

## Eksplorasi Produksi Biohidrogen dari Fraksi Organik Sampah Rumah Tangga dengan Penambahan Zat Aditif N,P dan K

Firmanullah Fadlil<sup>1</sup>, Rochim Bakti Cahyono<sup>1,2</sup>, Wiratni Budhijanto<sup>1,3,a</sup>,

<sup>1</sup>Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, 55281, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Energy and Environment Group, Universitas Gadjah Mada, 55281, Yogyakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Bioresource Engineering Group, Universitas Gadjah Mada, 55281, Yogyakarta, Indonesia

<sup>a)</sup>[wiratni@ugm.ac.id](mailto:wiratni@ugm.ac.id)

**Abstract.** Fraksi organik sampah rumah tangga adalah salah satu potensi sumber energi terbarukan melalui konversi menjadi metana dan hidrogen. Dengan pengaturan pH yang tepat, proses anaerob dapat menghasilkan metana atau hidrogen. Penelitian ini bertujuan mempelajari peningkatan produksi biohidrogen dari fraksi organik sampah rumah tangga dengan penambahan zat aditif berupa pupuk NPK. Pupuk NPK berfungsi sebagai penyempurnaan nutrisi bagi mikroba anaerob. Ketersediaan bahan organik pada substrat untuk mikroba anaerob direpresentasikan dengan VS (*volatile solid*) dan inokulum yang digunakan berupa kotoran sapi. Pupuk NPK ditambahkan ke dalam 440 mL substrat dengan variasi dosis 5,840 g (R1); 7,280 g (R2); dan 8,745 g (R3). Penelitian ini dijalankan dalam reaktor *batch* selama 30 hari pada suhu ruangan. Analisis yang dilakukan mencakup analisis kandungan gas menggunakan GC (*Gas Chromatography*) serta analisis sampel campuran yang meliputi VS (*volatile solid*), TS (*total solid*), dan pH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan zat aditif berupa pupuk NPK dengan jumlah terukur berpengaruh positif dalam meningkatkan produksi gas hidrogen dari sampah organik rumah tangga. Selain itu, nilai pH merupakan faktor yang penting dalam proses anaerob ini. Pada pH 4 produk gas yang dihasilkan didominasi oleh H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Rasio C/N yang menghasilkan gas terbanyak adalah 20:1.

Kata kunci : aditif, anaerob, biohidrogen, inokulum, sampah organik

### PENDAHULUAN

Sejalan dengan pertumbuhan populasi manusia, jumlah produksi sampah yang dihasilkan pun meningkat. Negara maju menghasilkan 100-170 kg sampah rumah tangga perkapita pertahun atau dua kali lebih banyak dibandingkan negara berkembang<sup>[1]</sup>. Akan tetapi, terdapat perbedaan sumber sampah negara maju dan negara berkembang. Di negara berkembang, 80-90% sampah dihasilkan pada tahapan rantai produksi awal, yaitu umumnya sebelum dan sesudah panen sehingga kandungan

fraksi organiknya cenderung tinggi<sup>[2]</sup>. Di lain pihak, di negara maju lebih dari 40%<sup>[2]</sup> sampah dihasilkan pada tahapan retail dan konsumen yang pada umumnya berupa sampah anorganik dan lebih mudah untuk didaur ulang.

Semakin meningkatnya jumlah sampah akan menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, seperti pencemaran udara, air dan bau yang sangat mengganggu lingkungan. Mengingat sampah rumah tangga di Indonesia terdiri atas kurang lebih 60% sampah organik<sup>[3]</sup>,

maka sampah organik ini berpeluang dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang masih bermanfaat, misalnya pupuk organik atau bahan bakar terbarukan.

Salah satu jenis bahan bakar terbarukan yang dapat dihasilkan oleh sampah organik adalah biohidrogen. Keunggulan biohidrogen ini adalah memiliki kandungan energi yang tinggi yakni sebesar 142,35 kJ per gram, yang merupakan 2,75 kali lebih besar dari bahan bakar hidrokarbon<sup>[4]</sup>. Keunggulan lain dari biohidrogen adalah produk akhir pembakaran berupa air, dapat dilakukan pada kondisi temperatur ruang, energi yang dibutuhkan rendah, dan ramah lingkungan<sup>[5,6]</sup>.

