

## ANALISIS EKSERGI PADA PROSES BIOGAS MENGGUNAKAN ABR (ANAEROBIC BAFFLED REACTOR) DENGAN SUBSTRAT NASI BASI

### EXERGY ANALYSIS AT PROCESS BIOGAS USING ABR (ANAEROBIC BAFFLED REACTOR) WITH A SUBSTRATE STALE RICE

Andre Farlianto<sup>1</sup>, M. Ramdhan kirom, S.Si., M.si.<sup>2</sup>, Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T., M.Eng.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[Andrefarlian@gmail.com](mailto:Andrefarlian@gmail.com), <sup>2</sup>[jakasantang@gmail.com](mailto:jakasantang@gmail.com), <sup>3</sup>[tri.ayodha@gmail.com](mailto:tri.ayodha@gmail.com)

#### Abstrak

Biogas adalah salah satu inovasi dalam pengembangan energi alternatif. dapat diperoleh dengan proses anaerob. Namun proses produksi dan sejauh mana penggunaan energi pada biogas masih menjadi permasalahan dalam produksi biogas. Efisiensi dari berbagai proses produksi biogas harus dikaji lebih dalam dengan tujuan agar biogas yang dihasilkan dapat seoptimal mungkin. salah satu aspek yang harus di dikaji adalah efisiensi penggunaan energi.

Analisa eksergi merupakan metode yang dapat mengidentifikasi kerugian energi yang terjadi pada proses biogas. Identifikasi kerugian ini bertujuan untuk evaluasi serta perbaikan proses biogas. Analisa eksergi dapat memberikan informasi yang diperlukan untuk meningkatkan performa sistem biogas secara efisien. Adapun metode dalam penelitian ini yaitu mengumpulkan data dari percobaan proses biogas, kemudian menganalisis secara eksergi untuk menentukan degradasi energi.

Metoda ini coba diterapkan pada proses biogas menggunakan ABR (Anaerobic Baffled Reactor) menggunakan substrat nasi basi yang dilakukan dengan 2 jenis percobaan, tanpa pengondisian suhu dan dengan pengondisian suhu. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa masih besarnya rasio pemusnahan eksergi pada sistem dan masih relatif rendahnya efisiensi dari proses biogas yang dilakukan

**Kata Kunci** : Biogas, Analisa Eksergi, Anaerobic baffled reactor, Efisiensi eksergetik.

#### Abstract

*Biogas is one of the innovations in the development of alternative energy. Can be obtained by anaerobic process. However, the production process and the extent to which the use of energy in biogas is still a problem in the production of biogas. The efficiency of various biogas production processes should be studied more deeply with the aim that the biogas produced can be as optimal as possible. One aspect that must be reviewed is energy efficiency.*

*Exergy analysis is a method that can identify the energy losses that occur in the biogas process. The identification of these losses is aimed at evaluating and improving the biogas process. An excess analysis can provide the information needed to improve the performance of the biogas system efficiently. The method in this research is to collect data from experimental biogas process, then analyze the exergy to determine energy degradation.*

*This method is applied to the biogas process using ABR (Anaerobic Baffled Reactor) using stale rice substrate done with 2 experimental types, without temperature conditioning and with temperature conditioning. The experimental results show that the extent of extermination ratios in the system and the relatively low efficiency of the biogas process.*

**Keywords** : Biogas, Exergy Analysis, Anaerobic baffled reactor, Exergetic Efficiency.

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Biogas merupakan salah satu energi berupa gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biogas merupakan salah satu energi terbarukan. Bahan-bahan yang dapat digunakan untuk produksi biogas adalah bahan organik berupa limbah sayur, limbah buah, limbah rumah tangga, limbah rumah makan dan kotoran ternak. Salah

satu inovasi bahan yang digunakan dalam pembuatan biogas adalah dari bahan limbah rumah tangga dan limbah rumah makan yaitu nasi basi di campur dengan kotoran sapi.

