**PENAMBAHAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK MENINGATKAN PRODUKSI BIOGAS PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH SECARA ANAEROBIK**

***ADDITION OF EMPTY FRUIT BUNCHES FOR ENHANCEMENT OF BIOGAS PRDUCTION IN ANAEROBIC WASTEWATER TREATMENT***

Abdul Kahara, \* Ira Aisyab dan Waya Wulan Sarib

a PS Teknik Kimia Teknik, b PS Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman

Kampus Gunung Kelua Jl. Sambaliung No.9, Samarinda – 75119

\* *Email:* [kahar.abdul@gmail.com](mailto:kahar.abdul@gmail.com)

**Abstrak**

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan tandan kosong kelapa sawit pada reaktor anaerobik terhadap produksi biogas limbah cair kelapa sawit. Bahan penelitian berupa limbah cair kelapa sawit, kotoran sapi dan variasi penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) 1%, 3% dan 5% dengan 2 kali ulangan dan waktu fermentasi selama 70 hari. Percobaan dilakukan dengan sistem batch dalam reaktor anaerobic, pada temperatur psychrophilic (27°C) dan temperatur. Mesophilic (37°C) dan kapasitas reaktor adalah 300 mL, dengan volume campuran sebanyak 210 mL yang berisi: a) LCKS, dan b) LCKS dengan tambahan kotoran sapi dengan rasio 1:2 (v/v). Reaktor anaerobik terhubung ke penampung untuk menghitung produksi biogas, yang diamati setiap hari selama 50 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biogas tertinggi adalah pada limbah cair kelapa sawit, kotoran sapi, TKKS 5% sebesar 872,5 mL. Penambahan TKKS memberikan pengaruh terhadap produksi biogas limbah cair kelapa sawit pada hari ke 1-24. Penambahan TKKS yang optimal yaitu pada penambahan TKKS 5 %. Hasil penelitian menunjukkan produksi biogas pada temperatur mesophilic lebih besar daripada produksi biogas pada temperatur psychrophilic.

Kata kunci : Anaerobik, Biogas, Limbah Cair Kelapa Sawit

***Abstract***

*The objective of research is to know the effect of empty fruit bunches in anaerobic reactor of palm oil mill effluent (POME) of biogas production. Research materials are this form of palm oil mill effluent, cows manure with a variation of Empty Fruit Bunches (EFB) addition of 1%, 3% and 5% with two replications and 70 days fermentation. The experiment was conducted in a batch system with the anaerobic reactor. It was conduct, at temperature psychrophilic (27°C) dan temperature mesophilic (37°C), with reactor capacity is 300 mL, and the volume of mixture is 210 mL which is contains: a) POME and b) POME with additional cow manure with the ratio of 1:2 (v/v). Anaerobic reactor was connected to the collector to calculate production of biogas. It was observed in every day during 50 days. The results showed that biogas production is highest in palm oil mill effluent, cow manure, EFB 5% is 872.5 mL. The addition of EFB give effect of palm oil mill effluent biobiogas production on days 1-24. The addition of empty fruit bunches which are optimal in the addition of 5 %. The results showed the biogas production at temperature mesophilic more hight than temperature psychrophilic.*

***Keywords****: Anaerobic, Biogas, Palm Oil Mill Effluent*

**1. PENDAHULUAN**

Biogas merupakan hasil fermentasi anaerobik bahan-bahan organik *biodegradable,* yang dilakukan oleh *methanogenesis bacteria*. Biogas terdiri dari campuran gas yang mudah terbakar seperti; metana (50 - 75%), CO2 (25 - 45%), serta sejumlah kecil H2, N2 dan H2S, O2, H2O (Mahajoeno *et al*., 2008).

Pengolahan anaerobik bahan organik merupakan suatu proses biokimia kompleks yang melibatkan banyak senyawa intermediet. Pengolahan anaerobik, pada dasarnya mengikuti tahapan; *hidrolisis*, *asidogenesis*, *asetogenesis* dan *metanogenesis*, dimana setiap tahap dikatalisis oleh enzim (Ziemiński and Frąc, 2012; Ahmad *et al*., 2011; Mahajoeno *et al*., 2008).

