

# Kesetimbangan Energi dan Manfaat dalam Aplikasi Produksi Bersih di Sistem Pengolahan Limbah Cair Industri Nanas Kaleng

Pertiwi Andarani<sup>1</sup>, Afni Siallagan<sup>1</sup>, Mega Mutiara Sari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>)Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>2</sup>) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina, Jalan Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta, Indonesia 12220.  
e-mail: andarani@ft.undip.ac.id

## Abstrak

Industri pengolahan buah umumnya memiliki kadar organik yang tinggi, Salah satunya adalah industri pengolahan nanas. PT Great Giant Pineapple, Lampung, (PT GGP) merupakan produsen nanas kaleng ekspor yang menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Salah satu upaya pengelolaan lingkungan dan perbaikan berkelanjutan, PT GGP berupaya melaksanakan sistem produksi bersih. Produksi bersih merupakan suatu strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang perlu diterapkan secara terus menerus pada proses produksi dan daur hidup produk dengan tujuan mengurangi resiko terhadap manusia dan lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kesetimbangan energi dan manfaat secara kuantitatif dalam penerapan sistem produksi bersih di sistem pengolahan limbah cair PT GGP. Kesetimbangan energi dianalisis dengan menggunakan indikator NER (Net Energy Ratio) dan NEP (Net Energy Production). Manfaat finansial dari penggunaan kembali sludge juga dievaluasi secara kuantitatif. Dalam produksi biogas jumlah energi input yang dibutuhkan sebesar 1,002 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah, menghasilkan jumlah energi output sebesar 108,587 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah. Sehingga Nilai NER = 108,37 dan NEP = 17,585 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah. Sementara itu, dengan pemanfaatan Sludge atas perusahaan memperoleh keuntungan sebesar Rp 3.326.687.65/hari dan pemanfaatan sludge bawah memperoleh keuntungan sebesar Rp 19.054.592 /hari pada tahun 2015.

**Kata kunci:** industri pengolahan nanas, produksi bersih, biogas, NER, NEP

## Abstract

Fruit processing industry generally has a high organic content, One of them is industrial producer of canned pineapple. PT Great Giant Pineapple, Lampung, (PT GGP) is a producer of exported canned pineapple that produces waste that potentially pollutes the environment if it is not managed properly. One of the efforts of environmental management and continuous improvement, PT GGP seeks to implement a clean production system. Cleaner production is a preventive and integrated environmental management strategy that needs to be applied continuously to the production process and product's life cycle with the goal of reducing risks to people and the environment. The purpose of this research was to analyze the equilibrium of energy and benefits quantitatively in the implementation of clean production system in waste water treatment system of PT GGP. Energy balance was analyzed using NER (Net Energy Ratio) and NEP (Net Energy Production) indicators. The financial benefits of reusing sludge are also evaluated quantitatively. In biogas production, the required amount of input energy is 1,002 MJ/day/m<sup>3</sup> wastewater, yielding the total output energy of 108,587 MJ/day/m<sup>3</sup> wastewater. Therefore, the NER value = 108,37 and NEP = 17,585 MJ/day/m<sup>3</sup> waste water. Meanwhile, by utilizing the sludge, the company earned a profit of Rp 3,326,687.65/day and the utilization of the lower sludge earned a profit of Rp 19,054,592/day in 2015.

**Keywords:** pineapple processing industry, cleaner production, biogas, NER, NEP

## PENDAHULUAN

Indonesia sepakat untuk mengadopsi definisi yang disampaikan oleh *United Nation Environment Programme (UNEP)* bahwa produksi bersih merupakan suatu

strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu. Oleh karena itu, strategi tersebut perlu untuk diterapkan secara terus menerus pada proses produksi dan daur hidup produk dengan

tujuan untuk mengurangi resiko terhadap manusia dan lingkungan (Indrasti dan Fauzi, 2009).

PT Great Giant Pineapple Lampung merupakan suatu perusahaan agrobisnis dengan bidang keunggulan sebagai perusahaan eksportir nanas kaleng. PT Great Giant Pineapple merupakan produsen nanas kaleng nomor tiga di dunia, produksinya dikirim ke berbagai negara di Amerika dan Eropa. Kegiatan produksi tersebut tentu menghasilkan produk samping berupa limbah, baik limbah padat maupun limbah cair.