Dengan menumpuknya limbah rumah makan dan rumah tangga seperti nasi basi dan minimnya pemanfaatan dari limbah tersebut maka di adakan penanggulangan salah satunya memanfaatkan limbah nasi basi sebagai penghasil energi terbarukan. Bahwa salah satu alternatif untuk memecahkan masalah penumpukan limbah rumah makan dan rumah tangga adalah pemanfaatan sumber daya yang selama ini belum dikelola secara maksimum. Ketersediaan limbah dari nasi basi di Indonesia merupakan suatu potensi sumber daya untuk memproduksi energi alternatif terbarukan misalnya biogas, dengan demikian pemanfaatan limbah pasar yang dilakukan secara maksimal akan memberi dampak yang lebih baik. Memberikan lingkungan yang lebih bersih, mengurangi bau yang tidak sedap akibat menumpuknya sampah sehingga mendapatkan udara yang sehat.

Namun upaya untuk menghasilkan biogas dikritik di kalangan pakar dari sudut efisiensi energi, lingkungan dan ekonomi. Satu kritik adalah efisiensi energi yang buruk dari sistem produksi karena kebutuhan bahan bakar berbasis fosil untuk mengoperasikan prosesnya. Untuk memenuhi hasil lingkungan dan ekonomi yang lebih baik, penting untuk menggunakan energi dan bahan secara efisien. Meningkatkan efisiensi, menciptakan nilai tambah untuk bahan masukan, dan penurunan penggunaan sumber daya alam dapat dicapai dengan memperluas batas-batas sistem dan menerapkan pandangan sistem yang lebih luas [1]. Efisiensi dari energi yang digunakan dalam proses biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya temperatur. Penelitian fermentasi lainnya menyatakan bahwa secara biologi proses fermentasi anaerobik sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu. Sebab anaerob sensitif terhadap operasi suhu dimana aktivitas bakteri atau mikroba jika diberi peningkatan suhu, bakteri akan aktif untuk berkembang biak dan mendegradasi substrat 2-3 kali lebih cepat dibandingkan dengan perkembangbiakan bakteri pada suhu ruang [2]. Penggunaan pengontrol temperatur ini dapat dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan suhu pada set point yang kita tentukan yaitu pada suhu optimum 35<sup>o</sup>Celsius namun tanpa adanya pengontrolan suhu, suhu yang berada pada reaktor pun dapat menjadi tidak menentu.

Penelitian ini bertujuan melakukan suatu metode untuk melihat sejauh mana efisiensi energi yang digunakan. Metode yang dipakai adalah analisis eksergi pada proses produksi biogas. Eksergi didefinisikan sebagai kerja maksimum teoretis yang mampu diperoleh saat sistem tersebut berinteraksi dalam mencapai keseimbangan [3]. Analisis eksergi mempunyai kelebihan seperti, lebih teliti dalam menentukan energi yang hilang dalam proses dan dapat menentukan kualitas energi. Analisis eksergi pada penelitian ini diterapkan pada proses produksi biogas menggunakan reaktor ABR (Anaerobic Baffled Reactor). Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberi masukan dalam pemilihan teknologi proses produksi gas metana agar energi yang dipakai dapat optimal dan efisien.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu:

1. Mengidentifikasi seberapa besar eksergi terbuang atau hilang yang bisa mengurangi kualitas energi dan performansi dari sistem sehingga dapat mengetahui seberapa besar efisiensi energi yang digunakan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Biogas

Biogas merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan juga dapat diperbarui, yang terbuat dari dekomposisi biomassa secara anaerob (kedap oksigen). Bentuk fisik dari biogas itu sendiri adalah gas yang dihasilkan melalui proses penguraian bahan organik seperti kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam keadaan anaerobik. Proses tersebut juga dikenal dengan anaerobic digestion atau pencernaan secara anaerob.

Kandungan gas pada biogas terdiri atas gas metana (CH<sub>4</sub>) 50-70%, gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) 30-40%, hidrogen (H<sub>2</sub>) 5-10%, dan gas lainnya dengan jumlah yang sedikit. Biogas diperkirakan memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara. Karena gas metana yang dikandung oleh biogas cukup tinggi dan juga efisiensi pembakarannya yang mencapai 60% oleh karenanya biogas dapat dimanfaatkan sebagai pembakaran seperti halnya gas LPG (Liquefied Petroleum Gas) [4].