Pengolahan anaerobik dapat diaplikasikan secara luas untuk berbagai macam limbah dan sangat cocok untuk pengolah limbah yang mengandung karbon organik konsentrasi tinggi, termasuk air limbah dari kota, pertanian dan industri, kotoran hewan dan sisa-sisa tanaman, seperti limbah pabrik kelapa sawit (Setiadi et al., 1996; Borja *et al*., 1996a; Abdurahman *et al*., 2013), air limbah Rumah Pemotongan Hewan (Ruiz *et al*., 1997; Cuetos *et al*., 2008; Padilla dan Alberto., 2010), limbah cair pabrik (Van der *et al*., 1993), air limbah tekstil (Sugiyana, 2008), dan limbah makanan (Choi *et al*., 2003).

Temperatur sangat berpengaruh terhadap proses produksi biogas. Bioreaktor anaerobik dapat bekerja optimal antara temperatur 4 - 60°C. Menurut Choorit dan Wisarnwan (2007), bioreaktor anaerobik berlangsung optimum pada rentang temperatur psychrophilic (<30°C); mesophilic (30-37ºC) dan temperatur *thermophilic* (50-60ºC) (Lettinga, 1995; O’flaherty *et al*., 2010).

Perombakan limbah dapat berjalan lebih cepat pada penggunaan bakteri *thermophilic*. Temperatur yang tinggi dapat memacu perombakan bahan-bahan organik, perombakan yang cepat akan dimanfaatkan oleh bakteri *methanogenic* untuk menghasilkan gas metana, sehingga dapat meningkatkan produksi biogas (Santosh *et al*., 2004). Temperatur mempengaruhi jumlah oksigen yang berada pada suatu sistem anaerobik, semakin tinggi temperatur, maka reaksi juga akan semakin cepat tetapi bakteri akan semakin berkurang (Mahajoeno *et al*., 2008). Peningkatan temperatur sebesar 40ºC dapat menghasilkan 68,5 liter biogas (Mahajoeno *et al*., 2008).

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) mengandung kadar bahan organik yang tinggi, sehingga dapat dioleh secara anaerob untuk menghasilkan biogas (Najafpour *et al*., 2006; Mahajoeno et al., 2008). Efisiensi pengolahan secara anaerobik dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain; komposisi limbah, temperatur dan pH (Dinopoulou *et al*., 1988; Merlin *et al*., 2012).

Limbah cair pabrik kelapa sawit berasal dari kondensat, stasiun klarifikasi dan dari hidrosiklon. Pengolahan sebanyak 1.200 ton tandan buah segar akan diperoleh limbah cair sekitar 67 % atau 804 m3/hari. Komposisi utama limbah cair pabrik kelapa sawit antara lain 94-95% air, 0,6-0,7% minyak dan 4-5% padatan. Umumnya, limbah cair kelapa sawit berwarna coklat kental, yang menunjukkan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut mengandung asam-asam mineral atau asam organik yang tinggi (Ahmad *et al*., 2011; Mahajoeno *et al*., 2008; Najafpour *et al*., 2006; Stronach *et al*., 1986; Lay *et al*., 1998).

Limbah padat yang berasal dari proses pengolahan berupa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), cangkang atau tempurung, serabut atau serat, dan bungkil, namun pemanfaatannya masih terbatas. Limbah tersebut selama ini dibakar dan sebagian ditebar di lapangan sebagai mulsa (Santosh *et al*., 2004; Amirta *et al*., 2005). Oleh karena itu, limbah cair pabrik kelapa sawit dan TKKS, dapat dimanfaatkan sebagai substrat dalam pengolahan anaerobik. Karbohidrat dan minyak yang dikandungnya sangat potensial sebagai sumber energi (Hanaki *et al*., 1981; Angelidaki *et al*., 1997; Kim *et al*., 2006; Alves *et al*., 2009). Minyak yang terkandung dalam limbah cair merupakan trigliserida dan asam lemak bebas (ALB) rantai panjang, yang proses degradasi minyak dan lemak memerlukan tahapan reaksi dan waktu yang lebih panjang untuk memotong ikatan rantai panjang di bawah kondisi anaerobik (Noutsopoulos *et al*., 2012).