Konversi sampah organik menjadi pupuk organik maupun biogas telah banyak ditelaah<sup>[7,8,9,10]</sup>. Oleh karena itu, dalam studi ini dilakukan eksplorasi ke arah potensi lain dari sampah organik, yaitu untuk produksi biohidrogen.

Proses anaerobik pada sampah organik pada umumnya menghasilkan bahan bakar gas dalam bentuk biogas yang didominasi oleh metana<sup>[11,12,13]</sup>. Proses produksi biogas dari bahan organik berlangsung pada pH di sekitar 7. Jika proses anaerobik dijalankan pada pH di sekitar 4-5, maka gas yang dihasilkan akan mengandung hidrogen yang disebut biohidrogen, sementara produksi metana justru sangat sedikit.

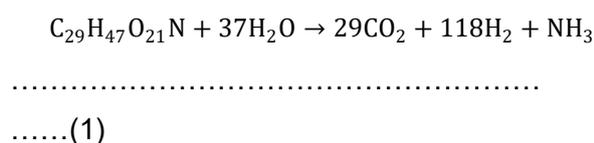
Meskipun sampah organik rumah tangga (selanjutnya disebut sebagai "sampah organik") secara teoritis dapat digunakan sebagai substrat pembuatan biohidrogen secara anaerobik<sup>[5,14]</sup>, namun dalam prakteknya seringkali menemui beberapa kendala. Kendala yang biasa ditemui antara lain tidak stabilnya proses, akumulasi VFA yang berlebihan, dan pembentukan buih (*foaming*) selama proses sehingga biohidrogen yang dihasilkan tidak optimal. Problem ini terutama disebabkan karena fluktuasi komposisi fraksi organik sampah yang tidak konstan.

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk stabilisasi substrat dalam rangka meningkatkan produksi biohidrogen ialah dengan penambahan nutrient makro N, P, dan K. Penambahan nutrient ini bertujuan mengoreksi komposisi fraksi organik pada sampah rumah tangga agar mendekati komposisi idealnya, yaitu rasio C/N kurang lebih 30 dan kandungan fosfor serta kalium tercukupi<sup>[12,15]</sup>.

Studi ini bertujuan untuk menentukan jumlah penambahan aditif paling efektif dalam mengoptimalkan jumlah produksi biohidrogen. Nilai optimal produksi biohidrogen ditentukan dari produktivitas biohidrogen yang paling mendekati nilai produktivitas stoikiometris dari sampah organik artifisial yang digunakan dalam penelitian ini. Potensi teoritis maksimum biogas

didapatkan dari persamaan stoikiometri berdasarkan rumus kimia empiris dari komponen makro substrat yang digunakan.

Rumus kimia empiris sampah organik yang digunakan dalam penelitian ditentukan berdasarkan jumlah C, H, O, dan N yang berasal dari hasil analisis protein (C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>N), lemak (C<sub>57</sub>H<sub>104</sub>O<sub>6</sub>), dan karbohidrat (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) sebagaimana tercantum dalam Tabel 1. Dari data komposisi makro pada Tabel 1, diperoleh bahwa rumus empiris sampah organik dalam penelitian ini adalah C<sub>29</sub>H<sub>47</sub>O<sub>21</sub>N. Estimasi produktivitas maksimum hidrogen dalam proses anaerob didasarkan pada persamaan reaksi empiris pada Pers. 1 yang merupakan modifikasi persamaan Parkin dan Owen<sup>[16]</sup>.



