

## Pemanfaatan Limbah Botol Kaca Bekas sebagai Reaktor Sederhana pada Pembuatan Biogas Skala Laboratorium

Yuli Erna Widyasari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Bioindustri, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran Malang 65145, email: yulierna1983@ub.ac.id

Submisi: 6 Juli 2022; Penerimaan: 29 Agustus 2022

### ABSTRAK

Biogas adalah salah satu jenis energi terbarukan yang menarik untuk dikembangkan. Uji potensi pembentukan gas metana ( $CH_4$ ) perlu dilakukan karena metana merupakan gas paling banyak persentasenya pada biogas. Uji potensi gas metana dapat dilakukan dengan menggunakan metode Biochemical Methane Potential (BMP) test. Reaktor dalam uji BMP harus memiliki volume yang disesuaikan dengan homogenitas substrat. Alternatif bahan yang dapat digunakan untuk reaktor salah satunya adalah botol kaca bekas. Botol kaca mempunyai ketahanan yang cukup tinggi, tidak mudah terkontaminasi. Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui apakah botol kaca bekas dapat digunakan sebagai reaktor sederhana untuk uji BMP pada penelitian biogas skala laboratorium. Pembuatan reaktor sederhana pada percobaan ini menggunakan botol dengan volume 140 ml. Alat dan bahan yang dibutuhkan antara lain tutup botol aluminium, 3-way stopcock, glue gun, lem tembak (glue stick) dan plastisin. Setelah selesai dirangkai, reaktor sederhana tersebut siap digunakan untuk pengujian BMP. Hasil percobaan menggunakan limbah kulit jagung menunjukkan bahwa rerata volume biogas kumulatif yang dihasilkan untuk sampel inokulum,  $\alpha$ -selulosa, dan limbah kulit jagung adalah 44,44 ml; 164,70 ml; dan 163,48 ml. Rata-rata potensi metana spesifik untuk sampel inokulum,  $\alpha$ -selulosa, dan limbah kulit jagung adalah 0,026  $m^3/kg$  VS; 0,501  $m^3/kg$  VS; dan 0,462  $m^3/kg$  VS. Berdasarkan percobaan tersebut maka reaktor sederhana dari botol kaca bekas dapat digunakan untuk uji BMP pada penelitian biogas skala laboratorium.

**Kata Kunci:** BMP test; biogas; botol kaca; reaktor

### PENDAHULUAN

Saat ini, pengembangan energi terbarukan dengan bahan limbah organik maupun limbah pertanian menjadi salah satu bahasan atau topik penelitian yang cukup menarik. Hal tersebut dikarenakan semakin meningkatnya pertambahan jumlah penduduk yang menyebabkan peningkatan kebutuhan energi. Namun pemenuhan kebutuhan energi yang selama ini bersumber pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam, yang sumbernya terbatas. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan energi terbarukan, salah satunya biogas.

Biogas merupakan gas campuran yang sebageian besar tersusun atas metana ( $CH_4$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ) dan gas lain dalam jumlah yang kecil seperti hidrogen sulfida, nitrogen, hidrogen, amonia dan uap air (Kainthola *et al.*, 2019; Krisdianty dkk., 2014). Gas tersebut dihasilkan pada proses *anaerobic digestion* (AD) dari bahan organik yang dibantu oleh mikroorganisme (Krisdianty dkk., 2014). Pemanfaatan biogas dapat digunakan sebagai energi bahan bakar karena biogas memiliki persentase metana yang cukup tinggi, yaitu 55–75% (Maluegha dkk., 2018). Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar seperti gas LPG

(*Liquefied Petroleum Gas*) dan juga dapat digunakan sebagai sumber energi untuk penggerak generator listrik (Pane dkk., 2016). Biogas dapat dihasilkan melalui proses *anaerobic digestion* dari biomasa seperti sisa kotoran ternak, sisa makanan, limbah pertanian, lumpur sisa pengolahan air dan limbah organik lainnya (Kurniawan and Aditsania, 2016). Biogas dapat diproduksi dari berbagai aliran limbah organik atau sebagai produk sampingan pada proses industri (Horváth *et al.*, 2016). Pemanfaatan atau penggunaan limbah untuk produksi biogas menjadi keunggulan tersendiri dan akan sangat menguntungkan baik pada aspek energi maupun lingkungan (Kurniawan and Aditsania, 2016).

