

PENGARUH KANDUNGAN SULFAT TERHADAP PARAMETER KINETIKA MIKROBA DALAM PEMBUATAN BIOGAS DENGAN PENAMBAHAN SULFAT REDUCING BACTERIA (SRB)

EFFECT OF SULPHATE CONCENTRATIONS ON MICROBIAL KINETIC PARAMETERS OF BIOGAS PRODUCTION USING SULPHATE REDUCING BACTERIA (SRB)

Nuniek Hendrianie dan Farid Effendi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya (60111)

Telepon: (031)5946240, Faksimil: (031) 5999282

email: nuniek@chem-eng.its.ac.id

Abstract

The global energy crisis that has occurred recently made engineers and policy makers to realize that dependency on natural oil should be reduced. In order to respond to this situation, development of technology for alternative non-oil fuel production, which is environmental friendly, should be generated. Biogas is an alternative energy, which has been widely researched by many scientists. The purpose of this research is to optimize biogas production from industrial wastewater treatment sludge of PT SIER by reducing sulphate content using Sulphate Reducing Bacteria (SRB) and to determine the kinetics parameters for reactor design. The SRB which was used in this research was *Desulfovibrio desulfuricans*. The SRB reduced the formation of hydrogen sulfide (H_2S) from sulphate. From former research, it was obtained that the addition of 0.1% SRB resulted in high CH_4 and low H_2S contents. In this research batch digesters with COD/sulphate ratios of 2:1 and 2.5:1 and addition of 0.1% SRB were used for 15 days. The results showed that digester with COD/SO_4^{2-} ratio of 2:1 showed better performance than that with COD/SO_4^{2-} ratio of 2.5:1. The gas compositions in the reactor with COD/SO_4^{2-} ratio of 2:1 were: $CH_4 = 78.4\%$, $H_2S = 0.16\%$, and $CO_2 = 15.90\%$. The measured heat value in this reactor was 11,980 Kcal/kg; and the percentage of H_2S reduction was 94.30%. The gas compositions in the reactor with COD/SO_4^{2-} ratio 2.5:1 were $CH_4 = 76.82\%$, $H_2S = 0.22\%$, $CO_2 = 16.42\%$. The heat value in this reactor was 11,820 Kcal/kg, and H_2S reduction was 92.10%. The sulphate reduction in the reactor with COD/SO_4^{2-} ratio of 2:1 is 89.2%, with kinetics velocity (μ_m) = 0,008 L/day, $K_m = 5907.943$ mg/L, and Yield = 5.668. Additionally, in reactor with COD/SO_4^{2-} ratio 2.5:1, the sulphate reduction was 86.6% with kinetics velocity (μ_m) = 0.002 L/day, $K_m = 6179.315$ mg/L, and Yield = 2.626.

Keywords: sulphate, SRB, biogas, kinetics parameter

1. PENDAHULUAN

Timbulnya kelangkaan bahan bakar minyak disebabkan oleh kenaikan harga minyak dunia yang signifikan. Untuk itu Pemerintah Indonesia mengajak masyarakat guna mengatasi hal tersebut, antara lain dengan melakukan penghematan. Penghematan ini dianjurkan karena pasokan bahan bakar yang

berasal dari minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable*). Sementara di lain pihak, kebutuhan terus meningkat dan harga juga cenderung meningkat. Hal itu menyebabkan stabilitas keseimbangan antara permintaan dan penawaran terganggu. Salah satu jalan untuk melakukan penghematan BBM adalah dengan mencari sumber energi alternatif terutama

yang dapat diperbaharui (*renewable*), antara lain adalah energi biogas.

Didasarkan pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, terlihat bahwa *sludge* dapat diolah menjadi biogas. Dalam hal ini bahan organik yang terdapat dalam *sludge* akan diuraikan dengan bantuan aktivitas mikroorganisme. Aktivitas organisme tersebut membentuk zat atau senyawa lain yang lebih sederhana, salah satunya dapat terbentuk CH_4 . Yanuarita dan Asraf (2006), telah melakukan penelitian terkait pembuatan biogas dari *sludge* yang menghasilkan kandungan CH_4 71,4% dengan *heating value* (HV) = 8386 kal/kg.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan biogas dari *sludge* industri PT SIER yang mengandung sulfat cukup tinggi. Kandungan sulfat dalam *sludge* apabila bereaksi dengan sumber karbon organik dan dibantu bakteri pengoksidasi akan membentuk sulfida. Kandungan sulfida yang tinggi akan mengganggu pada proses pembuatan biogas. Oleh sebab itu diperlukan penurunan kandungan sulfida yang terdapat dalam *sludge* yang dilakukan dengan penambahan SRB (*Sulfate Reducing Bacteria*).