## METODOLOGI PENELITIAN

### 1. Bahan

#### 1.1. Sampah organik

Sampah organik yang digunakan dalam percobaan ini merupakan sampah organik buatan (artifisial) yang terdiri dari bayam, daun, nasi, ikan, pepaya dan pisang. Pertimbangan pemilihan jenis makanan ini adalah observasi rata-rata kandungan sampah organik rumah

tangga. Komponen makro yang terdapat dalam substrat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen makro

|             | Bayam (% w/w) | Daun (% w/w) | Nasi (% w/w) | Ikan (% w/w) | Pepaya (% w/w) | Pisang (% w/w) |
|-------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Lemak       | 0,12          | 1,25         | 0,02         | 3,71         | 0,69           | 0,69           |
| Protein     | 2,17          | 9,14         | 2,47         | 23,6         | 0,55           | 1,36           |
| Karbohidrat | 2,29          | 47,25        | 23,1         | 0,34         | 8,87           | 24,69          |
| Air         | 95,42         | 42,36        | 74,41        | 72,35        | 89,89          | 73,26          |

#### 1.2. Inokulum

Inokulum merupakan material yang ditambahkan ke dalam substrat sebagai bibit mikroba untuk peruraian anaerob. Inokulum yang digunakan dalam penelitian ini adalah efluen (cairan keluar) dari reaktor biogas (biodigester) berbahan baku kotoran sapi. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya inokulum efluen biodigester kotoran sapi merupakan inokulum yang paling tepat untuk substrat sampah organik rumah tangga. Inokulum ini didapatkan dari biodigester aktif di salah satu rumah peternakan sapi di Kaliurang, Sleman. Sebelum digunakan, inokulum tersebut disaring untuk memisahkan padatan-padatan besar yang terikut. Karakteristik inokulum yang digunakan tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Inokulum

| Karakteristik | Efluen biodigester kotoran sapi |
|---------------|---------------------------------|
| pH            | 9,30                            |
| sCOD (mg/L)   | 2.097                           |
| VFA (mg/L)    | 1.011,73                        |

|               |                  |
|---------------|------------------|
| TS (mg/L)     | 87.722,12        |
| VS (mg/L)     | 66.647,41        |
| Total bakteri | $12 \times 10^5$ |

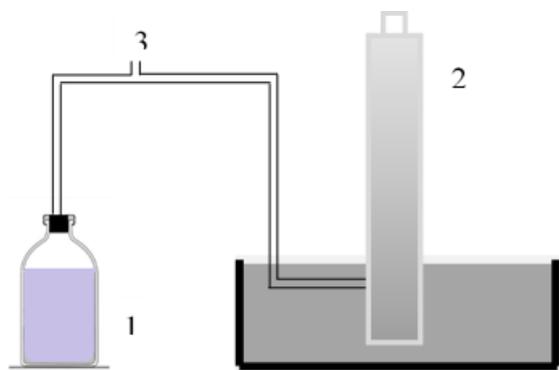
## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Penambahan zat aditif

Zat aditif yang digunakan dalam percobaan ini pupuk NPK PHONSKA dengan komposisi 15%N,15%P, dan 15%K. Pupuk NPK yang ditambahkan ke dalam reaktor ( 440 mL) dengan variasi 5,840 g (R1); 7,280 g (R2); dan 8,745 g (R3). Sebagai buffer, ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  6% (berat substrat) ke dalam masing-masing reaktor <sup>[17]</sup>.

### 2.2. Reaktor

Eksperimen dijalankan menggunakan 4 buah reaktor batch, yang terdiri atas 3 reaktor untuk 3 variasi NPK (R1, R2, R3), dan 1 reaktor untuk proses tanpa penambahan aditif (R0). Reaktor berupa botol serum 500 mL yang dihubungkan dengan alat pengukur gas berupa *water displacement method*<sup>[19]</sup> seperti tertera pada Gambar 1.