Secara umum pengolahan limbah nanas cukup mahal apabila tidak menerapkan produksi bersih. (Namsree dkk, 2012). Industri pengolahan dan konservasi buah-buahan seringkali menimbulkan limbah padat dan limbah cair dalam jumlah yang sangat besar (Valta dkk, 2017). Baik limbah padat maupun cair dari industri pengolahan buah mengandung COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi, yang mencapai ratusan ribu ppm, karena terdapat kandungan organik yang terdiri dari berbagai karbohidrat terlarut dan tidak terlarut (Mohan dan Sunny, 2008). Limbah cair berpotensi memproduksi gas metan karena mengandung bahan organik yang tinggi, sistem pengolahan anaerobic (*anaerobic digestion*) merupakan solusi *waste-to-energy* yang berkelanjutan dibandingkan pilihan metode yang lain (Ruffino dan Zanetti, 2017). Solusi ini merupakan bagian dari produksi bersih.

Penerapan produksi bersih mengarah pada pengurangan limbah pencemaran pada sumber dan pemanfaatan limbah. Di perusahaan ini, limbah padat diolah menjadi kompos yang akan dikembalikan ke perkebunan (*plantation*) dan limbah cair diolah menjadi biogas yang digunakan sebagai energi untuk kegiatan perusahaan. Untuk memproduksi biogas, tentunya diperlukan material input dan energi input. Energi input dikategorikan sebagai energi langsung dan tidak langsung (Nguyen dkk, 2016). Biogas sebagai energi output harus lebih besar daripada energi input yang masuk ke dalam sistem (*positive net energy balance*). Dalam hal ini, hanya energi listrik yang dibutuhkan untuk memproduksi biogas. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kesetimbangan energi dan manfaat secara kuantitatif dalam penerapan sistem produksi bersih di sistem pengolahan limbah cair PT Great Giant Pineapple Lampung.

#### Metodologi Penelitian Kesetimbangan energi

Kesetimbangan energi bersih dapat dianalisis dengan membandingkan total masukan energi dan output dalam produksi biogas. Keseimbangan energi yang dianalisis adalah *Net Energy Ratio* (NER) dan *Net Energy Production* (NEP). NER dan NEP dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Energi Output} = \text{CH}_4_{\text{prod}} * \text{CH}_4_{\text{HV}} \quad (1)$$

$$\text{NER} = \frac{\text{Energi Output}}{\text{Energi Input}} \quad (2)$$

$$\text{NEP} = \text{Energi Output} - \text{Energi Input} \quad (3)$$

Bila NER lebih besar dari 1, prosesnya dianggap sebagai perolehan energi atau menguntungkan, bila NER lebih kecil dari 1, prosesnya dianggap sebagai kehilangan energi (Zhang dkk, 2013). NEP merupakan selisih dari energi output dan input yang tentunya diharapkan NEP bernilai positif sehingga menguntungkan.

#### Penghematan pemanfaatan biogas

Perhitungan penghematan dilakukan dengan cara sederhana, yaitu:

Penghematan yang diperoleh perusahaan :  
= Biaya sebelum penggunaan biogas -  
Biaya setelah penggunaan biogas

#### Pemanfaatan sludge atas dan bawah bak primary clarifier

Bak primary clarifier menghasilkan 3 output yaitu, lumpur (*sludge*) atas, *sludge* bawah dan air limbah yang akan dialirkan ke bak equalisasi. *Sludge* atas diaplikasikan kembali ke bak equalisasi karena mengandung micronutrient dan C-organik yang berfungsi untuk pembentukan gas metan. *Sludge* atas ini di analisis terlebih dahulu di laboratorium untuk menguji karakteristik *sludge*. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, *sludge* limbah mengandung beberapa parameter yang berfungsi untuk meningkatkan produktivitas gas metan. Dari volume *sludge* dapat dihitung jumlah gas metan yang dihasilkan dari *sludge* tersebut. Pada akhirnya, dapat dihitung *cost saving* dari pemanfaatan limbah *sludge* atas yang diaplikasikan ke bak equalisasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kesetimbangan Energi

Limbah cair hasil kegiatan produksi nanas dan tapioka akan dimanfaatkan menjadi biogas. Jumlah rata-rata limbah yang diolah per hari 5000 m<sup>3</sup>, jumlah injeksi nutrient Ca(OH)<sub>2</sub> yang dibutuhkan rata-rata 0,6 ton/hari dan jumlah energi listrik yang

digunakan rata-rata 1.392 Kwh/hari. Sedangkan jumlah rata-rata output biogas yang dihasilkan sebesar 22.695 Nm<sup>3</sup>/hari. Dari energi input dan output yang telah dihitung, maka dapat di analisis keseimbangan energi bersih dengan membandingkan total masukan energi dan output dalam produksi biogas yaitu menghitung NER (*Net Energy Ratio*) dan NEP (*Net Energi Production*).

