

ANALISA BIODIGESTER *POLYETHYLENE* SKALA RUMAH TANGGA DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH ORGANIK SEBAGAI SUMBER PENGHASIL BIOGAS

Oleh : Nanang Apriandi MS

Program Studi D3 Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50275

E-mail : nanang.apriandi@polines.ac.id

Abstrak

Biodigester polyethylene merupakan salah satu alternatif reaktor biogas yang murah dan mudah dalam pembuatannya serta cocok untuk biodigester skala kecil. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik dari biodigester polyethylene dan volume spesifik biogas yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan biodigester skala rumah tangga dengan limbah organik (jerami) dan air sebagai bahan baku penghasil biogas, dengan komposisi rasio perbandingan volume 1:1, 2:1, dan 1:2 untuk jerami dan air. Pengamatan temperatur operasi dan tekanan biogas yang dihasilkan dilakukan selama 20 hari untuk mendapatkan volume spesifik biogas. Hasil penelitian menunjukkan kerja biodigester polyethylene skala rumah tangga, dimana kapasitas digester terhitung sebesar 0,416 m³ pada komposisi rasio perbandingan volume jerami dan air 1 : 1 menunjukkan hasil yang lebih baik daripada komposisi rasio perbandingan sampel lainnya.

Kata kunci : biogas, biodigester polyethylene, limbah organik

Abstract

Polyethylene biodigester is an alternative to biogas reactor which is cheap, easy to manufacture and suitable for small scale biodigester. The purpose of this study was to obtain the characteristics of the polyethylene biodigester and the specific volume of biogas produced. This research was conducted using a household scale biodigester with organic waste (straw) and water as the raw material for producing biogas, with a volume ratio composition of 1: 1, 2: 1, and 1: 2 for straw and water. Observation of the operating temperature and the resulting biogas pressure was carried out for 20 days to obtain a specific volume of biogas. The results showed the work of household-scale polyethylene biodigester, where the digester capacity was calculated as 0.416 m³ at the composition of the ratio of straw and water volume ratio 1: 1 showed better results than the composition of the other sample ratio.

Key words: biogas, polyethylene biodigester, organic waste

1. Pendahuluan

Jumlah penduduk yang semakin meningkat tiap tahunnya, diikuti pola hidup yang semakin modern, serta taraf hidup masyarakat yang cenderung semakin tinggi memiliki konsekuensi logis yaitu semakin diperlukannya lebih banyak energi untuk memenuhi kebutuhannya (Ehrlich dan Holdren, 1971). Energi yang diperlukan ini sebenarnya tidak lain adalah energi untuk menghasilkan dan mendistribusikan secara merata sarana-sarana sebagai upaya pemenuhan kebutuhan pokok manusia.

Berbagai bentuk sumber energi hingga saat ini telah banyak digunakan dan dimanfaatkan manusia untuk memenuhi kebutuhannya, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, di samping juga bahan bakar tradisional kayu. Kayu, meskipun masih digunakan, namun penggunaannya sebagai bahan bakar kini semakin terbatas dengan berkurangnya hutan sebagai sumber penghasil kayu, akibat dari semakin masifnya pembangunan (yang membutuhkan lahan) dan penebangan hutan. Di sisi lain, seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk, terutama yang tinggal di pedesaan, kebutuhan energi skala kecil (skala rumah tangga) masih

menjadi persoalan yang harus dicarikan jalan keluarnya.

Permasalahan kebutuhan energi pedesaan (rumah tangga) yang paling dominan cenderung berupa kebutuhan akan energi untuk mengolah makanan sehari-hari. Permasalahan ini dapat diatasi dengan menggunakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, murah, dan bahan dasarnya mudah diperoleh dari lingkungan sekitar dan tentunya bersifat dapat diperbaharui. Salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan menggantikan sumber energi utama tersebut adalah biogas (Atabani, dkk., 2012; Kapdi, dkk., 2004; Neves, dkk., 2009).