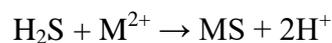
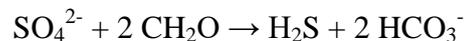
Efisiensi sulfat removal oleh SRB sebesar 90% (Mizuno dkk, 1997) serta Hendrianie dan Effendi telah melakukan penelitian yang menunjukkan bahwa penambahan SRB 0,1% v/v pada pembuatan biogas dari *sludge* PT SIER dapat menurunkan kadar H_2S sebesar 94,60%. Oleh sebab itu pada penelitian ini digunakan penambahan bakteri SRB, yaitu *Desulfovibrio desulfuricans*, sebanyak 0,1% dengan variabel rasio COD terhadap sulfat ($\text{COD}/\text{SO}_4^{2-}$). Dari penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan biogas dengan kandungan H_2S rendah dan kadar CH_4 dan HV yang memenuhi syarat biogas.

Pada penelitian ini digunakan teknologi *sludge stabilization*, yaitu *anaerobic digestion*. *Anaerobic digestion* merupakan proses

mikrobiologi yang merubah kandungan organik menjadi gas metana dan karbondioksida. Mikroba metanogen yang berperan dalam proses tersebut telah ditemukan sejak beberapa abad yang lalu.

SRB dan Aplikasinya

Bila sulfat yang terlarut bereaksi dengan sumber karbon organik, SRB mampu mereduksi sulfat menjadi sulfida yang larut. SRB yang dapat mereduksi sulfat antara lain adalah *Desulfovibrio* dan *Desulfotomaculum*. Kedua bakteri tersebut merupakan organisme anaerob obligat yang berperan sebagai akseptor elektron dan dalam reaksinya menghasilkan ion bikarbonat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Di mana M pada reaksi kimia di atas adalah logam. SRB akan bersaing dengan bakteri metanogen pada rasio $\text{COD}:\text{SO}_4^{2-}=1,7-2,7$. Apabila rasio $\text{COD}/\text{SO}_4^{2-}$ lebih tinggi maka akan lebih menguntungkan bakteri metanogen. Tetapi sebaliknya apabila rasio $\text{COD}/\text{SO}_4^{2-}$ lebih rendah maka akan lebih menguntungkan bakteri SRB. Berdasarkan pertimbangan rasio tersebut di atas maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan biogas dengan rasio $\text{COD}/\text{SO}_4^{2-}$ adalah 2 dan 2,5

Kinetika Pertumbuhan Mikroba

Pada penelitian ini diperlukan studi kinetika sebagai dasar untuk memahami setiap proses fermentasi. Kinetika pertumbuhan mikroba menguraikan tentang kecepatan produksi sel (biomassa) dan pengaruh lingkungan terhadap kecepataannya. Beberapa parameter harus diamati untuk pengukuran pertumbuhan mikroba sehingga dapat dibuat suatu kurva. Parameter-parameter tersebut adalah: *growth yield* (Y), pengaruh kadar substrat terhadap kecepatan pertumbuhan (μ_m), dan konstanta saturasi (K_m), yaitu konsentrasi substrat pada setengah laju pertumbuhan spesifik maksimum. Pada reaktor *batch* digunakan

dasar persamaan Monod sehingga diperoleh persamaan:

$$\mu_m = \frac{b}{c-1} \quad (1)$$

$$K_m = \frac{\left(\frac{1}{a}\right) + S_o}{c-1} \quad (2)$$

$$Y = a.X_o \quad (3)$$

Pada reaktor *batch* digunakan dasar persamaan Monod seperti pada persamaan (1), (2), dan (3). Sedangkan harga a diperoleh dengan cara *trial and error* kemudian dihitung harga b dan c dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a = \frac{Y}{X_o} \quad (4)$$

$$b = \frac{\mu_m}{Y \cdot K_m} (X_o - Y \cdot S_o) \quad (5)$$

$$c = 1 + \frac{X_o + Y \cdot S_o}{Y \cdot K_m} \quad (6)$$

Keterangan:

Y = *Growth yield*

X_o = Jumlah biomassa awal (mg/L)

S_o = Substrat (mg/L)

K_m = Konstanta saturasi (mg/L)

μ_m = Kecepatan pertumbuhan (/jam)

a, b, c = Konstanta

2. METODOLOGI

Dalam penelitian ini ditetapkan pH 7, temperatur 32-35°C, dan perbandingan antara kotoran sapi dengan air pada pembuatan *starter* adalah 1:2. Waktu fermentasi pada penelitian ini dilakukan selama 15 hari dan perbandingan antara *starter*, *sludge* PT SIER serta air pada umpan awal adalah 1:2:4. Dengan penambahan SRB 0,1% v/v digunakan variabel rasio COD/SO₄²⁻ = 2:1 dan 2,5:1. *Sludge* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari PT SIER dan kotoran sapi dari rumah potong hewan Prapen. Dalam penelitian

ini digunakan kotoran sapi yang masih basah bukan yang sudah kering.

Kotoran sapi dicampur air, dengan perbandingan 1:2. Selanjutnya campuran tersebut diaduk hingga merata. Setelah itu campuran disaring dengan menggunakan kain dan kemudian diambil sarinya. Setelah itu dilakukan analisis pH, COD, dan MLVSS. Sari dari kotoran sapi difermentasikan dalam tangki *starter* selama 5 hari untuk selanjutnya digunakan sebagai *starter*.

Pembuatan *starter* untuk SRB dilakukan juga seperti di atas tetapi waktu fermentasinya dilakukan selama 12 hari dengan pH asam. Umpan awal diperoleh dengan cara mencampur *starter* dengan *sludge* PT SIER dan air dengan perbandingan 1:2:4, pH dikontrol agar tetap 7. Selanjutnya campuran tersebut dilakukan analisis COD, massa jenis, kandungan air, kandungan abu, dan MLVSS. Setelah mengetahui kandungan COD-nya maka ditambahkan sulfat dengan perbandingan 2:1 dan 2,5:1. Reaktor yang digunakan berupa tabung air dengan volume 19 L dilengkapi dengan pompa, media pemanas, dan termometer.. Pompa berfungsi sebagai pengganti pengaduk, media pemanas untuk mengatur suhu dalam reaktor, dan termometer untuk mengukur suhu. Reaktor juga dilengkapi dengan tangki pengumpul untuk menampung biogas yang terbentuk serta barometer untuk mengukur tekanan biogas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

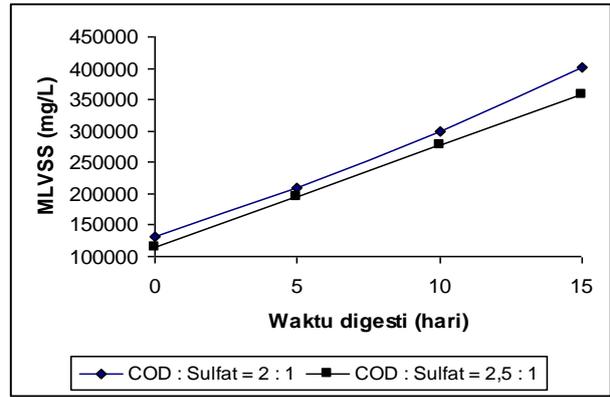
Beberapa hasil analisis tentang penurunan kadar H₂S pada pembuatan biogas dari *sludge* yang mengandung sulfat, dirangkum dalam bentuk kurva-kurva.