Dalam penelitian biogas, perlu dilakukan pengamatan berupa uji potensi pembentukan gas metana. Hal tersebut dikarenakan metana merupakan penyusun utama biogas. *Biochemical Methane Potential (BMP) test* merupakan metode yang dapat digunakan untuk uji potensi gas metana. Analisis BMP merupakan cara yang dapat dilakukan untuk mengkarakterisasi biodegradabilitas bahan organik dan menentukan jumlah karbon organik yang dapat diubah secara anaerobik menjadi metana (Pecorini *et al.*, 2012). Dalam pengujian, substrat dicampur dengan kultur bakteri anaerob atau inokulum yang diambil dari digester aktif. Botol kemudian disimpan pada suhu stabil 35–55 °C, dan terus-menerus dicampur selama 30–60 hari (Filer *et al.*, 2019). Reaktor yang digunakan untuk pengujian BMP harus memiliki volume yang disesuaikan dengan homogenitas substrat, volume gas yang diharapkan untuk dihasilkan, dan sensitivitas teknik pengukuran gas. Volume yang lebih kecil (~100 ml) dapat digunakan untuk substrat homogen, sedangkan volume yang lebih besar (500 ml hingga 2.000 ml) lebih cocok untuk substrat heterogen

(Holliger *et al.*, 2016). Oleh karena itu, dalam pemilihan reaktor perlu disesuaikan dengan volume yang diharapkan di mana untuk skala laboratorium lebih tetap menggunakan volume yang kecil (~100 ml).

Botol kaca bekas merupakan salah satu alternatif untuk digunakan sebagai reaktor dalam pengujian BMP. Limbah botol kaca adalah limbah yang berbahan kaca dan berasal dari penggunaan pada kegiatan sehari-hari baik itu industri maupun kegiatan lainnya. Limbah tersebut merupakan material yang secara alami tidak dapat didaur ulang (Suhartini dkk., 2014). Limbah botol kaca banyak dijumpai di lingkungan sekitar, dapat berasal dari konsumsi minuman, saus, selai, dan kecap (Rizali dkk., 2020). Botol yang berasal dari material kaca memiliki ketahanan yang cukup tinggi, sehingga jika digunakan tidak mudah hancur dan juga terkontaminasi. Pemanfaatan limbah botol kaca bekas sebagai reaktor sederhana pada uji BMP bertujuan untuk menerapkan salah satu prinsip 5R, yaitu *reuse* atau pemakaian kembali barang bekas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang reaktor sederhana dari botol kaca bekas dan mengetahui kinerja dari reaktor sederhana tersebut.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan utama pada percobaan pembuatan reaktor sederhana ini terdiri dari botol volume 140 ml, tutup botol aluminium, pipa sambungan kepala tiga (*3-way stopcock*), alat lem tembak (*glue gun*), lem tembak (*glue stick*) dan plastisin. Alat dan bahan utama tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Alat dan bahan pendukung pada percobaan ini adalah autoklaf merk Hirayama tipe HVE-50, sampel penelitian biogas, *waterbath* merk Julabo tipe SW 22 dan manometer

merk Digitron 2026P. Sampel yang digunakan untuk percobaan penelitian biogas dengan reaktor sederhana adalah limbah kulit jagung dan inokulum berupa digestate yang berasal dari hasil *Anaerobic Digestion* (AD) di Balai Besar Pelatihan Peternakan (BBPP) di Kota Batu.

#### Persiapan Sampel Percobaan

Limbah kulit jagung dikecilkan ukurannya dengan cara dipotong-potong 0,5–1 cm. Inokulum berupa digestate yang baru diambil, didiamkan terlebih dahulu di dalam *waterbath* selama 24 jam pada suhu 37 °C untuk mengurangi sisa gas yang masih ada. Sampel percobaan terdiri dari sampel kontrol berupa inokulum saja, sampel kontrol positif berupa campuran antara inokulum dan  $\alpha$ -selulosa dengan rasio 6:1, dan sampel limbah berupa campuran antara inokulum dan limbah kulit jagung dengan rasio 6:1. Masing-masing sampel dibuat tiga ulangan.