$$\begin{aligned} \text{NER} &= \frac{\text{Energi Output}}{\text{Energi Input}} \\ &= 108,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NEP} &= \text{E Output} - \text{E Input} \\ &= 108,587 - 1,002 \\ &= 107,585 \text{ MJ/hari/m}^3 \text{ air limbah} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapat nilai NER 108,37 dan nilai NEP 107,585 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah, dengan energi output yang dihasilkan sebesar 108,587 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah dan konsumsi energi dalam pengolahan anaerobik biogas adalah 1,002 atau setara dengan 0,93% dari total output energi biogas.

Nilai NER pada produksi biogas ini lebih besar jika dibandingkan dengan hasil penelitian tentang pengolahan POME (*palm oil mill effluent*) menjadi biogas oleh Harsono, dkk., (2009) yaitu 0,25 dan hasil penelitian Kamahara, dkk., (2013) yaitu 3,1. Perbedaan nilai NER ini disebabkan karena perbedaan pengolahan *raw material* yaitu limbah cair nanas dan tapioka dengan POME, jenis energi yang digunakan, dimana pengolahan POME membutuhkan energi listrik dan bahan bakar diesel sedangkan pengolahan biogas di PT Great Giant Pineapple hanya menggunakan energi listrik. Begitu juga dengan sistem pengolahan anaerobik yang digunakan untuk menghasilkan biogas.

Nilai NEP yaitu perbedaan nilai energi output dengan nilai input yang menghasilkan nilai positif 107,585 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah, bahwa jumlah energi yang dihasilkan lebih banyak daripada jumlah energi yang digunakan. Oleh karena itu, perusahaan memperoleh keuntungan dimana energi tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi di perusahaan.

Produk biogas dari pengolahan air limbah industri nanas dan tapioka ini dikelola oleh PT Great Giant Pineapple. Produk biogas ini akan dialirkan melalui pipa gas menuju PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) dan PT Umas Jaya Agritama (pabrik Tapioka). Produksi biogas merupakan sumber energi terbarukan (*renewable energy*), gas metana yang dihasilkan dari proses anaerobik dapat dikonversi menjadi energi listrik dan panas yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar tidak terbarukan (*nonrenewable energy*) pada kegiatan produksi di perusahaan. Seperti bahan bakar pada PT Umas Jaya Agritama (PT UJA) yaitu pabrik tapioka yang sebelumnya menggunakan bahan bakar residu, tetapi setelah adanya pengolahan limbah cair menjadi biogas, pabrik tapioka sudah 100% menggunakan energi dari biogas untuk kebutuhan energinya. Sisa produk biogas akan dialirkan ke PLTU untuk dikonversi menjadi energi listrik dan energi panas, kemudian energi tersebut akan digunakan untuk kebutuhan energi listrik di seluruh perusahaan, baik PT Great Giant Pineapple, PT Great Giant Live Stock, Plantation, dan fasilitas pendukung lainnya.

#### *Penghematan Biaya*

##### *1. Biogas sebagai bahan bakar di PLTU*

Biogas merupakan salah satu jenis energi terbarukan. Kandungan utama biogas adalah metana dan karbon dioksida. Berdasarkan data supply gas pada tahun 2015, PT Great Giant Pineapple Lampung menghasilkan biogas rata-rata 16.000 m<sup>3</sup>/hari. Biogas tersebut akan dialirkan ke PLTU untuk menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan dalam bentuk energi ini berpotensi besar mengingat limbah tersebut masih memiliki nilai kalor yang cukup tinggi. Pemanfaatannya akan menghasilkan bahan bakar yang bisa dipakai untuk pembangkitan listrik. PLTU PT Great Giant Pineapple Lampung merupakan pembangkit yang menggunakan tenaga dari uap air untuk menggerakkan turbin. Prinsipnya adalah memanaskan air, air berubah menjadi uap dan uap bertekanan akan memutar turbin. PT Great Giant Pineapple Lampung menggunakan bahan bakar batu bara dan biogas sebagai sumber energi untuk memanaskan air. Dengan supply biogas ke PLTU sehingga penggunaan bahan bakar batubara akan berkurang. Volume biogas

dan Kandungan Metan ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan data pada tabel 5.5 diatas, biogas dapat dikonversikan menjadi energi listrik. 1 m<sup>3</sup> biogas akan menghasilkan energi listrik rata-rata sebesar 10 Kwh. Jumlah rata-rata biogas yang disupply ke PLTU sebesar 485.613 m<sup>3</sup>/bulan maka dalam sebulan jumlah energi listrik yang dihasilkan rata-rata sebesar 4.856.130 Kwh. Dengan supply biogas ke PLTU, dapat dihitung penghematan yang diperoleh dengan menyetarakan jumlah biogas dengan batubara. Biogas setara Batu Bara Tahun 2015 ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Volume biogas dan Kandungan Metan