### 2.2 Prinsip Dasar Produksi biogas

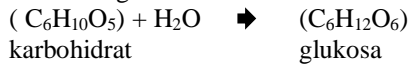
Dalam produksi biogas membutuhkan ruangan khusus yang dikondisikan dalam keadaan kedap dan tertutup rapi dengan tujuan proses stabil. Pada prinsipnya pula produksi biogas diharuskan dalam ruangan anaerob dan tanpa oksigen. Secara keseluruhan pada produksi biogas terdapat 3 proses utama yaitu:

1. Tahap Hidrolisis

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti glukosa.

Bakteri berperan mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan

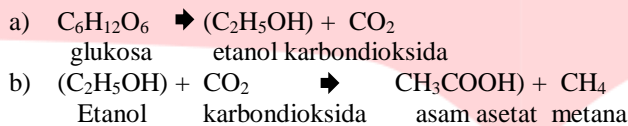
lemak menjadi bagian yang lebih pendek. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C di digester. Reaksi :



2. Tahap Pengasaman (Acidogenesis)
 

tahap ini, bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam suasana anaerob. Bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam organik sederhana seperti asam asetat, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>, karena itu bakteri ini disebut pula bakteri penghasil asam (acidogen). Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan.

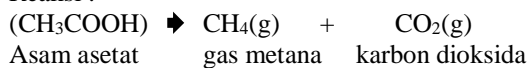
Reaksi:



3. Tahap Metanogenesis
 

Bakteri - bakteri metanogen seperti Methanococcus, methanosarcine, dan Methano Bacterium dalam proses anaerob membentuk gas metana, karbondioksida, dan air. Proses ini berlangsung pada temperatur ruangan dalam reaktor sekitar 20-40°C (mesofilik) [4].

Reaksi :



### 2.3 Faktor yang Menentukan Produksi Biogas

Eksergi merupakan energi yang dapat dimanfaatkan (available energy) atau ukuran ketersediaan energi untuk melakukan kerja. Eksergi suatu sumber daya memberikan suatu indikasi seberapa besar kerja yang dapat dilakukan oleh sumber daya tersebut pada suatu lingkungan kerja tertentu. Konsep eksergi sebenarnya dapat memperlihatkan suatu kegunaan (kualitas) suatu energi dan zat sebagai tambahan selain apa yang dikonsumsi dalam tahapan-tahapan pengkonversian atau transfer energi. Salah satu kegunaan utama dari konsep eksergi adalah keseimbangan eksergi dalam analisis sebuah sistem termal. Analisis eksergi adalah metode untuk mengidentifikasi jenis, lokasi dan besarnya kerugian termal. Identifikasi dan kualifikasi kerugian ini memungkinkan untuk evaluasi dan perbaikan dari desain sistem termal.

Metode analisis eksergi dapat menunjukkan kualitas dan kuantitas kerugian panas dan lokasi degradasi energi (mengukur dan mengidentifikasi penyebab degradasi energi). Sebagian besar kasus tidak sepenuhnya termodinamika tidak dapat dideteksi hanya dengan analisis energi. Persamaan fungsi eksergi dapat memformulasikan persamaan kerja aktual dan kerja reversibel untuk sebuah sistem tertutup maupun terbuka. Sampai saat ini dianggap penting untuk menentukan kerja potensial dari sebuah sistem pada keadaan tertentu menuju kesetimbangan dengan lingkungan sementara sejumlah kalor yang dipindahkan merupakan satu-satunya interaksi dengan lingkungan [5].

#### 2.3.1 Kesetimbangan Eksergi

Kesetimbangan eksergi dapat menyatakan degradasi energi. Degradasi energi setara dengan degradasi eksergi yang tidak dapat dikembalikan karena fakta dari proses sebenarnya yang irreversible. Selanjutnya secara umum eksergi akan hilang disaat energi setimbang dengan lingkungan. Kesetimbangan eksergi dinyatakan dengan persamaan 2.5 [6]:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \dot{E}_D = \Delta \dot{E}_{sys} \quad (2.1)$$