Keterangan :

1. Digester
2. Gasometer
3. Gas sampling point

Gambar 1. Rangkaian Alat

Perincian dari 3 jenis variasi penambahan zat aditif dan kode eksperimen tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Reaktor dengan Variasi Aditif

| Nama Reaktor | Sampah buatan (g) | NPK (g) | Inokulum                               |
|--------------|-------------------|---------|--|
| R0           | 165               | 0       | Efluen biodigester kotoran sapi 110 mL |
| R1           | 165               | 5,840   |  |
| R2           | 165               | 7,280   |  |
| R3           | 165               | 8,745   |  |

Setiap variasi reaktor terdiri atas 10 buah reaktor botol yang berisi bahan yang mula-mula identik. Botol sampel dibongkar secara berurutan pada waktu yang berbeda untuk mendapatkan data pada berbagai waktu.

## 3. Data Analisis

Pengambilan sampel cairan dan pengamatan produksi biogas dilakukan seminggu sekali. Variabel yang diamati adalah total solid (TS), volatile solid (VS), pH, volume biogas yang dihasilkan, dan komposisi gas dalam biogas. Kandungan hidrogen dan karbondioksida dalam biogas dianalisis seminggu sekali menggunakan GC Shimadzu 8A. Analisis TS dan VS dilakukan sekali dalam seminggu menggunakan metode standard<sup>[18]</sup>. Volum biohidrogen dimonitor

setiap hari dengan *water displacement method*<sup>[19]</sup> yang kemudian dikonversikan ke dalam volume *standard temperature and pressure* (STP).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kandungan organik dalam studi ini direpresentasikan sebagai VS. Untuk menyederhanakan analisis, substrat yang kompleks ini dianggap sebagai *pseudo single-substrate*. Produksi biohidrogen yang ditampilkan merupakan representasi dari biohidrogen yang diproduksi dibandingkan dengan potensi teoritis dari stoikiometri persamaan reaksi pada Pers. 1.

### Produksi Maksimum Stoikiometri Biohidrogen

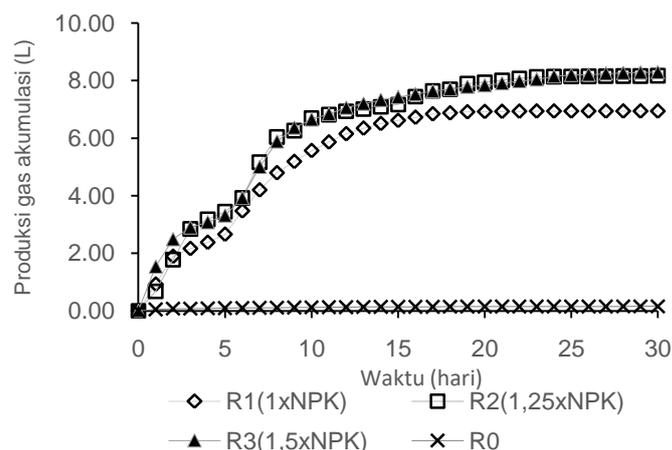
Produktivitas biohidrogen teoritis secara stoikiometris ditunjukkan pada Tabel 4. Perhitungan stoikiometri didasarkan pada persamaan (1) untuk *pseudo single-substrate* sampah organik buatan. Rumus molekul empiris sampah organik artifisial dalam penelitian ini didefinisikan sebagai  $C_{29}H_{47}O_{21}N$ . Formulasi dari rumus molekul empiris berdasarkan pada analisis makro komponen yang ditunjukkan oleh Tabel 1. Berdasarkan berat molekul empiris sampah organik tersebut, jumlah bahan baku awal yang dimasukkan ke dalam semua reaktor setara dengan 0,0547 mol  $C_{29}H_{47}O_{21}N$ . Dengan demikian, diperoleh

potensi teoritis gas-gas yang dihasilkan dari reaksi anaerobik ini sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Potensi Maksimal Biohidrogen