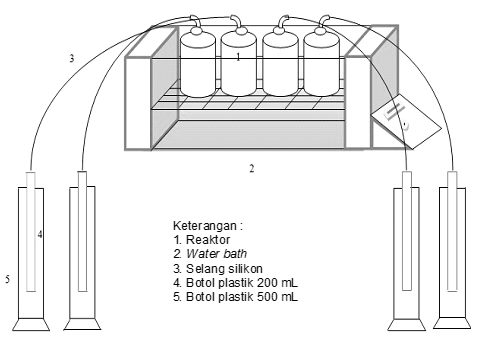
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) pada temperatur psychrophilic dan mesophilic, terhadap peningkatan produksi biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit pada reaktor anaerobik.

**2. METODA**

Reaktor dan prosedur penelitian yang digunakan merupakan modifikasi dari penelitian Amirta *et al*., 2005; seperti pada gambar 1. Penelitian dilakukan sebagai berikut; a) limbah cair kelapa sawit sebesar 210 mL dimasukkan kedalam 2 buah reaktor dengan volume 300 mL; b) kemudian limbah cair kelapa sawit 105 mL dan kotoran sapi 105 mL, dimasukkan kedalam 2 buah reaktor; c) selanjutnya, limbah cair kelapa sawit 105 mL, kotoran sapi 105 mL ditambahkan serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit masing-masing sebanyak 1%, 3% dan 5% dimasukkan ke dalam 6 buah reaktor dengan volume 300 mL.

Sehingga masing-masing reaktor 70% dari volumenya akan terisi larutan sampel, sedangkan sisanya 30% sebagai ruang udara. Masing-masing reaktor ditempatkan dalam *water bath* pada temperatur 27°C dan 37°C dengan waktu tingga 70 hari. Pengulangan dilakukan pada masing-masing temperatur.

Kemudian dimasukkan gas nitrogen kedalam masing-masing reaktor tersebut sehingga mendorong habis udara keluar dan ditutup rapat serta direkatkan lem dan parafilm. Masing-masing reaktor terhubung dengan selang silikon ke penampung biogas untuk menampung biogas yang dihasilkan berupa botol 200 mL. Agar tidak ada udara yang masuk kedalam botol tersebut maka di bawahnya diisi aquades yang ditambah NaCl pada botol 500 mL yang berfungsi mencegah timbulnya bakteri lain yang hidup di aquades dalam botol tersebut.



Gambar 1. Rangkaian peralatan reaktor anaerobik yang digunakan (modifikasi dari Amirta, 2005).

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Adapun karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) pada PTPN XIII Desa Samuntai, Kecamatan Long Ikis, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur, yang diperoleh dari bak penampungan limbah Kolam I adalah seperti terlihat pada Tabel 1, sedangkan karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit seperti terlihat pada Tabel 2.

Limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki konsentrasi BOD dan COD sangat tinggi bisa mencapai berturut-turut yaitu 10.191 dan 19.940 mg/L, yang mengindikasikan bahwa kandungan limbah cair pabrik kelapa sawit adalah bahan organik yang *biodegradable.* Dari hasil analisis LCPKS tersebut diperoleh Ratio BOD:COD = ± 0,5, ratio C/N = ± 40 dan ratio C:N:P = 100:2,5:0,45. Sehingga dilihat dari ratio bahwa limbah cair tersebut dapat diolah secara anaerobik. Penelitian menggunakan, kotoran kuda sebagai substrat untuk memproduksi biogas, dilaporkan dengan karakteristik mengandung bakteri pembentuk metan yang juga terdapat dalam tubuh hewan seperti kerbau, sapi, rusa, domba, kambing dan hewan lainnya.

