of foodwaste in batch trials : The influence of inoculum origin, *Biochem. Eng. J.*, 70, 71-77.

Irvan, B., Batubara, F., and Daimon, H., 2018, The minimum requirements for nickel and cobalt as trace metals in thermophilic biogas fermentation of palm oil mill effluents, *Oriental J. Chem.*, 34 (3), 1278-1282.

Izzah, N., Aziz, H. A., and Hanafiah, M. M., 2018, Test anaerobic digestion of palm oil

- mill effluent (POME) using bio-methane potential (BMP) test, AIP Conference Proceedings, 1940.
- Lee, D., Lee, S., Bae, J., Kang, J., Kim, K., Rhee, S., Park, J., Cho, J., Chung, J., Seo, D., 2015, Effect of volatile fatty acid concentration on anaerobic degradation rate from field anaerobic digestion facilities treating food waste leachate in South Korea., *Journal of Chemistry*, 2015, 1–8.
- Mellyanawaty, M., Chusna, F.M.A., Sudibyoy, H., Nurjanah, N. and Budhijanto, W., 2018, Influence of nutrient impregnated into zeolite addition on anaerobic digestion of palm oil mill effluent (POME), *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 316 (1).
- Mellyanawaty, M., Chusna, F.M.A., Nofiyanti, E. and Budhijanto, W., 2019, proses peruraian anaerobik palm oil mill effluent dengan media zeolit termodifikasi, *Jurnal Rekayasa Proses*, 13 (1), 16–23.
- Montalvo, S., Guerrero, L., Borja, R., Sánchez, E., Milán, Z., Cortés, I., and De, M. A., 2012, Applied Clay Science Application of natural zeolites in anaerobic digestion processes: A review. *Appl. Clay Sci.*, 58, 125–133.
- Azis, M., Sudibyoy, H., and Budhijanto W., 2018, Modeling lab-sized anaerobic fluidized bed reactor (AFBR) for palm oil mill effluent (POME) treatment: from batch to continuous reactors, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 316, 012072.
- Ohimain, E.I., and Izah, S.C., 2014, Potential of biogas production from palm oil mills' effluent in Nigeria. *Sky J. Soil. Sci. Environ. Manag.*, 3(5), 50–58.
- Poh, P.E., and Chong, M.F., 2009, Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment, *Bioresour. Technol.*, 100, 1–9.
- Purnomo, C.W., Mellyanawaty, M. and Budhijanto, W., 2017, Simulation and experimental study on iron impregnated microbial immobilization in zeolite for production of biogas, *Waste and Biomass Valorization*, 8 (7), 2413–2421.
- Setyowati, P.A.H., Halim, L., Mellyanawaty, M., Sudibyoy, H., and Budhijanto, W., 2017, Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in batch reactor with digested biodiesel waste as starter and natural zeolite for microbial immobilization, *AIP Conference Proceedings*, 1840.
- Sumathi, S., Chai, S. P., and Mohamed, A. R., 2008, Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia, *Renewable and Sustainable Energy Rev.*, 12(9), 2404–2421.
- Walker, M., Zhang, Y., Heaven, S., and Banks, C., 2009, Potential errors in the quantitative evaluation of biogas production in anaerobic digestion processes, *Bioresour. Technol.*, 100, 6339–6346.
- Zandvoort, M.H., and Van Hullebusch, E.D., 2006, Granular sludge in full scale anaerobic bioreactor : trace element content and deficiency, *Enzyme Microb. Technol.*, 39(2), 337–346.