#### Perancangan Reaktor Sederhana

Perancangan reaktor sederhana dari botol kaca bekas dimulai dengan

membersihkan dan mencuci botol bekas. Botol selanjutnya disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C tekanan 1 atm selama 20 menit. Langkah-langkah perancangan reaktor adalah sebagai berikut:

1. Tutup botol aluminium dilubangi terlebih dahulu.
2. Pipa sambung kepala tiga (*3-way stopcock*) kemudian dipasangkan di tutup botol tersebut dan ditutup dengan lem pada sisinya.
3. Sampel penelitian berupa kontrol inokulum dan sampel limbah masing-masing sebanyak 40 ml dimasukkan ke dalam botol.
4. Botol kemudian ditutup dengan tutup botol dan direkatkan menggunakan lem serta dilapisi plastisin untuk mencegah kebocoran.
5. Botol atau reaktor tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *waterbath* yang suhunya telah diatur pada 37 °C.
6. Botol tersebut siap digunakan sebagai reaktor untuk uji BMP pada penelitian biogas skala laboratorium.



Botol UC 1000



Tutup botol aluminium



3-way stopcock



Glue gun



Lem tembak



Plastisin

Gambar 1. Alat dan Bahan Perancangan Reaktor Sederhana dari Botol Kaca Bekas

**Analisis Data Uji BMP**

Pengolahan data hasil uji untuk BMP terdiri dari perhitungan volume biogas kumulatif dan perhitungan potensi metana spesifik. Rumus perhitungan volume biogas kumulatif dan potensi metana spesifik, masing-masing pada persamaan (1) (Suhartini *et al.*, 2019a) dan persamaan (2) (Strömberg *et al.*, 2014).

$$Volume\ biogas\ (mL) = \frac{(P \times Vol \times V_m)}{(R \times T)} \quad (1)$$

Dimana:

- P = Tekanan dalam botol (kPa)
- Vol = Volume botol (mL)
- V<sub>m</sub> = Volume molar gas ideal (22,414 L mol<sup>-1</sup>)
- R = Konstanta gas ideal (8,314 m<sup>3</sup> Pa K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>)
- T = Suhu inkubasi (oC)

$$BMP = \frac{V_s - V_B \frac{m_{IS}}{m_{IB}}}{m_{VS, sS}} \quad (2)$$

Dimana :

- BMP = potensi metana spesifik (m<sup>3</sup>/g VS)
- V<sub>s</sub> = akumulasi volume biometana dari reaktor dengan sampel
- V<sub>B</sub> = jumlah biometana yang berasal dari inokulum
- m<sub>IS</sub> = jumlah total inokulum dalam sampel
- m<sub>IB</sub> = jumlah total inokulum di sampel kosong
- m<sub>VS, sS</sub> = jumlah bahan organik substrat dalam botol sampel

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Perancangan reaktor dari botol kaca diawali dengan pembersihan dan pencucian. Tujuannya adalah untuk menghilangkan label dan juga kotoran yang ada pada botol. Proses pembersihan dan pencucian dilakukan untuk menghilangkan tanah atau kotoran dan untuk mengurangi jumlah mikroba atau kontaminasi (Jiastuti, 2018; Yulianto and Nurcholis, 2015) pada botol kaca yang akan digunakan sebagai reaktor tersebut.

Selanjutnya, sterilisasi pada botol dilakukan menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C selama 20 menit. Sterilisasi botol tersebut dilakukan untuk membunuh mikroba yang mungkin masih menempel pada botol kaca setelah proses pencucian. Menurut Istini (2020), sterilisasi didefinisikan sebagai proses penghilangan atau membunuh mikroorganisme dalam benda atau peralatan agar tetap bersih atau steril, serta mencegah kontaminasi.

Langkah-langkah perancangan reaktor sederhana dimulai dengan melubangi tutup botol aluminium. Kemudian dilanjutkan dengan memasang pipa sambung kepala tiga (3-way stopcock) dan ditutup dengan lem pada sisinya. Gambar 2 menunjukkan proses pemasangan pipa sambung kepala tiga dan hasilnya.



(a)



(b)

Gambar 2. Pemasangan Pipa Sambung Kepala Tiga (a) dan Hasilnya (b)



Gambar 3. Perancangan Reaktor



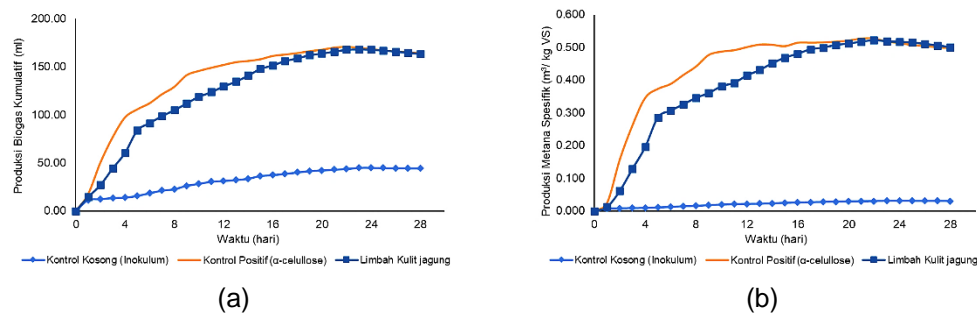
Gambar 4. Penggunaan Botol Kaca Bekas sebagai Reaktor pada Uji BMP