#### 2.3.2 Eksergi Kimia

Eksergi kimia adalah komponen eksergi yang terkait dengan perbedaan komposisi kimia dari suatu sistem dengan yang dimiliki lingkungan. Tabel eksergi kimia molar standar tersedia pada beberapa literatur. Sebagai contoh tabel pada (Szargut dkk, 1988) memberikan nilai nilai untuk kondisi atmosferik pada 298,15 K dan 1,01325 bar. Eksergi kimia dapat diformulasikan sebagai berikut [7]:

$$\dot{E}^{CH} = n_e (\Delta G_f + \sum \dot{E}^{CH}_e) \quad (2.2)$$

Persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung eksergi beberapa jenis material atau senyawa. Selanjutnya, pada persamaan (2.3) dapat digunakan untuk berbagai campuran yang mengandung gas-gas lain yang terdapat pada lingkungan referensi

$$\dot{E}^{chn, mixture} = \sum_i n_e (E^{CH}_e + R T_0 y_e \ln y_e) \quad (2.3)$$

### 2.3.3 Eksergi Aliran dan Transfer

Eksergi transfer masuk dalam perhitungan pada sistem. Ini terjadi melalui kalor, kerja dan aliran massa. Eksergi transfer dari kalor pada penelitian ini menggunakan kelistrikan dari pemanas elektrik yang dinyatakan (W) untuk menyediakan kalor (Q) kedalam sistem. Perlu diingat bahwa pada pemanas elektrik  $Q=W$ , karna diasumsikan bahwa pemanas elektrik 100% mengubah listrik menjadi kalor, maka persamaan eksergi kalor ditunjukkan pada persamaan 2.10 [8].

$$\dot{E} = Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (2.4)$$

### 2.3.4 Efisiensi energi

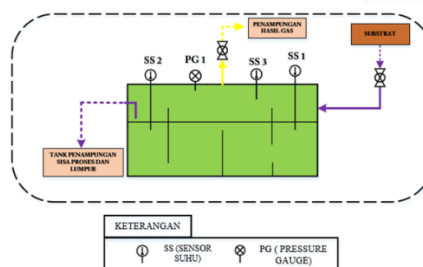
Efisiensi energi didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah suatu produk eksergi dalam suatu siklus dengan masukan bahan. Dapat dituliskan dengan persamaan [9]:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{output}}{\dot{E}_{input}} \quad (2.5)$$

## 3. Metode Penelitian

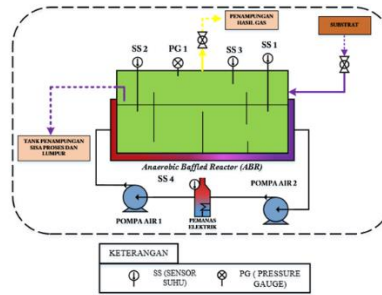
### 3.1 Deskripsi Sistem

Prinsip kerja tanpa pengondisian suhu yaitu dengan memasukkan campuran substrat dan bakteri yang telah dilakukan pengondisian pH 6,8-7,2 kedalam reaktor lalu selanjutnya diamkan selama 1 siklus/ 7hari hingga mendapatkan gas keluaran. Skematik proses biogas tanpa pengondisian suhu dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skematik proses biogas menggunakan ABR Tanpa Pengondisian Suhu

Prinsip kerja sistem dengan pengondisian suhu diawali pada pengaturan laju aliran air oleh pompa fluida berdaya 20-30 watt dirangkai dengan perpipaan dan pompa fluida bertujuan untuk memudahkan pengaturan laju aliran agar lebih stabil. Setelah pengaturan laju aliran air dilakukan penumpangan muatan energi kalor ke air di perangkat pemanas 880 watt yang dimana sesudah proses pemanasan air terukur oleh sensor suhu DS18B20. Air yang telah bermuatan panas dialirkan ke saluran selimut air untuk melepaskan energi kalor ke dinding reaktor ABR, dimana dinding tersebut bersinggungan langsung dengan substrat didalamnya yang terukur oleh sensor suhu untuk mengukur suhu substrat dan juga suhu gas. Sensor suhu pada substrat berfungsi untuk pemantauan pencapaian suhu substrat. Air yang melepaskan panas tadi akan kembali menuju pompa fluida untuk selanjutnya diatur kembali laju alirannya seperti proses sebelumnya. Penjabaran yang mendasar mengenai integrasi perangkat beserta cara kerja sistem yang menggunakan pengondisian suhu dapat terlihat Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skematik proses biogas menggunakan ABR dengan Pengondisian Suhu