Biogas adalah gas yang mudah terbakar, yang terdiri dari gabungan beberapa jenis gas yang merupakan hasil dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi hampa udara (dekomposisi *anaerob*). Pada prosesnya, dekomposisi *anaerob* ini menghasilkan beberapa komposisi gas, diantaranya adalah gas metana CH_4 (50 – 70%), karbondioksida CO_2 (25 – 45%), dan hidrogen H_2 , nitrogen N_2 , uap air H_2O , serta hidrogen sulfida H_2S dalam jumlah kecil (Alawi, dkk., 2009; Ganzoury dan Allam, 2015; Valijanjan, dkk., 2018; Rajaeifar, dkk., 2019).

Gas metana (CH_4) yang terdapat di dalam biogas dan mempunyai komposisi yang paling besar (50 – 70%) dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Hal ini dikarenakan gas metana (CH_4) memiliki nilai kalor yang tinggi. Sebagai perbandingan, nilai kalor pembakaran biogas (yang terdiri dari gas CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2O , dan H_2S) berkisar antara 4800 – 6700 Kkal/ m^3 (Simamora, 1989). Semakin besar kandungan metana di dalam biogas, maka semakin baik proses pembakarannya. Sebaliknya, semakin kecil kandungan metana di dalam biogas, maka kualitas pembakarannya juga semakin rendah (Apriandi, dkk., 2013).

1.1 Alat Pembangkit Biogas (Biodigester) Sederhana

Salah satu batasan utama yang menjadi pertimbangan dalam mendesain biodigester untuk masyarakat di pedesaan adalah masalah biaya instalasi, ketersediaan material, kemudahan pengoperasian serta kemudahan dalam perawatan. Digester biogas dari kantung *polyethylene* ini merupakan alternatif digester yang murah dan mudah dibuat, serta memenuhi semua aspek yang menjadi syarat minimal biodigester skala kecil untuk masyarakat pedesaan. Pada dasarnya, biodigester jenis ini tergolong digester jenis *fixed dome*. Digester *fixed dome* yang biasanya dibuat dari bahan tembok dan beton umumnya memerlukan biaya yang tidak murah.

Bagi masyarakat pengguna, keberadaan biodigester ini akan menghasilkan dua keuntungan sekaligus, yakni berupa bahan bakar gas yang dapat digunakan untuk memasak serta pupuk berkualitas tinggi yang dihasilkan dari residu proses penguraian *slurry* menjadi biogas. Selain itu, penggunaan biodigester ini juga memberikan kontribusi positif bagi lingkungan berupa pengurangan polusi gas metana, bau tidak sedap, potensi penyakit, dan sebagainya.

1.2 Plastik *Polyethylene*

Plastik *polyethylene* merupakan alternatif bahan dasar pembuatan biodigester yang secara teknis dan pendanaan lebih efektif, karena mudah didapat, harga terjangkau, dan mudah dibentuk. Plastik *polyethylene* ini telah umum digunakan terutama dalam bidang pertanian. Bagi kebanyakan masyarakat, khususnya petani, plastik *polyethylene* ini bukan barang baru. Karakteristik dari plastik *polyethylene* disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Plastik *Polyethylene*

Sifat Bahan	Unit	Low Density Polyethylene
Berat Jenis*	Mg/m ³ (=g//m ³)	0,92
Muai Panas*	°C ⁻¹	180 x 10 ⁻⁶
Kekuatan Tarik*	MN/m ²	5 – 15
Kekakuan dalam Flexure**	MN/m ²	75,845 – 186,165
Pemanjangan Total**	Persen	400 – 650
Indeks Cair**	g/10 menit	0,2 – 30
Temperatur Kerapuhan**	°C	(-80) – (-55)
Kapasitas Kalor**	cal/°C.gm	0,5 – 0,55
Daya Hantar Panas**	cal/cm ² det/°C x 10 ⁻⁴	6 – 8
Ketahanan Panas Terhadap Pemakaian Terus Menerus*	°C	55 – 80
Daya Tahan 10 Menit*	°C	80 - 85

Sumber: Van Vlack, 1994*; Raff dan Allison, 1965**.

1.3 Prinsip Kerja Biodigester

Teknologi biogas pada dasarnya adalah teknologi yang memanfaatkan proses pencernaan yang dilakukan oleh bakteri metanogen yang produk utamanya berupa gas metana (CH₄). Bakteri metanogen ini bekerja pada lingkungan yang tidak ada udara (*anaerob*) sehingga proses ini juga disebut sebagai pencernaan *anaerob* (Simamora, 1989).