Kotoran kuda mempunyai kandungan karbon dan nitrogen yang lebih tinggi daripada kandungan karbon dan nitrogen pada kotoran sapi yang merupakan sumber energi bagi mikroorganisme. Selain itu kotoran kuda memiliki prosentase kandungan sellulosa, hemisellulosa, fosfat dan kalium yang lebih tinggi dibandingkan kandungan pada kotoran sapi, kecuali kandungan lignin pada kotoran sapi lebih tinggi dibandingkan kandungan lignin pada kotoran kuda (Darmanto dkk, 20012).

Tabel 1. Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit PTPN XIII

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parameter** | **Satuan** | **Hasil Kolam I** |
| pH | - | 4,49 |
| BOD-5 | mg/L | 10.191,44 |
| COD | mg/L | 19.940 |
| Nitrogen | mg/L | 500,87 |
| Phosphor | mg/L | 89,77 |
| Pottassium | mg/L | 7.486,18 |
| Oil and Grease | mg/L | 9,78 |
| Nitrate | mg/L | 15,66 |
| TOC | mg/L | 11.431,60 |
| C/N Ratio | mg/L | 23,65 |

Tabel 2. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parameter** | **Satuan** | **Hasil** |
| N. Total | % | 1,96 |
| *Carbon* | % | 21,15 |
| P2O5 | % | 0,02 |

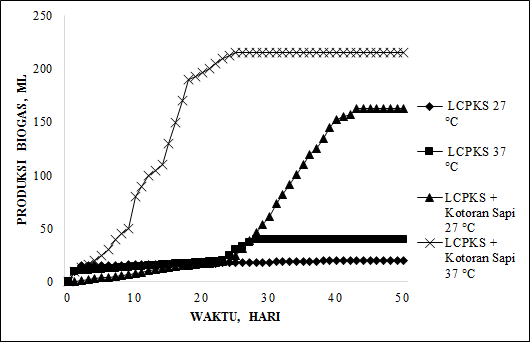
**Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Biogas**

Temperatur merupakan salah satu faktor yang menentukan kinerja reaktor dan untuk meningkatkan produksi biogas lebih optimal. Dengan temperatur yang stabil maka proses perombakan secara anaerobik akan berlangsung dengan baik. Penambahan temperatur pada limbah cair berpengaruh pada kecepatan suatu mikroorganisme untuk merombak beban organik yang berada didalam limbah, dan kemudian menghasilkan biogas. Pada awal proses fermentasi anaerobik, bakteri baru menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru, sehingga sel belum membelah diri. Sel mikrobia mulai membelah diri pada fase pertumbuhan yang dipercepat, tetapi waktu generasinya masih panjang. Fase permulaan sampai fase pertumbuhan dipercepat sering disebut *lag phase* (Darmanto dkk, 2012). Proses pembentukan gas *methan* bekerja optimum pada rentang temperatur 30-40°C, tapi dapat juga terjadi pada temperatur rendah, 4°C (Choorit ann Wisarnwan, 2007; Lettinga, 1995; O’flaherty *et al*., 2010; Merlin *et al*., 2012).

Dari gambar 2, hasil produksi biogas sampai hari ke 50. Pada LCPKS 27°C produksi biogasnya sebanyak 162,5 mL. Sedangkan produksi biogas LCPKS, Kotoran Sapi 27°C sebanyak 20 mL. Pada temperatur ruang, diasumsikan sumber makanan telah habis, dan menyebabkan produksi biogas jadi perlahan stabil.Pada limbah cair kelapa sawit terlihat bahwa peningkatan produksi biogas lebih kecil dari yang ditambahkan kotoran sapi*.* Hal ini dikarenakan, dengan ditambahkannya kotoran sapi sebagai perbandingan starter awal, proses perombakkan mikroorganisme pada beban organik terjadi lebih cepat dan waktu fermentasi berjalan lebih panjang. Temperatur psychrophilic (27°C) memerlukan waktu yang lebih lama, dibandingkan dengan pada temperatur mesophilic (37°C), hal ini disebabkan dalam fase permulaan temperatur, bakteri akan lebih lama untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru, sehingga sel belum membelah diri. Sel mikrobia mulai membelah diri pada fase pertumbuhan yang dipercepat, tetapi waktu generasinya masih panjang.