Pengaruh rasio COD terhadap SO₄²⁻

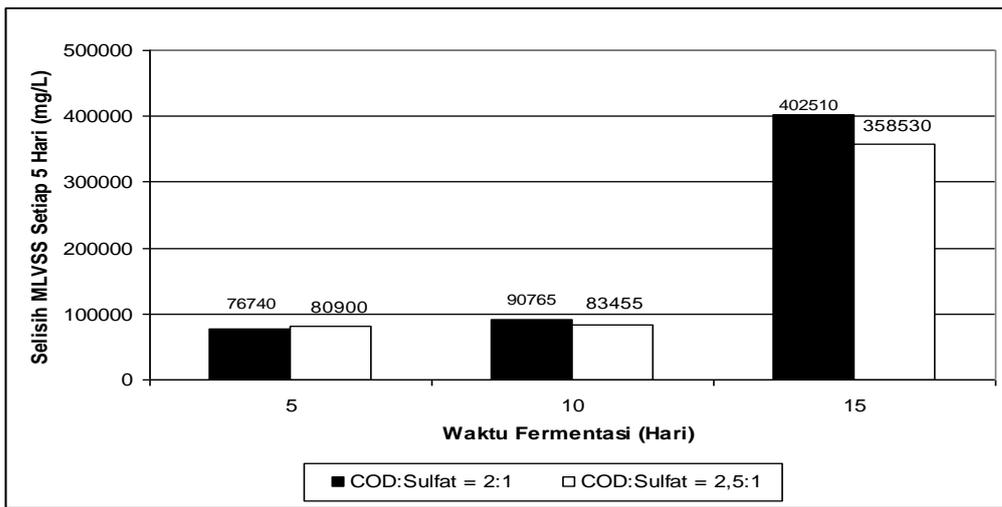
Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan dengan penambahan bakteri *Desulfovibrio desulfuricans* sebanyak 0,1% dan variabel rasio COD/SO₄²⁻ 2:1 dan 2,5:1 didapatkan hubungan antara waktu digesti dan

analisis MLVSS seperti yang disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan pada Gambar 1, pada variabel rasio COD terhadap SO_4^{2-} , dengan perbandingan 2:1 terlihat kenaikan jumlah mikroba relatif lebih tinggi dibandingkan pada perbandingan 2,5:1. Jumlah mikroba awal pada rasio 2:1 tidak sama dengan pada rasio 2,5:1. Oleh karena itu analisis MLVSS lebih jelas apabila digambarkan dalam laju pertumbuhan mikroba setiap 5 hari dalam bentuk diagram batang (Gambar 2).



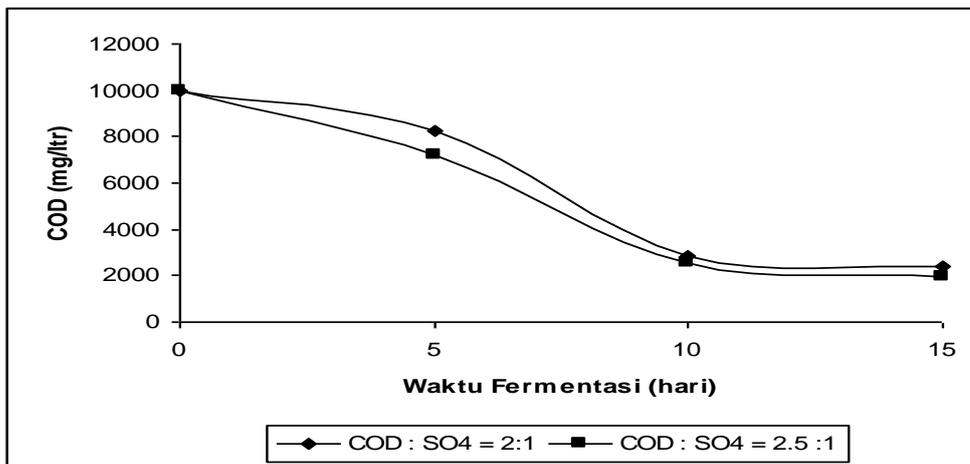
Gambar 1. Analisis MLVSS Pada Variabel Rasio COD:Sulfat



Gambar 2. Selisih MLVSS Pada Variabel COD:Sulfat

Pada pembentukan biogas dalam penelitian ini, di mana digunakan *sludge* sebagai substrat yang dinyatakan sebagai COD, didapatkan hasil seperti pada Gambar 3. Gambar 3