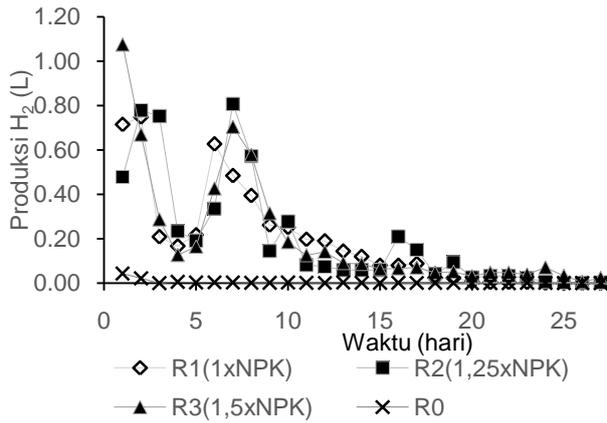
| Komponen           | Potensi Stoikiometri (L-STP/mol sampah organik) |
|--------------------|---|
| CO <sub>2</sub>    | 649,6   |
| H <sub>2</sub>     | 1321,6  |
| NH <sub>3</sub>    | 22,4  |
| Total produksi gas | 1993,6  |

### Efek Penambahan Zat Aditif

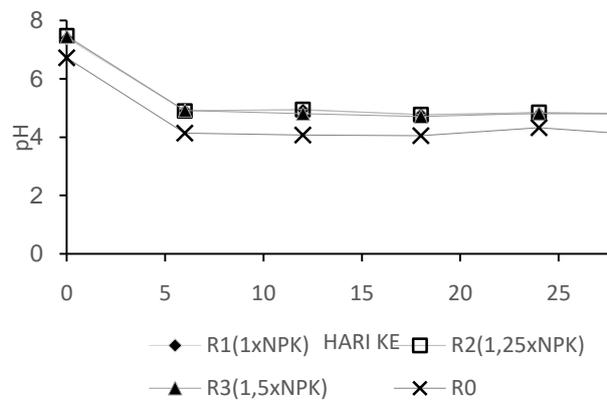


Gambar 2. Produksi gas total

Gambar 2 menunjukkan bahwa produksi total gas untuk reaktor R1, R2 dan R3 lebih besar nilainya dibandingkan reaktor R0. Hal ini mengindikasikan bahwa proses hidrolisis dan asidifikasi pada sampah organik padat yang diberikan penambahan zat aditif berupa pupuk NPK (R1, R2, R3) terjadi lebih cepat dan menghasilkan gas lebih banyak dibandingkan reaktor tanpa aditif (R0).