1.4 Komponen Utama Biodigester

Pada umumnya, biodigester mempunyai lima komponen utama, yaitu : 1) saluran *slurry* masuk; 2) reaktor utama sebagai tempat terjadinya prosese

dekomposisi *anaerob*; 3) saluran residu keluar; 4) katup pengaman tekanan; dan 5) saluran gas hasil produksi.

1.5 Limbah Organik sebagai Penghasil Biogas

Limbah organik sangat baik digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biogas. Hal ini dikarenakan limbah organik mengandung selulosa dan lignin yang cukup tinggi (Septiani, dkk., 2020). Salah satu limbah organik yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biogas adalah jerami.

Limbah organik sebagai bahan dasar pembuatan biogas akan melalui beberapa tahapan proses pencernaan oleh bakteri-bakteri pengurai. Secara lengkap tahap pencernaan material organik terdiri dari tahapan hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis (Indartono, 2005).

2. Metode Penelitian

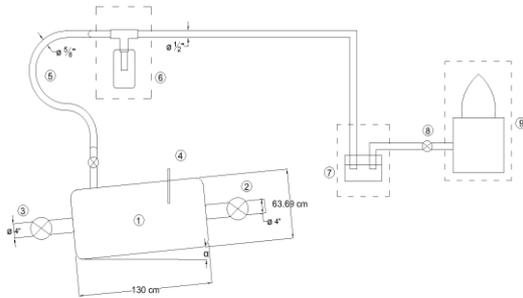
2.1 Pembuatan Biodigester *Polyetilene* Skala Rumah Tangga

Pembuatan biodigester ini dilakukan dengan target utama guna memenuhi kebutuhan energi untuk keperluan memasak skala rumah tangga. Jumlah kebutuhan energi untuk memasak ini dianalogikan sebagai konsumsi biogas yang dibutuhkan. Dalam perancangan biodigester skala rumah tangga ini mengacu pada beberapa asumsi, diantaranya yaitu : 1) dalam satu rumah tangga terdiri dari dua orang anggota keluarga; dan 2) dalam satu rumah tangga per harinya memasak 2 liter air untuk minum, memasak nasi menggunakan 2 liter air, serta menggoreng menggunakan 1 liter minyak goreng setiap harinya.

Konsumsi energi per harinya yang dibutuhkan oleh satu rumah tangga tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan 1 berikut :

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \tag{1}$$

dimana : Q (energi yang dibutuhkan, kJ), m (massa bahan, kg), C_p (panas spesifik bahan, kJ/kg.K), dan ΔT (perubahan temperatur, K).



Keterangan gambar :

1. Biodigester (reaktor utama)
2. Pipa masukan *slurry*
3. Pipa keluaran residu
4. Termometer
5. Selang saluran gas
6. Katup pengaman tekanan
7. Katup pengaman api
8. Gate valve
9. Kompor

Gambar 1. Instalasi Pembangkit Biogas (Biodigester) Polyethylene Skala Rumah Tangga

Volume biogas yang dibutuhkan untuk keperluan memasak satu rumah tangga per harinya dihitung menggunakan persamaan 2 berikut :

$$V = \frac{Q}{NKB} \quad (2)$$

dimana : V (volume biogas, m³), dan NKB merupakan Nilai Kalor Biogas (asumsi NKB yang digunakan adalah sebesar 5500 kKal/m³ atau setara dengan 23.100 kJ/m³).

Persamaan 3 berikut digunakan untuk mencari spesifikasi dari biodigester, yaitu :

$$V_{\text{digester}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P \quad (3)$$

dimana : V_{digester} (volume digester, m³), D (diameter digester, m), dan P (panjang digester, m).

2.2 Pengujian Temperatur Biodigester, Tekanan Biogas Hasil, dan Volume Spesifik Biogas

Temperatur biodigester dan tekanan biogas diukur untuk mendapatkan besaran nilai dari volume spesifik biogas yang dihasilkan. Temperatur biodigester diukur menggunakan termometer dan tekanan biogas diukur menggunakan prinsip kerja *incline* manometer dengan mengikuti persamaan berikut untuk mendapatkan tekanan biogas terukur :

$$P_{\text{biogas}} = P_{\text{atm}} + (\rho_{\text{fluida kerja}} \cdot g \cdot h) \quad (4)$$

$$h = \Delta L \cdot \text{Sin } \theta \quad (5)$$

dimana : P_{biogas} (tekanan biogas yang dihasilkan, Pa), P_{atm} (tekanan atmosfer, Pa), ρ (massa jenis fluida kerja pada *incline* manometer, kg/m³), g (tetapan percepatan gravitasi, 9,81 m/s²), h (ketinggian fluida kerja, m), ΔL (jarak perpindahan fluida kerja pada *incline* manometer, m), dan θ (sudut pada *incline* manometer).