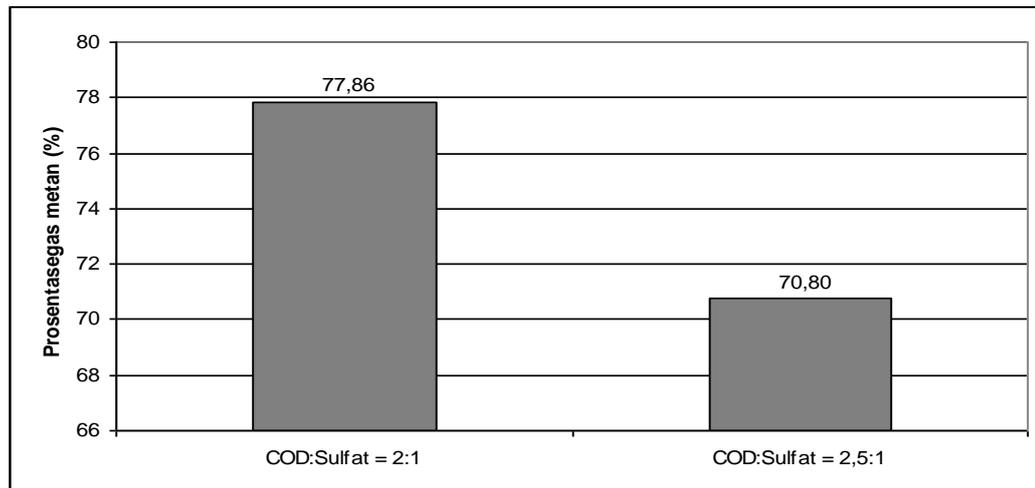
menunjukkan ada kecenderungan profil penurunan COD antara rasio 2:1 dan 2,5:1 adalah sama, tetapi pada rasio 2,5:1 penurunan COD yang terjadi lebih besar.



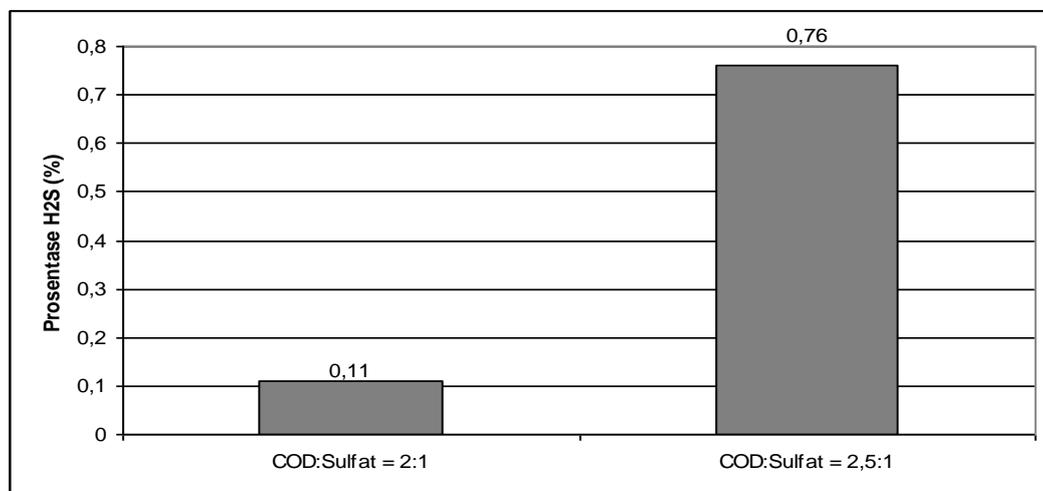
Gambar 3. Hubungan antara COD dan waktu fermentasi pada Variabel COD : Sulfat

Gambar 4 dan 5 adalah hasil analisis komposisi biogas yang dihasilkan pada

penelitian ini dengan memperhatikan pengaruh penambahan SRB dan sulfat.



Gambar 4. Komposisi CH₄ dalam Biogas dengan Rasio COD : Sulfat



Gambar 5. Komposisi H₂S dalam Biogas dengan Rasio COD: Sulfat

Kadar sulfat dan H₂S yang tereduksi dengan adanya penambahan SRB pada penelitian ini menunjukkan % konversi yang tertulis pada Tabel 1.