Gambar 3. Produksi H<sub>2</sub> Harian

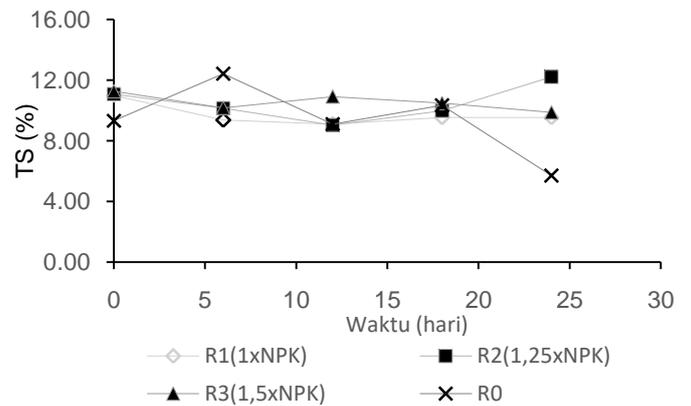


Gambar 4. Kondisi pH Pada Berbagai Reaktor

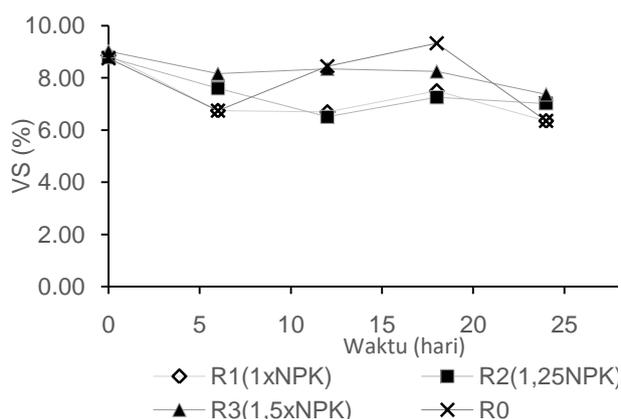
Zat aditif berupa pupuk NPK tersebut merupakan nutrisi yang berpengaruh positif pada kinerja bakteri untuk mencerna substrat (lipid, protein, karbohidrat) menjadi komponen yang lebih sederhana (gula rantai pendek, asam amino, asam lemak, gliserin), sehingga memudahkan bakteri asidogen mengubah komponen sederhana tersebut menjadi VFA, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>. Hal ini didukung dengan penurunan pH yang terjadi, dapat dilihat bahwa pada hari pertama didapatkan pH 6,7-7,45 menjadi 4,14-4,92 pada hari ke-6. Dapat dilihat pada

Gambar 2 bahwa jumlah akumulasi gas paling banyak ada pada R3 diikuti R2, R1, R0.

Gambar 3 menunjukkan produksi gas pada hari 3 sampai 5 mengalami penurunan, kemudian mengalami kenaikan hal ini kemungkinan disebabkan akumulasi VFA yang ditunjukkan oleh penurunan pH secara drastis yang ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai pH dari 6,7-7,45 menjadi 4,14-4,92 pada hari ke-5, pada awalnya merupakan shock yang menghambat bakteri metanogen, sehingga kemudian menyebabkan produksi hidrogen yang lebih dominan daripada pembentukan metana. Dengan demikian, dalam penelitian ini tidak terbentuk metana, walaupun rasio C/N untuk semua reaktor sudah ideal untuk proses anaerob (Tabel 5).



Gambar 5. TS untuk masing-masing reaktor



Gambar 6. VS untuk masing-masing reaktor

Tabel 5. Rasio C/N

|           | R0 | R1 | R2 | R3 |
|-----------|----|----|----|----|
| Rasio C/N | 29 | 22 | 21 | 20 |

Tabel 6. Ringkasan VS removal dan Total Produksi Gas R0,R1,R2,R3

| Jenis Reaktor | Biohidrogen (H <sub>2</sub> ) aktual (Lt/gr VS) | Total gas aktual (Lt) | Potensi gas dalam reaktor (Lt) | Jumlah biohidrogen (H <sub>2</sub> ) total aktual (Lt) | VS removal (%) | % dari potensi stoikiometri biohidrogen (H <sub>2</sub> ) |
|---------------|---|-----------------------|--------------------------------|--|----------------|---|
| R0            | 0,01  | 0,16                  | H <sub>2</sub> (72,30)         | 0,11   | 27,39          | 0,15  |
| R1            | 0,46  | 5,94                  | ) CO <sub>2</sub> (35,53)      | 5,03   | 28,34          | 6,97  |
| R2            | 0,71  | 8,17                  | ) NH <sub>3</sub> (1,22)       | 5,53   | 20,13          | 7,66  |
| R3            | 0,77  | 8,29                  |                                | 5,60   | 18,25          | 7,75  |

Produksi total biohidrogen yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa R3 merupakan

reaktor yang menghasilkan biohidrogen terbanyak, diikuti dengan R2, R1 dan R0. Karena salah satu faktor yang menentukan jumlah produksi gas adalah rasio C/N, maka didapati bahwa jumlah produksi biohidrogen terbanyak memiliki kaitan dengan rasio C/N yaitu R3 dengan rasio C/N = 20:1 (Tabel 5).

Tabel 6 menunjukkan bahwa produktivitas biohidrogen dalam penelitian eksploratif ini masih rendah, yaitu hanya 7,75% dari potensi stoikiometrisnya. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa peruraian senyawa organik dalam proses ini memang belum cukup baik, dilihat dari penurunan nilai TS (Gambar 5) dan nilai VS (Gambar 6) yang baru mencapai kurang-lebih 20%. Hal ini mengindikasikan bahwa masih banyak ruang untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang produksi biohidrogen ini.