Adapun volume spesifik biogas yang dihasilkan dihitung menggunakan persamaan gas ideal dengan asumsi biogas yang dihasilkan murni gas metana CH₄, sebagai berikut :

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (6)$$

dimana : P (tekanan biogas, Pa), V (volume biogas, m³), m (massa biogas, kg), R (konstanta gas metana CH₄, 519.64 Nm/kg.K), dan T (temperatur biogas, K).

Dari persamaan 6 dimana diketahui (V/m = v_s), maka didapatkan :

$$v_s = \frac{R \cdot T}{P} \quad (7)$$

dimana : v_s (volume spesifik biogas yang dihasilkan, m^3/kg).

2.3 Pembuatan Slurry

Slurry dibuat menggunakan campuran limbah organik (jerami) dan air dengan komposisi rasio perbandingan volume yaitu 1:1, 2:1, dan 1:2.

3. Hasil dan Pembahasan

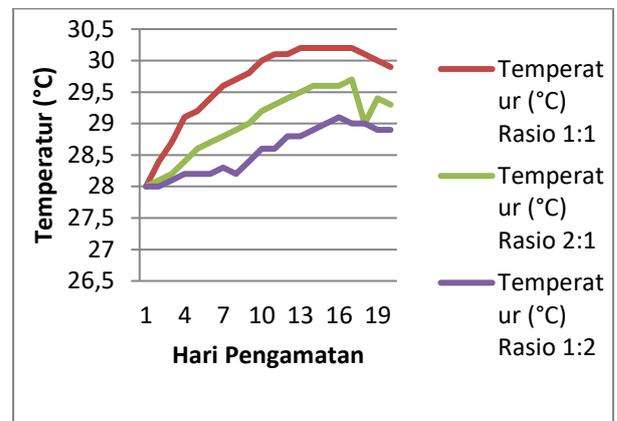
Energi total yang dikonsumsi oleh satu rumah tangga dengan asumsi terdiri dari dua orang anggota keluarga adalah sebesar 266 kJ/hari. Dengan nilai kalor biogas yang digunakan sebesar 23.100 kJ/ m^3 , maka volume biogas yang dibutuhkan untuk keperluan memasak satu rumah tangga per harinya adalah sebesar 12 liter/hari.

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Sihombing (2006), dimana pemasukan 1 liter slurry akan menghasilkan 1 liter biogas yang diperoleh pada hari optimum (sekitar 20 hari), maka dapat diasumsikan kapasitas produksi biodigester yang dirancang sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas produksi digester} &= 12 \text{ liter} \times 20 \\ &= 240 \text{ liter} \end{aligned}$$

Sihombing (2006) pada penelitiannya juga melaporkan bahwa volume slurry yang paling tepat dalam menghasilkan biogas yang paling optimum adalah $\frac{3}{4}$ dari volume digester. Sehingga, untuk kebutuhan produksi biogas dari 240 liter slurry dibutuhkan biodigester dengan kapasitas 320 liter. Selain itu, pada penelitian yang sama, dilaporkan bahwa penambahan sekam padi 20% dari volume digester akan meningkatkan produktivitas (volume dan tekanan) biogas yang dihasilkan. Oleh karena di dalam penelitian ini menggunakan jerami sebagai bahan dasar pembuatan biogas, maka diprediksi jerami lebih cepat terdekomposisi dibandingkan dengan sekam padi, sehingga pada perancangan biodigester ini, volume digester dikalikan faktor pengaman

sebesar 30%, sehingga total volume biodigester sebesar 416 liter.