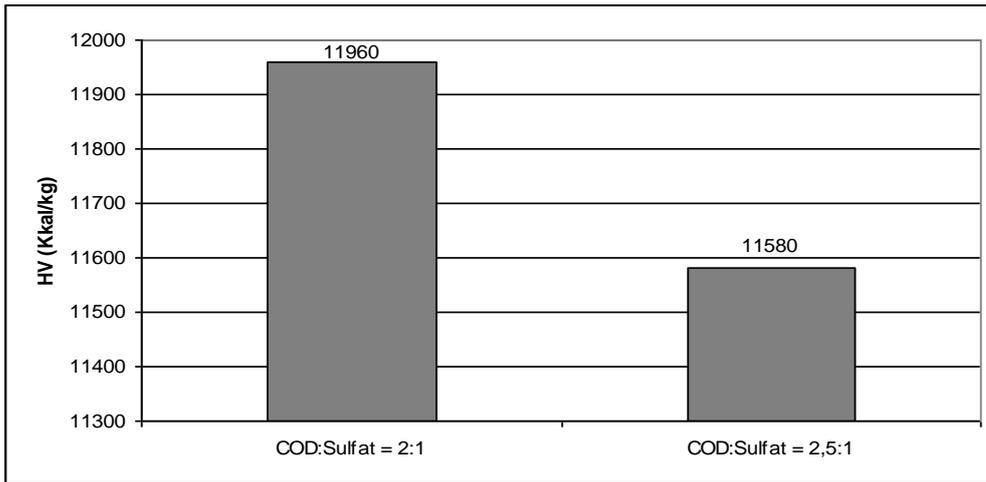
Tabel 1. Persen reduksi Sulfat dan H₂S

| Parameter | COD : SO ₄ ²⁻ | |
|---|-------------------------------------|---------|
| | 2 : 1 | 2,5 : 1 |
| % reduksi SO ₄ ²⁻ | 89,2 | 86,6 |
| % reduksi H ₂ S | 94,30 | 92,10 |

Dari penelitian ini dihasilkan nilai HV pada variabel COD/SO₄²⁻. Data dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai HV pada rasio COD/SO₄²⁻ 2:1 lebih tinggi dibandingkan

dengan nilai pada rasio COD/SO₄²⁻ 2,5:1. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

Data kinetika yang diperoleh dari penelitian ini adalah berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan. Variabel yang digunakan adalah rasio COD/SO₄²⁻ = 2:1 dan 2,5:1 dengan menggunakan persamaan reaktor *batch*. Persamaan reaktor *batch* yang digunakan didasarkan pada persamaan Monod. Dalam hal ini dilakukan trial harga a , yang menghasilkan kurva garis lurus seperti pada Tabel 2 serta Gambar 7 dan Gambar 8.



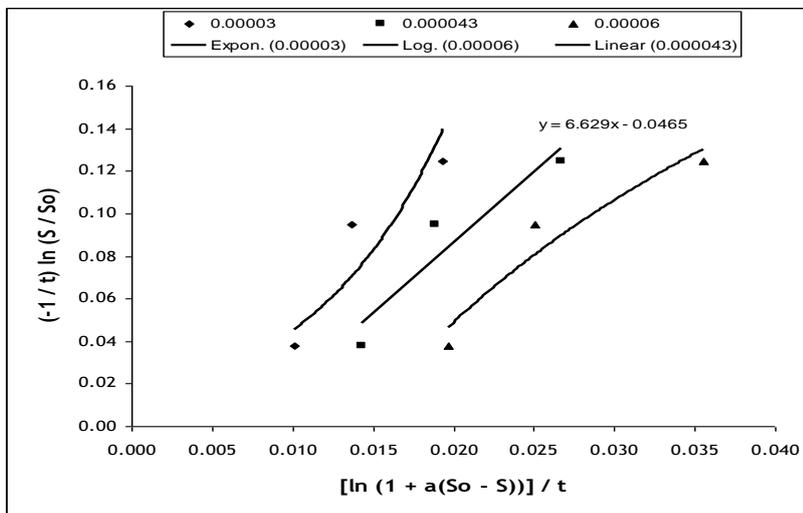
Gambar 6. Nilai HV dalam Biogas dengan Rasio COD : Sulfat