Bulan	Volume Biogas (m <sup>3</sup> )	Methan Content	Nilai kalori metan (Kkal/m <sup>3</sup> )
Januari	130.804	63%	5.607.00
Februari	365.968	67%	5.963.00
Maret	426.463	69%	6.141.00
April	508.758	66%	5.874.00
Mei	542.759	65%	5.785.00
Juni	601.131	64%	5.738.99
Juli	308.932	66%	5.829.50
Agustus	653.934	64%	5.696.00
September	683.821	63%	5.581.84
Oktober	577.236	61%	5.429.00
November	450.033	64%	5.696.00
Desember	577.515	64%	5.696.00
<b>Total</b>	<b>5.827.354</b>		

Sumber: PT Great Giant Pineapple Lampung,2016

**Tabel 2.** Biogas setara Batu Bara Tahun 2015

Bulan	Jumlah Biogas (m <sup>3</sup> )	Nilai kalori Metan (Kkal/m <sup>3</sup> )	Nilai kalori Batubara (Kkal/kg)	Setara Batubara (kg)
Jan	130.804	5.607.00	4.122	177.928
Feb	365.968	5.963.00	4.071	536.052
Mar	426.463	6.141.00	4.002	654.401
Apr	508.758	5.874.00	4.090	730.671
Mei	542.759	5.785.00	4.241	740.359
Jun	601.131	5.738.99	4.365	790.351
Jul	308.932	5.829.50	4.020	447.990
Agt	653.934	5.696.00	4.168	893.668
Sep	683.821	5.581.84	4.358	875.856
Okt	577.236	5.429.00	4.345	721.246
Nov	450.033	5.696.00	4.361	587.796
Des	577.515	5.696.00	4.592	716.290
<b>Total</b>	<b>5827.354</b>			<b>7.872.606</b>

Sumber: PT Great Giant Pineapple Lampung,2016

Perhitungan nilai gas metan setara dengan biogas dapat dihitung dengan mengalikan jumlah kalori metan dengan jumlah biogas kemudian dibagi dengan jumlah kalori batubara. Maka diperoleh rata-rata nilai gas metan setara dengan batubara sebesar 656.051 kg/bulan. Jika dikalikan dengan harga batubara sebesar Rp565,00/kg maka diperoleh penghematan sebesar Rp371.326.070,00/bulan.

## 2. Biogas sebagai bahan bakar di PT Umas Jaya Agrotama (PT UJA)

Dengan penggunaan 100% biogas sebagai energi di PT UJA yang sebelumnya menggunakan bahan bakar residu, dapat dihitung penghematan yang diperoleh perusahaan.

- Penghematan yang diperoleh perusahaan :

= Biaya sebelum penggunaan biogas -  
Biaya setelah penggunaan biogas  
= (5000 liter/hari residu x Rp7.000,00) -  
(5000 Nm<sup>3</sup>/hari biogas x Rp1.200,00)  
=Rp35.000.000,00/hari-  
Rp6.000.000,00/hari  
= Rp29.000.000,00/hari

Berdasarkan perhitungan diatas, penghematan yang diperoleh cukup efisien yaitu sebesar Rp29.000.000,00/hari dengan persen efisiensi 82,86 %. Dari biaya penghematan yang diperoleh perusahaan dapat mengalokasikan keuntungan yang diperoleh untuk kebutuhan operasional perusahaan.

Perhitungan penghematan di PLTU, dengan adanya supply biogas maka akan menurunkan penggunaan biogas. Perhitungan nilai gas metan setara dengan biogas dapat dihitung dengan mengalikan jumlah kalori metan dengan jumlah biogas kemudian dibagi dengan jumlah kalori batubara. Maka diperoleh rata-rata nilai gas metan setara dengan batubara sebesar 656.051 kg/bulan. Jika dikalikan dengan harga batubara sebesar Rp565,00/kg maka diperoleh penghematan sebesar Rp371.326.070,00/bulan.