Penelitian tentang produksi biogas pada kondisi mesophilic 35°C dan thermophilic 55°C anaerob digester dengan menggunakan bahan uji berupa sampah organik, dengan waktu tinggal selama 35 hari, menunjukan bahwa produksi biogas pada kondisi thermophilic lebih tinggi dibandingkan dengan mesophilic, serta kandungan metana thermophilic lebih besar 2% dibandingkan pada kondisi mesophilic (Vindis dkk, 2009; Darmanto dkk, 2012).Penelitian menggunakan kotoran kuda sebagai substrat untuk menghasilkan biogas pada temperatur kondisi mesophilic (35°C) dan thermophilic (55°C), dengan perbandingan kotoran kuda dan air (1:2), menghasilkan prosentase kandungan gas metana (CH4) berturut-turut adalah 56,3% dan 59,8%. Sedangkan prosentasi gas CO2 pada kedua digester di akhir proses, berturut-turut adalah 32,8% dan 39%. Hal ini menunjukan bahwa kondisi temperatur thermophilic memiliki nilai kandungan yang lebih tinggi walaupun perbedaannya tidak terlalu besar (Darmanto dkk, 2012; Vindis, dkk, 2009).

Pada gambar 2, hasil produksi volume gas tertinggi Limbah Cair Kelapa Sawit pada suhu operasi 37◦C, yaitu sebanyak 215 mL. Dari hari awal proses, menghasilkan produksi gas yang beranjak meningkat sampai pada hari ke-25. Pada Limbah Cair Kelapa Sawit 37◦C, produksi biogas berjalan lebih cepat dibandingkan dengan Limbah Cair Kelapa Sawit pada 27◦C. Hal ini menunjukkan, bahwa pengaruh penambahan kotoran sapi tersebut memegang peranan pada perombakan mikroorganisme menghasilkan biogas dalam perombakan beban organik terbukti,kotoran sapi berfungsi sebagai starter untuk mempercepat proses perombakan pada fermentasi anaerobik sehingga waktu yang diperlukan lebih singkat. Peningkatan temperatur menyebabkan aktivitas enzim meningkat. Hal ini disebabkan oleh suhu yang makin tinggi akan meningkatkan energi kinetik, sehingga menambah intensitas tumbukan antara substrat dan enzim (Darmanto dkk., 2012)



Gambar 2. Hasil Produksi Biogas pada Temperatur psychrophilic dan mesophili

Waktu pengamatan selama 50 hari menunjukkan bahwa terjadi perbedaan yang besar pada saat kotoran sapi ditambahkan. Penambahan 50% kotoran sapi pada limbah cair kelapa sawit (1 : 2), berperan penting dalam peningkatan produksi biogas. Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat (Raunkjaer *et al.*, 1994; Chipasa *et al.*, 2006; Noutsopoulos dkk, 2012).

**Pengaruh Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Produksi Biogas**

Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit masih mengandung minyak yang akan kemudian dipecah menjadi senyawa penghasil biogas. Hubungan adanya bahan organik yang cukup tinggi (ditunjukkan dengan nilai COD dan BOD) menyebabkan mikroba menjadi aktif dan menguraikan bahan organik tersebut secara biologis menjadi senyawa asam–asam organik (Pavlostathis and Giraldo-Gomez, 1991b; Alves *et al*., 2009). Untuk menentukan pengolahan lanjut dari limbah dapat diketahui terlebih dahulu apakah air limbah yang diolah bersifat *biodegradable* (dapat diuraikan secara biologi). Rasio BOD/COD merupakan indikasi pertama dari kemampuan *biodegradable.* Rasio BOD/COD air limbah domestik yang berkisar

antara 0,5 - 0,6 menandakan bahwa air limbah tersebut dapat diolah secara biologis. Apabila