Tabel 2. Harga a untuk Variabel Rasio COD terhadap SO₄²⁻

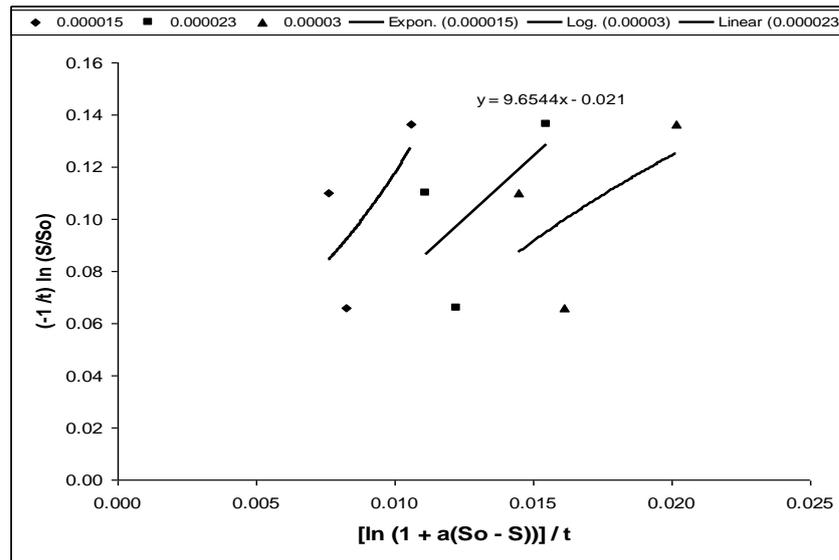
| COD/SO ₄ ²⁻ =2:1 | | | | | | | |
|--|----------|--------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------|-------------|
| t (hari) | S (mg/L) | (-1/t) | ln (S/So) | (-1/t) ln (S/So) (1/hari) | [ln (1 + a(So - S))] / t | | |
| | | | | | a = 0,00003 | a = 0,000043 | a = 0,00006 |
| 0 | 10000 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 5 | 8272,5 | -0,200 | 0,18964833 | 0,038 | 0,010 | 0,014 | 0,020 |
| 10 | 2880 | -0,100 | -1,2447948 | 0,124 | 0,019 | 0,027 | 0,036 |
| 15 | 2400 | -0,067 | 1,42711636 | 0,095 | 0,014 | 0,019 | 0,025 |
| COD/SO ₄ ²⁻ =2 : 1 | | | | | | | |
| t (hari) | S (mg/L) | (-1/t) | ln (S/So) | (-1/t) ln (S/So) (1/hari) | [ln (1 + a(So - S))] / t | | |
| | | | | | a = 0,00003 | a = 0,000043 | a = 0,00006 |
| 0 | 10000 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 5 | 7200 | -0,200 | 0,32850407 | 0,066 | 0,008 | 0,012 | 0,016 |
| 10 | 2560 | -0,100 | 1,36257783 | 0,136 | 0,011 | 0,015 | 0,020 |
| 15 | 1920 | -0,067 | 1,65025991 | 0,110 | 0,008 | 0,011 | 0,014 |

Dari perhitungan pada Tabel 2 diperoleh hasil yang menunjukkan garis lurus pada harga a = 0,000043 (untuk rasio COD/SO₄²⁻ = 2:1), dan

harga a = 0,000023 (untuk rasio COD/SO₄²⁻ = 2,5:1). Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hubungan [ln (1 + a(So - S))] / t Vs (-1/t) ln (S/So) pada Rasio COD/SO₄²⁻=2:1



Gambar 8. Hubungan $[\ln(1 + a(So - S))] / t$ Vs $(-1/t) \ln(S/So)$ pada Rasio $COD/SO_4^{2-}=2,5:1$