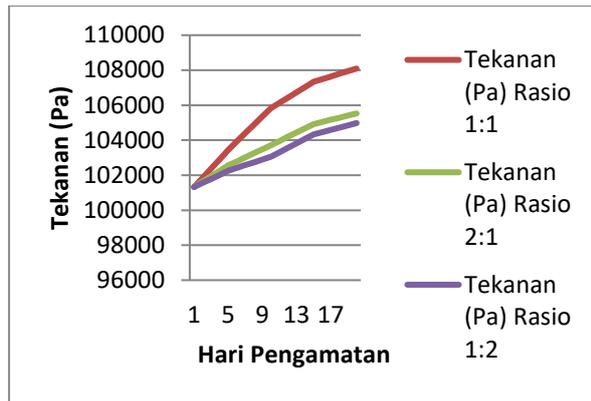


Gambar 1. Grafik Perbandingan Temperatur pada Digester

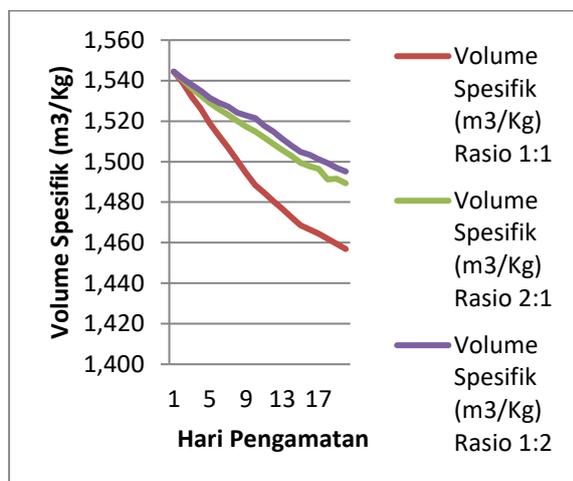
Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa temperatur digester dengan pemanasan alami (tanpa perlakuan panas), perubahan temperatur cenderung konstan mendekati temperatur lingkungan yaitu berkisar antara 28 – 30 °C. Hal ini berarti bakteri yang bekerja pada digester tersebut adalah bakteri *mesophilic*, yaitu bakteri yang hidup pada temperatur 13 – 40 °C.

Dikarenakan pada proses metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan temperatur, maka perubahan temperatur ini merupakan suatu hal yang harus diperhatikan. Perubahan temperatur tidak boleh melebihi batas temperatur yang diijinkan.

Mengacu pada hasil dalam Gambar 1 dimana temperatur digester berkisar antara 28 – 30 °C secara teori, digester dapat bekerja dengan baik, meskipun temperatur optimal untuk digester adalah berkisar antara 30 – 35 °C. Artinya, digester yang terbuat dari bahan plastik *polyethylene* (biodigester *polyethylene*) ini baik untuk digunakan sebagai alternatif digester biogas skala kecil.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Tekanan Biogas yang Dihasilkan



Gambar 3. Grafik Perbandingan Volume Spesifik Biogas yang Dihasilkan

Berdasarkan tekanan biogas yang dihasilkan pada digester (Gambar 2), maka terlihat bahwa rasio perbandingan komposisi antara jerami dan air (*slurry*) mempengaruhi besarnya produktivitas biogas yang dihasilkan. *Slurry* dengan rasio perbandingan komposisi 1:1 menghasilkan tekanan biogas yang lebih optimal bila dibandingkan dengan *slurry* rasio perbandingan komposisi 2:1 dan 1:2, yaitu tekanan tertinggi pada hari ke 20 sebesar 108091,11 Pa berbanding 105527,15 Pa (untuk rasio 2:1) dan 104977,03 Pa (untuk rasio 1:2). Hal ini berpengaruh juga terhadap besarnya volume spesifik biogas yang dihasilkan (seperti yang terlihat pada Gambar 3).