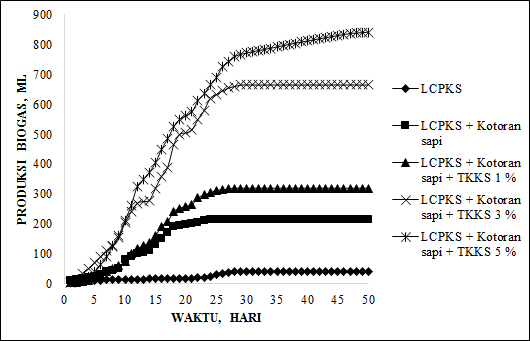
rasio BOD/COD mendekati 2 menunjukkan bahwa air limbah tersebut mengandung substansi yang bersifat toksik (Pavlostathis and Giraldo-Gomez, 1991; Alves *et al*., 2009). Perombakan senyawa organik secara anaerob akan menghasilkan biogas dengan komponen utamanya berupa gas *methane* dan karbon dioksida yang merupakan hasil kerja dari mikroba *methanogenic*. Transformasi anaerobik limbah organik adalah proses yang melibatkan banyak kelompok bakteri yang berbeda, dimana pada tahap akhir menghasilkan CO2 dan CH4, yang merupakan produk utama dari proses anaerobik (Ziemiński dan Magdalena, 2012).

Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan bahwa produksi biogas pada hari ke 70 pada limbah cair kelapa sawit yaitu sebesar 40 mL, pada limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi sebesar 215 mL, pada limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi + TKKS 1% sebesar 320 mL, limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi + TKKS 3% sebesar 665 mL, limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi + TKKS 5% sebesar 872,5 mL. Jelas terlihat produksi biogas tertinggi adalah pada limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi + TKKS 5% kemudian diikuti limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi + TKKS 3%, lalu pada limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi + TKKS 1% selanjutnya pada limbah cair kelapa sawit + kotoran sapi dan yang terendah adalah pada limbah cair kelapa sawit. Tumbukan yang sering terjadi akan mempermudah pembentukan kompleks enzim-substrat, sehingga produk biogas yang terbentuk makin banyak (Darmanto dkk, 2012; Vindis, dkk, 2009).

Dari hasil pengukuran volume biogas selama 70 hari terjadi perbedaan produksi biogas pada penambahan TKKS 1%, 3% dan 5%. Jelas terlihat produksi biogas tertinggi adalah dengan penambahan tandan kosong kelapa sawit 5% kemudian diikuti dengan penambahan tandan kosong 3% dan yang terendah adalah pada penambahan tandan kosong kelapa sawit 1%.

Pada hari ke 70, penambahan TKKS 5% tetap menghasilkan volume produksi biogas, sedangkan dengan penambahan TKKS 1% hanya sampai pada hari ke 28 sementara penambahan TKKS 3% sampai pada hari ke 29, Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan TKKS yang paling optimal yaitu pada penambahan TKKS 5%.

Penelitian sejenis, menyatakan bahwa produksi biogas pada kondisi mesophilic dari awal proses hingga akhir proses fermentasi yaitu hingga akhir hari ke 15 memperlihatkan grafik yang landai dibandingkan dengan grafik produksi biogas pada kondisi thermophilic yang cenderung mengalami kenaikan yang tajam. Produksi biogas diantara dua kondisi tersebut, kondisi thermophilic yang menghasilkan produksi lebih tinggi yaitu 0,1411 kg, pada kondisi mesophilic produksi akhir biogas adalah 0,1227 kg dan produksi tanpa pemanasan 0,1151 kg (Darmanto dkk, 2012; Vindis, dkk, 2009).