Analisis dari segi lingkungan bahwa pemanfaatan limbah cair menjadi biogas ini sangat memberikan dampak yang baik terhadap lingkungan, karena dapat

mengurangi pencemaran terhadap lingkungan, karena sebelum adanya pengolahan limbah cair produksi, PT Great Giant Pineapple Lampung mengolah limbah dengan mengalirkan ke 23 kolam IPAL (instalasi pengolahan air limbah). Selain limbah cair produksi tidak dapat dimanfaatkan dengan baik, terdapat potensi pencemaran lingkungan dari kolam IPAL tersebut, Menurut Ruffino dan Zanetti (2017), pengolahan air limbah secara anaerobic tidak hanya dapat menyediakan sumber energi terbarukan berupa panas, listrik, atau biometan dari sampah organik bernilai rendah, tetapi juga meminimalkan pencemaran lingkungan karena mengurangi volume sampah organik untuk dikirim ke tempat pembuangan sampah dan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) dari dekomposisi limbah organik yang tidak terkontrol.

### 3. Pemanfaatan Sludge

Bak Primary clarifier menghasilkan 3 output yaitu, *sludge* atas, *sludge* bawah dan air limbah yang akan dialirkan ke bak equalisasi. *Sludge* atas diaplikasikan kembali ke bak equalisasi karena mengandung micronutrient dan C-organik yang berfungsi untuk pembentukan gas metan. *Sludge* atas ini di analisis terlebih dahulu di laboratorium untuk menguji karakteristik *sludge*. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, *sludge* limbah mengandung beberapa parameter yang berfungsi untuk meningkatkan produktivitas gas metan. Dari volume *sludge* dapat dihitung jumlah gas metan yang dihasilkan dari *sludge* tersebut. Sehingga dapat dihitung *cost saving* dari pemanfaatan limbah *sludge* atas yang diaplikasikan ke bak equalisasi.

Dari data volume yang diukur dengan menggunakan SV60 sebesar 17.75 mg/1000 maka,

Volume *Sludge* atas dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{Volume}/1000 \times \text{Rata-rata volume} \\ &\quad \text{limbah UJA} \\ &= 17.75/1000 \times 2.064 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 36.64 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Kemudian dihitung

$$\begin{aligned} \text{COD load} &= \text{COD} \times \text{Volume } \textit{sludge} \text{ atas} \\ &= 157.236 \text{ mg/L} \times 36.64 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 5.760.50 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Dari COD *load* dapat dihitung jumlah gas metan yang dihasilkan

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ 60\%} &= \text{COD load} \times \text{efisiensi} \times \\ &\quad 0.35/60 \\ &= 5.760.50 \text{ kg/hari} \times 90 \times \\ &\quad 0.35/60 \\ &= 3024.26 \text{ Nm}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost saving} &= 3024.26 \text{ Nm}^3/\text{d} \times \text{Rp 1100} \\ &= \text{Rp 3.326.687.65 /hari} \end{aligned}$$

Sedangkan, untuk *sludge* bawah, berdasarkan data volume yang diukur dengan menggunakan SV60 sebesar 100.5 mg/1000, maka :

Volume *Sludge* bawah

$$\begin{aligned} \text{Vol} &= \text{Volume}/1000 \times \text{Vol}_{\text{rata-rata limbah UJA}} \\ &= 100.5 /1000 \times 2.064 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 207.43 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Kemudian dihitung COD *load*

$$\begin{aligned} \text{COD load} &= \text{COD} \times \text{Volume } \textit{sludge} \text{ bawah} \\ &= 159.064.00 \text{ mg/L} \times 207.43 \\ &\quad \text{m}^3/\text{hari} \\ &= 32.994.96 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Dari COD *load* dapat dihitung jumlah gas metan yang dihasilkan

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ 60\%} &= \text{COD load} \times \text{efisiensi} \times \\ &\quad 0.35/60 \\ &= 32.994.96 \text{ kg/hari} \times 90 \times \\ &\quad 0.35/60 \\ &= 17.322.36 \text{ Nm}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost saving} &= 3024.26 \text{ Nm}^3/\text{hari} \times \text{Rp 1100} \\ &= \text{Rp 19.054.592 /hari} \end{aligned}$$

Pemanfaatan *sludge* atas dan *sludge* bawah, selain digunakan sebagai micronutrient untuk bakteri di bak equalisasi sehingga tidak perlu penambahan micronutrient yang harus dibeli dari luar dan membutuhkan biaya yang mahal, dapat dilihat juga keuntungan yang diperoleh perusahaan perhari dalam pemanfaatan *sludge* atas sendiri akan menghasilkan biogas rata-rata 3024.26 Nm<sup>3</sup>/hari jika di dikalikan dengan harga gas yang di perusahaan akan menghasilkan keuntungan rata-rata Rp 3.326.687.65/hari. Sedangkan untuk *sludge* bawah menghasilkan biogas rata-rata 17.322.36 Nm<sup>3</sup>/hari jika dikalikan dengan harga gas akan menghasilkan keuntungan rata-rata Rp 19.054.592 /hari.