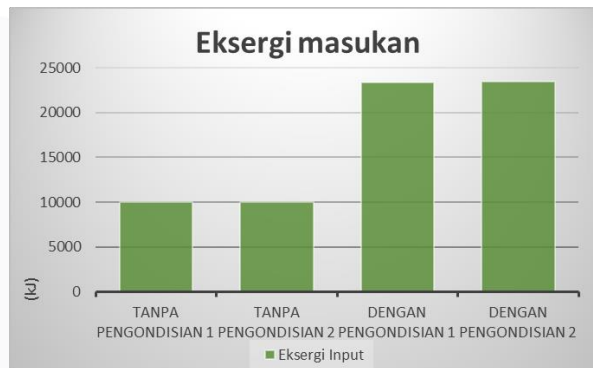
#### 4. Pembahasan Dan Analisis

##### 4.1 Analisa Eksergi

Analisa eksergi dimaksudkan untuk mengetahui nilai energi berguna dari sistem biogas pada penelitian ini. Selain itu, analisa eksergi digunakan pula untuk mengidentifikasi besarnya kerugian pada sistem. Identifikasi dan kualifikasi kerugian ini memungkinkan untuk mengevaluasi desain suatu sistem biogas. Nilai total eksergi merupakan dari eksergi kimia dikarenakan komponen eksergi lainnya tidak dapat ditinjau pada sistem biogas penelitian ini.

##### 4.2.1 Eksergi masukan

Berdasarkan hasil perhitungan, eksergi masukan dari percobaan tanpa pengondisian suhu dengan pengondisian suhu dapat digambarkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.1 Eksergi masukan Setiap Percobaan

Dilihat dari grafik di atas, eksergi masukan pada percobaan tanpa pengondisian 1 dan 2 mempunyai nilai yang sama, hal ini disebabkan karena pengolahan dan takaran substrat nasi basi sebagai bahan masukan pada setiap percobaan tanpa pengondisian 1 dan 2 sama. Sehingga perhitungannya mendapatkan hasil yang sama yaitu sebesar 9.989,28 kJ. Berbeda dengan hasil eksergi masukan percobaan dengan pengondisian 1 dan 2 yang mempunyai nilai lebih tinggi, ini terjadi karna penambahan eksergi kalor sebesar 13.363,2 kJ untuk percobaan 1 dan 13.474,8 kJ untuk percobaan 2. Maka perhitungan eksergi masukan total menjadi 23.352,48 kJ untuk percobaan 1 dan 23.464,08 kJ untuk percobaan 2.

##### 4.2.2 Eksergi keluaran

Berdasarkan hasil perhitungan, eksergi keluaran dari percobaan tanpa pengondisian suhu dan dengan pengondisian suhu dapat digambarkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.2 Eksergi Kimia Masing - Masing Gas Pada Setiap Percobaan

Berdasarkan grafik di atas eksergi dari gas CH<sub>4</sub> di setiap percobaan selalu terbesar, padahal dalam setiap percobaan persentase hasil gas dari CO<sub>2</sub> selalu mendapatkan hasil besar. Hal ini disebabkan dari bahan nasi basi yang digunakan mengandung lebih banyak glukosa dan dapat membuktikan bahwa energi dari glukosa digunakan untuk menghasilkan CH<sub>4</sub> pada proses biogas khususnya pada tahap pengasaman dan tahap metanogenesis. Sedangkan untuk total eksergi gas keluaran setiap percobaan dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



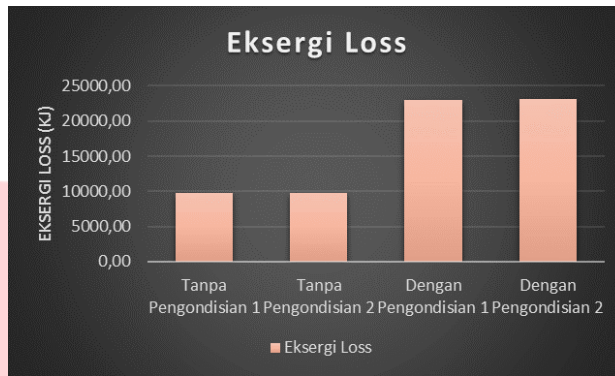
Gambar 4.3 Total eksergi setiap percobaan