Botol kaca yang telah disterilisasi dan juga tutup botol yang telah dilengkapi dengan pipa sambung kepala tiga siap untuk dirangkai menjadi reaktor (Gambar 3). Sebelum dirancang, masing-masing sampel yang akan diteliti dimasukkan ke dalam botol dengan volume 40 ml. Kemudian botol ditutup dan direkatkan menggunakan lem. Setelah direkatkan dengan lem, bagian tersebut juga dilapisi dengan plastisi untuk mencegah kebocoran.

Botol-botol yang telah selesai dirangkai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *waterbath* yang suhunya telah diatur pada 37°C dan siap digunakan untuk uji BMP, seperti pada Gambar 4. Uji BMP dilakukan selama 28 hari. Selama 28 hari tersebut, setiap harinya dilakukan pengukuran tekanan gas menggunakan manometer. Hasil pengukuran tekanan gas tersebut kemudian dikonversi menjadi volume biogas menggunakan persamaan (1).

Hasil percobaan menggunakan limbah kulit jagung berupa data tekanan gas yang telah dikonversi menjadi volume biogas kumulatif dapat dilihat

pada Gambar 5a. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa volume biogas kumulatif tertinggi adalah pada sampel kontrol positif dan terendah pada sampel kontrol kosong atau inokulum saja. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada sampel kontrol positif, yang mengandung  $\alpha$ -selulosa, inokulum dapat beraktivitas dengan baik karena adanya sumber karbon. Menurut Suhartini *et al.* (2021, 2020), kontrol positif berupa  $\alpha$ -selulosa digunakan untuk menguji aktivitas dari inokulum itu sendiri. Berdasarkan gambar juga dapat dilihat bahwa volume biogas kumulatif pada sampel limbah kulit jagung lebih tinggi dibandingkan sampel kontrol kosong. Hal tersebut diduga karena pada limbah kulit jagung juga mengandung sumber karbon berupa komponen selulosa. Limbah kulit jagung memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi, yaitu 42,31- 54,69% (Ginting, 2015; Ponce *et al.*, 2021). Rata-rata volume biogas kumulatif yang dihasilkan selama 28 hari uji BMP untuk sampel inokulum,  $\alpha$ -selulosa, dan limbah kulit jagung, masing-masing adalah 44,44 ml; 164,70 ml; dan 163,48 ml.



Gambar 5. Hasil Uji BMP: (a) Volume Biogas Kumulatif (ml) dan (b) Potensi Metana Spesifik ( $\text{m}^3/\text{kg VS}$ )

Volume biogas yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi nilai potensi metana spesifik dengan asumsi bahwa dalam biogas, kandungan metana adalah 50%. Menurut (Apriandi, 2021), metana ( $\text{CH}_4$ ) pada biogas merupakan komposisi gas paling tinggi, yaitu 50-70%. Hal tersebut terjadi karena nilai kalor gas metana yang tinggi. Nilai potensi metana spesifik dihitung berdasarkan persamaan (2). Hasil potensi metana spesifik untuk sampel kontrol, sampel kontrol positif dan sampel limbah dapat dilihat pada Gambar 5b. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa potensi metana spesifik tertinggi adalah pada sampel kontrol positif dan terendah pada sampel kontrol kosong atau inokulum saja. Potensi metana spesifik dari sampel limbah kulit jagung lebih tinggi dibandingkan sampel kontrol. Rata-rata potensi metana spesifik yang dihasilkan selama 28 hari uji BMP untuk sampel inokulum,  $\alpha$ -selulosa, dan limbah kulit jagung, masing-masing adalah 0,026  $\text{m}^3/\text{kg VS}$ ; 0,501  $\text{m}^3/\text{kg VS}$ ; dan 0,462  $\text{m}^3/\text{kg VS}$ .