## KESIMPULAN

Penambahan zat aditif berupa pupuk NPK ke dalam 400 mL sampah organik dapat meningkatkan produksi gas hidrogen dari 0,16 L (tanpa zat aditif) menjadi 8,29 L (8,745 gr zat aditif). Selain itu, nilai pH merupakan faktor yang penting dalam proses anaerob ini. Pada pH 4 produk gas yang dihasilkan didominasi oleh H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Rasio C/N yang menghasilkan gas terbanyak adalah 20:1.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]T. Dung, B. Sen, C. Chen, G. Kumar, C. 2014. *LinFood waste to bioenergy via anaerobic processes*.Energy Procedia, 61 , pp. 307-31
- [2]FAO, 2011. Global food losses and food waste. URL:<http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>. Accessed on 5/15/2017
- [3]Pathak, D.R..2017. *Solid Waste Management Baseline Study of 60 New Municipalities*. 10.13140/RG.2.2.11930.24006/1
- [4]Logan, B. E., 2004. *Extracting Hydrogen and Electricity from Renewable Resources*, Enviromental Sci. Tech., 38 (9)pp. 160-7
- [5]Tugba Keskin, Haris Nalakath Abubackar, Kubra Arslan, Nuri Azbar. 2019. *Biohydrogen Production From Solid Wastes*. Biohydrogen. pp 321-346.
- [6]P.C. Hallenbeck. 2005.*Fundamentals of the fermentative production of hydrogen*, Water Sci. Tech nol. 52.pp 21-29
- [7]Posmanik, R., Labatut, R., Kim, A., Usack, J., Tester, J., Angenent, L., 2017. *Coupling hydrothermal liquefaction and anaerobic digestion for energy valorization from model biomass feedstocks*. Bioresour. Technol. 233, pp 134–143
- [8]Lin, C., Pfaltzgraff, L., Herrero-Davila, L., Mubofu, E., Abderrahim, S., Clark, J., Koutinas, A., Kopsahelis, N., Stamatelatou, K., Dickson, F., Thankappan, S., Mohamed, Z., Brocklesby, R., Luque, R., 2013. *Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective*. Energy Environ. Sci. 6,pp 426–464
- [9]Yang, L., Xu, F., Ge, X., Li, Y., 2015. *Challenges and strategies for solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44, pp 824-834.
- [10]Sheets, J.P., Yang, L., Ge, X., Wang, Z., Li, Y., 2015. *Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste*.Waste Manag. 44, pp 94–115.
- [11]Bhakov, Z. K., Korazbekova, K. U., and Lakhanova, K. M. 2014. *The kinetics of biogas production from codigestion of cattle manure*. Pak. J. Biol. Sci. 17, pp 1023–1029.
- [12]Deublein, Dieter & Steinhauser, Angelika. 2011. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. 10.1002/9783527632794.
- [13]Yang, L., Ge, X., Wan, C., Yu, F., Li, Y., 2014. *Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 40, pp 1133–1152.
- [14]Ganesh Dattatraya Saratale<sup>1</sup>, Rijuta Ganesh Saratale<sup>2</sup>, J. Rajesh Banu<sup>3</sup>, Jo-Shu Chan. 2019. *Biohydrogen Production from Renewable Biomass Resources*.Biohydrogen.pp 247-277
- [15]Fuqing Xu, Yangyang Li, Mary Wicks, Yebo Li, and Harold Keener. 2018. *Anaerobic Digestion of Food Waste for Bioenergy Production*. Elsevier, pp 530-537
- [16]G. F. Parkin and W. F. Owen. 1986. *Fundamentals of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludges*
- [17]Brummeler, E.T., and Koster, I.W. 1989. *The effect of several pH control chemicals on the digestion of the organic fraction of municipal solid waste*. Resources, Conservation and recycling, 3,pp. 19-32
- [18]APHA.1998.*Standard methods for the examination of water wastewater*. 18 ed. American Public Health Association, Washington DC, USA.

[19]M. Walker, Y. Zhang, S. Heaven and C. Banks. 2009. *Bioresource Technology* 100, pp. 6339 – 6346