Dari grafik diatas, menggambarkan total eksergi keluaran dari setiap percobaan. Berdasarkan hasil perhitungan eksergi keluaran pada setiap percobaan didapatkan hasil eksergi keluaran dari percobaan dengan pengondisian suhu lebih tinggi dari hasil eksergi keluaran dari percobaan tanpa pengondisian. Hasil eksergi keluaran dengan nilai paling tinggi didapatkan pada percobaan dengan pengondisian 1 yaitu sebesar 310,38 kJ dan hasil eksergi keluaran paling rendah didapatkan pada percobaan tanpa pengondisian 2 yaitu sebesar 234,29 kJ.

Hasil ini juga membuktikan bahwa dengan pengondisian suhu menjadi suhu 350 (mesofilik) pada sistem biogas mempengaruhi hasil gas yang dikeluarkan dan juga mempengaruhi eksergi keluaran yang didapat. Khususnya gas CH<sub>4</sub> sebagai gas tujuan dari sistem biogas. Hal ini juga membuktikan bahwa dengan pengondisian suhu menjadi suhu 350 (mesofilik) fermentasi anaerob optimum dalam mengubah substrat menjadi gas.

#### 4.2.3 Eksergi loss dan rasio destruksi

Eksergi loss terhadap eksergi keluaran pada sistem biogas disetiap percobaan digambarkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.4 Eksergi Loss Setiap Percobaan

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa eksergi loss merupakan eksergi yang dimusnahkan karena disebabkan oleh berbagai irreversibilitas di dalam sistem. Dari grafik di atas terlihat bahwa pemusnahan eksergi pada percobaan dengan pengondisian suhu 1 dan 2 lebih besar dibandingkan dengan percobaan tanpa pengondisian suhu.

Pengondisian suhu yang dilakukan pada sistem biogas pada penelitian ini walaupun dapat mempengaruhi hasil gas yang didapatkan namun tidak dapat mengurangi eksergi loss pada percobaan dengan pengondisian suhu 1 dan 2. Namun kendati demikian eksergi loss dari percobaan tanpa dan dengan pengondisian masih dapat dikatakan cukup tinggi, hal ini dapat dilihat dari rasio destruksi pada grafik dibawah ini

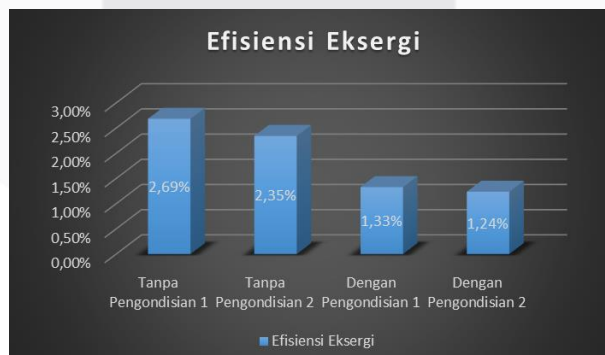


Gambar 4.5 Rasio Destruksi Setiap Percobaan

Dari grafik di atas, seluruh percobaan mempunyai rasio destruksi yang dapat terbilang tinggi. Banyak faktor yang mempengaruhi besarnya eksergi yang dimusnahkan pada sistem biogas dalam penelitian ini yaitu beberapa diantaranya, faktor bakteri yang dirasa kurang baik mengubah substrat menjadi gas. Sehingga banyak energi dari substrat terbuang dan menjadi limbah. Faktor limbah yang tidak dimasukkan ke dalam perhitungan juga membuat hasil nilai eksergi keluaran kecil.

**4.2.4 Efisiensi Eksergi**

Berdasarkan serangkaian perhitungan, efisiensi eksergi pada seluruh percobaan dapat dilihat dan digambarkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.6 Efisiensi Eksergi Setiap Percobaan

Dari grafik dapat terlihat juga hubungan antara rasio destruksi berbanding terbalik terhadap efisiensi eksergi. Semakin besar rasio destruksi semakin kecil pula efisiensi eksergi dan berlaku untuk sebaliknya. Berdasarkan grafik di atas, efisiensi eksergi pada percobaan tanpa pengondisian 1 mempunyai nilai paling besar yaitu dengan 2,69% dan percobaan dengan pengondisian 2 mempunyai nilai paling rendah sebesar 1,24%.