Selanjutnya harga-harga a dimasukkan ke persamaan (3) dengan harga $X_0 = 131810$ untuk variabel rasio $COD/SO_4^{2-}=2:1$ dan $X_0 = 114155$ pada rasio $COD/SO_4^{2-}=2,5:1$. Kemudian dihitung harga b dan c dari persamaan (5) dan persamaan (6). Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diperoleh harga μ_m dan K_m dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) dan dituliskan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Parameter Kinetika Pada Beberapa Variabel

| Parameter | COD:SO ₄ ²⁻ | |
|------------------|-----------------------------------|----------|
| | 2:1 | 2,5:1 |
| μ_m (1/hari) | 0,008 | 0,002 |
| K_m (mg/L) | 5907,943 | 6179,315 |
| Yield | 5,668 | 2,626 |

4. KESIMPULAN

Penambahan SRB sangat membantu dalam proses pembuatan biogas terutama untuk penurunan kadar H₂S. Hasil analisis komposisi biogas dengan penambahan SRB pada $COD/SO_4^{2-} = 2:1$ adalah: CH₄=78,47%, H₂S=0,16%, CO₂=15,90% dan HV=11960 Kkal/kg. Untuk $COD/SO_4^{2-} = 2,5:1$ adalah CH₄=76,82%, H₂S=0,22%, CO₂=16,42% dan HV=11580 Kkal/kg.

Kadar H₂S yang tereduksi dengan adanya penambahan SRB menunjukkan persen

konversi sebagai berikut: $COD/SO_4^{2-}=2:1$ sebesar 94,30% dan $COD/SO_4^{2-}=2,5:1$ adalah 92,10%. Parameter kinetika yang diperoleh untuk $COD/SO_4^{2-}=2:1$, harga μ_m dan Yield lebih besar dari $COD/SO_4^{2-}=2,5:1$. Sedangkan harga K_m lebih kecil $COD/SO_4^{2-}=2:1$ dibandingkan pada rasio $COD/SO_4^{2-} = 2,5:1$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada: (1) Dr. Ir. Sri Rachmania Yuliasuti, yang telah memberikan masukan, (2) Saudara Nur Asiyah serta Diyanti Putri Utari yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Smul, A., Goethals, L. dan Verstraete, W. (1999). Effect of COD to Sulphate Ratio and Temperature in Expanded-Granular-Sludge-Blanket Reactors for Sulphate Reduction. *Process Biochemistry*. 34. 407-416.
- Balley, J.E dan Ollis, D.F. (1997). *Biochemical Engineering Fundamentals*. McGraw Hill Book. Company.
- Bitton Gabriel (1999). *Wastewater Microbiology*. A John Wiley and Sons, Inc Second Edition.

- Chang, I.S., Shin, P.K. dan Kim, B.H. (1999). Biological Treatment of Acid Mine Drainage Under Sulphate-Reducing Conditions With Solid Waste Material As Substrate. *Water Research*. 34. 1269-1276.
- Gray, N.F. (1990). Activated Sludge Theory and Practice. Oxford Science Publications.
- Hendriani, N. dan Effendi (2008). Reduksi Kandungan Sulfat dalam Sludge Lumpur Aktif dengan Bantuan Mikroba SRB (*Sulfat Reducing Bacteria*) Pada Pembuatan Biogas. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono*. <http://www.Inovasi.lipi.go.id/anto.htm>.
- Lee, J.M. (1992). Biochemical Engineering. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Malina, J.F dan Pohlan, F.G. (1992). Design of Anaerobic Processes for The Treatment of Industrial And Municipal Wastes. Tecnominc Publishing Co. Inc. 7.
- Nedwell, D.B dan Reynolds, P.J. (1996). Treatment of Landfill Leachate by Methanogenic and Sulphate-Reducing Digestion. *Water Resources*. 30. 21-28.
- Mizuno, O., Li, Y.Y. dan Noike, T. (1997). The Behavior of Sulfat Reducing Bacteria in Acidogenic Phase of Anaerobic Digestion. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tohoku University, Aoba, Sendai, Japan and Technical Research Institute.
- Sundstrom, D.W dan Klei Herbert E. (1979). Wastewater Treatment. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Yanuarita, D. dan Asraf, N. (2006). Pembuatan Biogas dari Sludge. Skripsi Jurusan Teknik Kimia ITS, Surabaya.