Gambar 3. Volume produksi biogas 50 hari

Pada hari ke 1 – 24 terdapat beda nyata atau memberikan pengaruh terhadap volume produksi biogas limbah cair kelapa sawit, hal ini disebabkan karena pada hari tersebut telah berlangsung *lag phase* dan *log or exponential growth phase,* dimana pada fase-fase tersebut bakteri dalam merombak bahan-bahan organik untuk menghasilkan biogas membutuhkan makanan untuk pertumbuhan selnya. Sedangkan pada hari ke 25 – 70 telah berlangsung *stationary phase,* dimana pada hari tersebut makanan hampir habis dan kematian bakteri akan terus meningkat sehingga tercapai suatu keadaan dimana jumlah bakteri yang mati dan tumbuh mulai berimbang (Darmanto dkk, 2012). Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit memberikan pengaruh sampai pada hari ke 24 sedangkan pada hari ke 25 – 70 tidak memberikan pengaruh terhadap volume produksi biogas limbah cair kelapa sawit.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis hasil penelitian yang dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut: Penambahan TKKS yang optimal terhadap volume produksi biogas limbah cair kelapa sawit yaitu pada penambahan TKKS 5 %. Temperatur *mesomophilic* (37°C) menunjukkan kecepatan aktivitas mikroorganisme menghasilkan produksi gas yang lebih optimum memproduksi biogas. Sedangkan pada temperatur *psychrophilic* (27°C) memerlukan waktu yang lebih lama untuk memproduksi biogas. Temperatur *mesophilic* mencapai 5 – 8 kali lebih tinggi dalam memproduksi bigas dari pada temperatur *psychrophilic.*

**DAFTAR PUSTAKA**

Abdurahman. N.H., Y.M. Rosli and N.H. Azhari. 2013. The Performance Evaluation of Anaerobic Methods for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment: A Review. In Tech. International Perspectives on Water Quality Management and Pollutant, pp. 87- 106

Ahmad. A., Bahruddin, dan Aulia Rahmi. 2011, Penyisihan Kandungan Padatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” ISSN 1693 – 4393. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 22 Februari 2011. Hal. C04-1-6.

Alves., M.M., M. Alcina Pereira, Diana Z. Sousa, Ana J. Cavaleiro, Merijn Picavet, Hauke Smidt and Alfons J. M. Stams. 2009. Waste Lipids To Energy: How To Optimize Methane Production From Long-Chain Fatty Acids (LCFA). Society for Applied Microbiology and Blackwell Publishing Ltd, Microbial Biotechnology (2009)2(5), 538–550.

Amirta, R., Tanabe, T., Watanabe, T., Honda, Y., Kuwahara, M., Watanabe, Takashi. 2005. Methane Fermentation of Japanese cedar wood pretreated with a white rot fungus, Ceriporiopsis subvermispora, Universitas Kyoto, Jepang.

Angelidaki I. and Ahring B.K. 1997. Co digestion of olive oil mill wastewater with manure, household waste or sewage sludge, *Biodegradation*, 8, pp. 221-226.

Borja, R, Banks, C.J, & Sanchez, E. 1996a. Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in a two- stage up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Journal of Biotechnology , 45, 125-135.

Chipasa K.B. and Medrzycka K. 2006. Behavior of lipids in biological wastewater treatment processes. *Journal Ind, Microbiol. Biotechnol*., 33, 635-645.

Choi, D.W., Woo Gi Lee, Seong Jin Lim, Byung Jin Kim, Ho Nam Chang, and Seung Teak Chang. 2003. Simulation on Long-term Operation of an Anaerobic Bioreactor for Korean Food Wastes. *Biotechnology and Bioprocess Engineering 2003,* 8: 23-31.

Choorit, W., and Wisarnwan P., 2007. Effect Of Temperature On The Anaerobic Digestion Of Palm Oil Mill Effluent. Electronic *Journal of Biotechnology* .ISSN : 0717-3458, 10 (3), 376-379.

Cuetos, M.J., Gomez, X., Otero, M., Moran, A., 2008. Anaerobic Digesters of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-Digesters with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW*). Biochem. Eng. J*. 40, 99–106.

Darmanto. A., Sudjito Soeparman, dan Denny Widhiyanuriawan. 2012, Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic (35ºC) Dan Thermophilic (55ºC) Anaerob Digester Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas. Jurnal Rekayasa Mesin ISSN 0216-468X Vol.3, No. 2 Tahun 2012, pp. 317-326.

Dinopoulou, G., Rudd, T., Lester, J.N., 1988. Anaerobic acidogenesis of a complex wastewater: 1. The influence of operational parameters on reactor performance. *Biotechnol. Bioeng*. 31, 958 – 968.