Dapat dilihat juga pada grafik efisiensi terjadi penurunan efisiensi, hal ini juga disebabkan oleh faktor bakteri yang semakin lama akan semakin turun kemampuannya dikarenakan dalam penelitian ini bakteri hanya melakukan sekali pengambilan dan ditempatkan di dalam penampungan hingga semuanya habis terpakai. Faktor penambahan eksergi kalor terhadap perhitungan eksergi masukan dan tidak terlalu signifikannya kenaikan eksergi keluaran juga menambah kecilnya efisiensi eksergi dari percobaan dengan pengondisian 1 dan 2. Dengan begitu penggunaan energi pada sistem biogas penelitian ini masih jauh dari efisien.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang analisis eksergi pada proses biogas menggunakan ABR (Anaerobic Baffled Reactor) dengan substrat nasi basi terdapat kesimpulan yang didapat oleh peneliti, diantaranya:

1. Eksergi keluaran gas CH<sub>4</sub> selalu mempunyai nilai terbesar pada setiap gas percobaan walaupun persentase hasil gas CO<sub>2</sub> selalu mendapatkan masih yang terbesar. Ini membuktikan energi dari glukosa lebih banyak digunakan untuk berubah menjadi gas CH<sub>4</sub>
2. Pada proses sistem biogas penelitian ini, terjadi pemusnahan eksergi atau eksergi loss yang cukup tinggi yaitu pada percobaan tanpa pengondisian 1 dan 2 sebesar 9.721,06 kJ dan 9.754,99 kJ. Pada percobaan dengan pengondisian suhu 1 dan 2 sebesar 23.042,10 kJ dan 23.173,63 kJ. Dapat dilihat juga dari rasio destruksi yang cukup tinggi yaitu pada percobaan tanpa pengondisian suhu 1 dan 2 sebesar 97,31% dan 97,65%. Pada percobaan dengan pengondisian suhu 1 dan 2 sebesar 98,67% dan 98,76%.
3. Efisiensi eksergi pada penelitian ini masih jauh dari efisien, dengan didapaknya hasil efisiensi eksergi yang masih cukup rendah. Dari percobaan tanpa pengondisian suhu 1 dan 2 didapatkan sebesar 2,69% dan 2,35%. Dari percobaan dengan pengondisian 1 dan 2 yaitu sebesar 1,33% dan 1,24%.
4. Pengondisian suhu pada percobaan sistem biogas ini mempunyai pengaruh untuk menaikkan hasil gas yang dikeluarkan dan eksergi keluaran walaupun belum signifikan. Walaupun demikian pengondisian suhu yang dilakukan belum mampu untuk menaikkan efisiensi penggunaan energi/ eksergi pada sistem biogas penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] Wolf, A. 2007. *Industrial Symbiosis in the Swedish Forest Industry, PhD Dissertation No. 1133*. Linköping University, Department of Management and Engineering, Environmental Technique and Management, Linköping, Sweden.
- [2] Joacuin da Costa. 2011. *Optimasi Produksi Biogas Pada Anaerobic Digester Biogas Type Horizontal Berbahan Baku Kotoran Sapi Dengan Pengaturan Suhu Dan Pengadukan*. (Thesis) Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- [3] Moran, M.J. dan Howard N. Shapiro. 2004. *Termodinamika Teknik Jil. 1/4*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Wahyuni, Sri. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [5] Culp, Archie W Jr. 1989. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*, terj Darwin Sitompul. Jakarta: Erlangga.
- [6] Frangopoulos, C. A. 2009. *Exergy, Energy System Analysis and Optimization*. United Kingdom: Eolss Publishers.
- [7] Szargut, J. 2005. *Exergy Method: Technical and Ecological Applications*. UK: WIT Press.
- [8] Gundersen, T. 2011. *The Concept Of Exergy And Energy Quality*. Norway: Trondheim
- [9] Bejan. et al. 1996. *Thermal Design & Optimization*. USA: John Willey & Sons.