Beberapa hasil penelitian yang menggunakan reaktor sederhana tersebut telah dipublikasikan. Suhartini et al. (2019b) meneliti tentang estimasi potensi metana limbah makanan yang berasal dari kantin dengan metode uji BMP. Hasil penelitian menunjukkan potensi metana dengan nilai 0,191  $\text{m}^3/\text{kg}$

VS. Selanjutnya, Suhartini et al. (2020) meneliti pengaruh pretreatment pencucian pada biodegradabilitas anaerobik *Gracilaria verrucosa*. Hasil uji BMP menunjukkan bahwa potensi metana spesifik *G. verrucosa* setelah pretreatment pencucian menggunakan air mengalir selama 10 menit adalah 0,108  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}$ , meningkat enam kali lipat dibandingkan dengan *G. verrucosa* tanpa pretreatment. Penelitian lain oleh Nurika et al. (2022) tentang aplikasi bakteri ligninolitik untuk peningkatan pemecahan lignoselulosa dan produksi metana dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) juga menggunakan metode uji BMP. Hasilnya menunjukkan bahwa pada residu TKKS setelah pretreatment menggunakan *Comamonas testosteroni*, diperoleh potensi metana spesifik 0,042  $\text{m}^3/\text{kg VS}$ .

## PENUTUP

### Kesimpulan

Penelitian biogas skala laboratorium dilakukan dengan menganalisis potensi metana yang dihasilkan oleh biomasa atau limbah organik berupa limbah kulit jagung. Botol kaca bekas, dalam hal ini botol volume 140 ml, dapat digunakan sebagai reaktor sederhana pada uji BMP untuk mengetahui potensi metana yang dihasilkan. Selama 28 hari perlakuan uji BMP, diperoleh produksi biogas

kumulatif rata-rata 163,48 ml pada sampel limbah yang terdiri dari campuran inokulum dan limbah kulit jagung. Potensi metana spesifik yang dihasilkan dari sampel limbah kulit jagung adalah 0,462 m<sup>3</sup>/kg VS. Hasil data percobaan tersebut menunjukkan bahwa reaktor sederhana dari botol kaca bekas dapat digunakan untuk uji BMP pada penelitian biogas skala laboratorium.

#### Saran

Reaktor sederhana tersebut mungkin dapat digunakan untuk penelitian lain selain biogas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Apriandi, N., 2021. Analisa biodigester *polyethylene* skala rumah tangga dengan memanfaatkan limbah organik sebagai sumber penghasil biogas. *Orbith Maj. Ilm. Pengemb. Rekayasa dan Sos.* 17, 23–29. <https://doi.org/10.32497/orbith.v17i1.2937>
- Filer, J., Ding, H.H., Chang, S., 2019. Biochemical methane potential (BMP) assay method for anaerobic digestion research. *Water* 11, 921. <https://doi.org/10.3390/w11050921>
- Ginting, A., 2015. Pemanfaatan Limbah Kulit Jagung untuk Produk Modular dengan Teknik Pilin. *Din. Kerajinan Dan Batik Maj. Ilm.* 32, 51–62. <https://doi.org/10.22322/dkb.v32i1.1180>
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffière, P., Carballa, M., De Wilde, V., Ebertseder, F., Fernández, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J.C., De Lacroix, H.F., Ghasimi, D.S.M., Hack, G., Hartel, M., Heerenklage, J., Horvath, I.S., Jenicek, P., Koch, K., Krautwald, J., Lizasoain, J., Liu, J., Mosberger, L., Nistor, M., Oechsner, H., Oliveira, J.V., Paterson, M., Pauss, A., Pommier, S., Porqueddu, I., Raposo, F., Ribeiro, T., Pfund, F.R., Strömberg, S., Torrijos, M., Van Eekert, M., Van Lier, J., Wedwitschka, H., Wierinck, I., 2016. Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Sci. Technol.* 74, 2515–2522. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>
- Horváth, I.S., Tabatabaei, M., Karimi, K., Kumar, R., 2016. Recent updates on biogas production - A review. *Biofuel Res. J.* 3, 394–402. <https://doi.org/10.18331/BRJ2016.3.2.4>
- Istini, 2020. Pemanfaatan Plastik Polipropilen Standing Pouch Sebagai Salah Satu Kemasan Sterilisasi Peralatan Laboratorium. *Indones. J. Lab.* 2, 41–46.
- Jiastuti, T., 2018. Higiene sanitasi pengelolaan makanan dan keberadaan bakteri pada makanan jadi di RSUD Dr. Harjono Ponorogo. *J. Kesehat. Lingkung.* 10, 13–24.
- Kainthola, J., Kalamdhad, A.S., Goud, V. V., 2019. A review on enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic biomass by different enhancement techniques. *Process Biochem.* 84, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.05.023>
- Krisdianty, N., Purnomoadi, A., Sutaryo, 2014. Pengaruh Penggunaan Whey dan Feses Sapi Madura sebagai Substrat Biogas Terhadap Produksi Metan, Kecernaan Bahan Organik dan pH Slurry. *J. Teknol. Has. Pertan.* 7, 113–118.
- Kurniawan, I., Aditsania, A., 2016. Pemodelan dan Simulasi Produksi Biogas dari Substrat Glukosa Menggunakan *Anaerobic Digestion Model No. 1* (ADM1). *Indones. J. Comput.* 1, 49–60. <https://doi.org/10.21108/INDOJC.2016.1.1.54>
- Maluegha, B.L., Ulaan, T.V.Y., Umboh, M.K., 2018. Perancangan Digester untuk Menghasilkan Biogas dari Kotoran Ternak Babi di Desa