Hanaki, K., Nagase, M., and Matsuo, T. 1981 Mechanism of inhibition caused by long-chain fatty acids in anaerobic digestion process.*Biotechnol Bioeng23*:1591–1610.

Kim, J.K., Oh, B.R., Chun, Y.N., Kim, S.W., 2006. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. *J. Biosci. Bioeng.* 102, 328–332.

Lay, J.J., Li, Y.Y., and Noike, T. 1998. The influence of pH and ammonia concentration on the methane production in high-solids digestion processes. *Water Environment Research*. Vol. 70 (5): 1075-1082.

Lettinga, G. 1995. Anaerobic Digestion And Wastewater Treatment Systems. *J.Antonie van Leeuwenhoek*, 67, 3–28.

Mahajoeno. E., Bibiana Widiyati Lay, Surjono Hadi Sutjahjo, dan Siswanto. Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas. *Biodiversitas* ISSN: 1412-033X 9, (1) 2008, 48-52.

Merlin., G., François Kohler, Maele Bouvier, Thierry Lissolo, and Hervé Boileau. 2012. Importance of heat transfer in an anaerobic digestion plant in a continental climate context. Bioresource Technology 124, 59 – 67.

Najafpour, G.D, Zinatizadeh, A.A. L, Mohamed, A.R, Hasnain, M. Isa. and H. Nasrol‐lahzadeh. 2006. High-Rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an up‐flow anaerobic sludge-fixed film bioreactor. *Biochemistry*: 41, 370.

Noutsopoulos. C., D. Mamais, K. Antoniou, C. Avramides. 2012. Increase Of Biogas Production Through Co-Digestion Of Lipids And Sewage Sludge. *Global NEST Journal*, 14, (2), 133-140.

O’flaherty., V, Gavin Collins, And Th´ Er` Ese Mahony. 2010. Anaerobic Digestion of Agricultural Residues. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 259-279.

Padilla G.,E and Alberto López López. 2010. Kinetics of Organic Matter Degradation in an Upflow Anaerobic Filter Using Slaughterhouse Wastewater. *J. Bioremed Biodegrad*, 1• (2) •1000106. 1-6.

Pavlosthatis, S.G. and Giraldo-Gomez, E., 1991a. Kinetics of anaerobic treatment. *Water Science and Technology*, 24 (8): 35-59.

Raunkjaer K., Hvitved-Jacobsen T. and Nielsen P.H.1994. Measurement of pools of protein, carbohydrate and lipid in domestic wastewater, *Water Research*, 28, 251-262.

Ruiz, I, Veiga, M. C, De Santiago, P, and Blazquez, R. 1997. Treatment Of Slaughter House Wastewater In A USAB Reactor And An Anaerobic Filter. *Bioresource Technology*: , 60, 251-258.

Santosh, Y., Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., Rana, V., 2004, Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technology* 95, 1-10.

Setiadi., T., Husaini and Asis Djajadiningrat. 1996. Palm Oil Mill Effluent Treatment By Anaerobic Baffled Reactors: Recycle Effect And Biokinetic Parameter. *Wat. Sci. Tech. 34, ( 11),* 59-66.

Stronach, S. M., Rudd, T., and Lester, J. N., 1986. Anaerobic Digestion Processes in Wastewater Treatment. Berlin: Springer.

Sugiyana., D. 2008. Metode Biologi Anaerobik–Aerobik Dan Pengolahan Limbah Cair Tekstil. *J. Arena Tekstil*. 23. (1). 1–11.

Van Der Merwe, M, & Britz, T. J. 1993. Anaerobic Digesters Of Baker’s Yeast Factory Efficient Using An Anaerobic Filter And Hybrid Digester. *Bioresource Technology*: 43, 169-174.

Vindis. P., B. Mursec, M. Janzekovic, and F. Cus, 2009, The impact of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion on biogas production, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. (2) . 192-198.

Ziemiński., K and Magdalena Frąc. 2012. Review: Methane Fermentation Process As Anaerobic Digestion Of Biomass: Transformations, Stages And Microorganisms. *African Journal of Biotechnology*, 11(18), 4127-4139.