Komposisi rasio perbandingan 2:1 mendapatkan *slurry* yang terlalu padat sehingga proses penggumpalan *slurry* juga semakin cepat. Hal ini mengakibatkan *slurry* tidak dapat terurai secara optimal, dikarenakan pada proses perombakan bahan (*slurry*) bakteri membutuhkan cukup air sebagai media kerjanya. Sementara itu, komposisi perbandingan *slurry* 1:2 mendapatkan *slurry* yang terlalu encer, menyebabkan proses pembusukan pada bahan (*slurry*) menjadi semakin cepat. Pembusukan bahan yang terlalu cepat akan menaikkan kadar asam yang terkandung di dalam *slurry* yang secara tidak langsung dapat mengganggu keberadaan bakteri *mesophilic* (bakteri pengurai) sehingga akan menurunkan produksi biogas.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa hal dapat disimpulkan yaitu biodigester *polyethylene* dapat digunakan sebagai alternatif digester biogas skala rumah tangga dengan kapasitas digester sebesar 416 liter. Rasio perbandingan komposisi jerami dan air 1:1 memiliki produktivitas yang lebih tinggi dalam menghasilkan biogas dibandingkan dengan komposisi rasio perbandingan 2:1 dan 1:2, dimana tekanan maksimum biogas yang dihasilkan pada hari ke 20 sebesar 108091,11 Pa pada temperatur maksimal operasi digester 30,2 °C, dan dengan volume spesifik biogas yang dihasilkan sebesar 1,457 m³/Kg.

DAFTAR PUSTAKA

Alawi, S., Zainuri, B., Meisam, T., Shahrakbah, Y., Suraini, A. A., Ali, H. M., and Yoshihito, S. 2009. The Effect of Higher Sludge Recycling Rate on Anaerobic Treatment of Palm Oil Mill Effluent in a Semi-Commercial Closed Digester for Renewable Energy. *Biotechnology*, 5,1-6.

Apriandi, N. MS., Kusuma, I. G. B. W., dan Widiyarta, I. M. 2013. Pemurnian Biogas Terhadap Gas

- Pengotor Karbondioksida (CO₂) dengan Teknik Absorpsi Kolom Manometer. *Jurnal Logic*, Vol. 13, No. 1.
- Atabani, A.E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H.m and Mekhilef, S. 2012. A Comprehensive Review on Biodiesel as an Alternative Energy Resource and its Characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4): 2070-2093.
- Ehrlich, P. R., and Holdren, J. P. 1971. Impact of Population Growth. *Science*, 171(3977): 1212-1217.
- Ganzoury, M. A., and Allam, N. K. 2015. Impact of Nanotechnology on Biogas Production : a Mini Review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 50 : 1392-1404.
- Indartono, Y. S. 2005. Reaktor Biogas Skala Kecil Menengah. <http://www.beritaipetek.com>.
- Kapdi, S. S., Vijay, V. K., Rajest, S. K., and Prasat, R. 2004. Biogas Scrubbing, Compression, and Storage : Perspective and Prospectus in India Context. *Renewable Energy*, 4: 1-8.
- Martins das Neves, L. C., Converti, A., and Vessoni Penna, T. C. 2009. Biogas Production : New Trends for Alternative Energy Sources in Rural and Urban Zones. *Chemical Engineering & Technology*, 32(8): 1147-1153.
- Raff, R. A. V., and Allison, J. B. 1956. High Polymer : Polyethylene.. *Interscience Publisher Inc, New York*. Vol.X.
- Rajaeifar, M. A., Hemayati, S. S., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., And Mahmoudi, S. B. 2019. A Review on Beet Sugar Industry with a Focus on Implementation of Waste-to-Energy Strategy for Power Supply. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 103: 423-442.
- Septiani, M., Nuhardin, I., and Muliawan, A. 2020. Biogas Fermentation from Vegetable Waste and Horse Rumen Involving Effective Microorganism-4 (EM4). *INTEK Jurnal Penelitian*. Vol.7(1): 08-12.
- Sihombing, B. S. J. 2006. Pembuatan Biogas Dari Limbah Ternak Sapi dengan Penambahan Sekam Padi. *Tugas Akhir*. Denpasar, Bali.
- Simamora, S. 1998. Pengolahan Limbah Peternakan (Animal Waste Management) : Teknologi Energi Biogas. *Fakultas Politeknik Pertanian IPB, Bekerjasama dengan Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Dirjen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen P dan K*.
- Valijanian, E., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Sulaiman, A., and Chisti, Y. 2018. Biogas Production System, In Tabatabaei, M., Ghanavati, H. (Eds). *Biogas, Biofuell, and Biorefinery Technologies. Springer, Cham*. Pp.95-116.
- Van Vlack, L. H. 1994. Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam). Alih Bahasa oleh Sriati Djaprie. *Erlangga, Jakarta*.