- Rumoong Bawah Kabupaten Minahasa Selatan. *J. Tekno Mesin* 4, 118–122.
- Nurika, I., Shabrina, E.N., Azizah, N., Suhartini, S., Bugg, T.D.H., Barker, G.C., 2022. Application of ligninolytic bacteria to the enhancement of lignocellulose breakdown and methane production from oil palm empty fruit bunches (OPEFB). *Bioresour. Technol. Reports* 17, 100951. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100951>
- Pane, H.S., Widiastuti, I., Baehaki, A., 2016. Uji Potensi Biogas dari Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) dan Campuran Limbah Jeroan Ikan Gabus (*Channa Striata*) Menggunakan Digester Anaerob secara Batch. *Fishtech – J. Teknol. Has. Perikan.* 5, 146–156. <https://doi.org/10.36706/fishtech.v5i2.3942>
- Pecorini, I., Olivieri, T., Bacchi, D., Paradisi, A., Corti, A., Carnevale, E., 2012. Evaluation of gas production in a industrial anaerobic digester by means of Biochemical Methane Potential of Organic Municipal Solid Waste Components. *The 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. Perugia, Italy*, hal. 173–184.
- Ponce, J., Gabriel, J., Nunes, L., Keller, M., Cervejeira, B., Barros, B., Luciana, S., Hioka, N., Caetano, W., Roberto, V., 2021. Alkali pretreated sugarcane bagasse, rice husk and corn husk wastes as lignocellulosic biosorbents for dyes. *Carbohydr. Polym. Technol. Appl.* 2, 100061. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100061>
- Rizali, A.E.N., Jasjfi, E.F., Ariani, Nugrahadi, G., 2020. Pemanfaatan Limbah Botol Kaca Menjadi Lampu Dinding. *J. Abdi Masy. Indones.* 2, 79–89. <https://doi.org/10.25105/jamin.v2i2.7483>
- Strömberg, S., Nistor, M., Liu, J., 2014. Towards eliminating systematic errors caused by the experimental conditions in Biochemical Methane Potential (BMP) tests. *Waste Manag.* 34, 1939–1948. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.018>
- Suhartini, A., Gunarti, A.S.S., Hasan, A., 2014. Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton. *J. BENTANG* 2, 66–80.
- Suhartini, S., Heaven, S., Zhang, Y., Banks, C.J., 2019a. Antifoam, dilution and trace element addition as foaming control strategies in mesophilic anaerobic digestion of sugar beet pulp. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 145, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104812>
- Suhartini, S., Lestari, Y.P., Nurika, I., 2019b. Estimation of methane and electricity potential from canteen food waste. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 230, 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012075>
- Suhartini, S., Nurika, I., Paul, R., Melville, L., 2021. Estimation of Biogas Production and the Emission Savings from Anaerobic Digestion of Fruit-based Agro-industrial Waste and Agricultural crops residues. *Bioenergy Res.* 14, 844–859. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10209-5>
- Suhartini, S., Sihaloho, R., Rahmah, N.L., Nurika, I., Junaidi, M.A., Paul, R., Melville, L., 2020. Effect of pre-treatment on anaerobic biodegradability of *Gracilaria verrucosa*. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 475, 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/475/1/012064>
- Yulianto, A., Nurcholis, 2015. Penerapan Standard Hygienes dan Sanitasi dalam Meningkatkan Kualitas



Makanan di Food & Beverage  
Departement @Hom Platinum  
Hotel Yogyakarta. *J. Khasanah  
Ilmu* 6, 31–39.