Berdasarkan hasil observasi dalam pemanfaatan limbah *sludge* atas dan *sludge* bawah ini, memberikan manfaat bagi perusahaan dan lingkungan yaitu

sebagai berikut: 1) Memberikan keuntungan bagi perusahaan karena tidak perlu injeksi micronutrient dari luar dengan harga yang mahal; 2) Meningkatkan produktivitas biogas; 3) Menurunkan beban pencemaran pada tanah, karena sebelumnya *sludge* dibuang ke kolam instalasi pengolahan air limbah (IPAL).

Produktivitas biogas masih dapat terus ditingkatkan dengan teknologi yang senantiasa berkembang. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan adalah gaspermeation, yang terbukti sebagai metode efisien untuk penyisihan CO<sub>2</sub> dan pengeringan *raw biogas* (Miltner dkk, 2017).

### KESIMPULAN

Produksi biogas jumlah energi input yang dibutuhkan sebesar 1,002 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah, menghasilkan jumlah energi output sebesar 108,587 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah. Sehingga Nilai NER = 108,37 dan NEP = 17,585 MJ/hari/m<sup>3</sup> air limbah. Dengan penggunaan 100% biogas, PT UJA yang sebelumnya menggunakan bahan bakar residu, perusahaan memperoleh penghematan sebesar Rp29.000.000/hari. Pemanfaatan *Sludge* atas dan *Sludge* bawah bak primary clarifier sebagai micronutrien di bak Equalisasi. Dengan pemanfaatan *Sludge* atas perusahaan memperoleh keuntungan sebesar Rp 3.326.687.65/hari dan pemanfaatan *sludge* bawah memperoleh keuntungan sebesar Rp 19.054.592 /hari. Membuang secara rutin limbah organik yang dihasilkan dari proses screening pada proses produksi biogas.

**Ucapan Terima Kasih:** Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada PT Great Giant Pineapple, Lampung, yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan evaluasi produksi bersih di sistem pengolahan limbah cair

### DAFTAR PUSTAKA

- Indrasti, N.S., & Fauzi, A.M. 2009. *Produksi Bersih*. IPB Press. Bogor.
- Kamahara, H., Udin, H., Anugerah, W., Ryuichi, T., Yoichi, A., Naohiro, G., Hiroyuki, D., dan Koichi, F. (2009). Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesian practice. *Journal of Biomass & Bioenergy*, 34 1818-1824.
- Miltner, M., Makaruk, A., dan Michael, H. (2017). Review on available biogas

upgrading technologies and innovations towards advanced solutions. *Journal of Cleaner Production* 161 1329-1337.

- Mohan, S. dan Sunny, N. (2008). Study on biomethanization of waste water from jam industries. *Bioresources Technology*, 99 210-213.
- Namsree, P., Suvajittanont, W., Puttanlek, C., Dudsadee, U., Rungsardthong, V. (2012). Anaerobic digestion of pineapple pulp and peel in a plug-flow reactor. *Journal of Environmental Management* 110 40-47.
- Nguyen, V.H., Topno, S., Balingbing, C., Nguyen, V.C.N., Roder, M., Quilty, J., Jamieson, C., Thornley, P., dan Gummert, M. (2016). Generating a positive energy balance from using rice straw for anaerobic digestion. *Energy Reports* 2 117-122.
- Ruffino, B. dan Zanetti, M. (2017). Present and future solutions of waste management in a candied fruit – jam factory: Optimized anaerobic digestion for on site energy production, *Journal of Cleaner Production* 159 26-37.
- Valta, K., Damala, P., Panaretou, V., Orli, E., Moustakas, K., Loizidou, M. (2017). Review and assessment of waste and wastewater treatment from fruits and vegetables processing industries in Greece. *Waste Biomass Valor*, DOI 10.1007/s12649-016-9672-4, in press