

# Pemanfaatan Limbah Eceng Gondok Sebagai Energi Biogas Dengan Menggunakan Digester

*(Utilization of Hyacinth Waste As Biogas Energy Using Digester)*

**Herman Nawir<sup>1)</sup>**

Program Studi Teknik Pembangkit Energi  
 Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar, Indonesia  
<sup>1)</sup>e-mail: hermannawir@poliupg.ac.id

**Apollo<sup>3)</sup>**

Program Studi Teknik Konversi Energi  
 Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar, Indonesia  
<sup>3)</sup>e-mail: apollo@poliupg.ac.id

**Muhammad Ruswandi Djalal<sup>2)</sup>**

Program Studi Teknik Pembangkit Energi  
 Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar, Indonesia  
<sup>2)</sup>e-mail: wandi@poliupg.ac.id

**Abstrak-** Biogas merupakan energi alternatif berupa gas yang terbentuk dari proses fermentasi bahan organik. Salah satu bahan organik yang paling melimpah adalah eceng gondok. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat yang akan digunakan untuk mengolah eceng gondok sehingga dapat menghasilkan energi biogas. Komponen utama dari peralatan yang dibuat terdiri dari digester, perangkap air, wadah gas, dan kompor gas, masing-masing dibuat 3 peralatan. Percobaan dilakukan menggunakan 3 buah digester dimana masing-masing digester di isi dengan 10kg eceng gondok dan starter berbeda. Digester A menggunakan starter 0,5 liter EM4 yang dicampur dengan 4,5 liter air. Digester B menggunakan starter 5 kg kotoran sapi dicampur dengan air 3 liter. Dan digester C menggunakan starter 5 kg kotoran sapi dicampur dengan 0,5 liter EM4 dan 4, 5 liter air. Kemudian lihat perkembangan biogas selama proses fermentasi (35 hari). Dari hasil penelitian ini dapat diperoleh tekanan biogas, suhu, keasaman (pH) dan durasi nyala api yang dihasilkan oleh sarana penghasil biogas menggunakan digester ini dan dapat diaplikasikan ke kompor. Perubahan tekanan yang dihasilkan oleh digester C lebih besar dari tekanan yang dihasilkan dari digester A dan B. Perubahan suhu yang dihasilkan dalam digester C lebih besar dari suhu yang dihasilkan oleh digester A dan B. Nilai pH awal pencampuran untuk digester A adalah pH 6,3 , digester B dengan pH 7,5 dan digester C dengan pH 5,5. Nilai pH setelah biogas diproduksi untuk digester A dengan pH 7,5, digester B dengan pH 7,5 dan digester C dengan pH 7,6. Ini sesuai dengan pH yang baik untuk pertumbuhan mikroba pembentuk biogas, mulai dari 6,4 hingga 7,8. Api yang dihasilkan pada uji nyala biru, dengan total panjang nyala untuk setiap digester adalah 54 menit 46 detik.

**Kata kunci:** Eceng Gondok; Biogas; Digester

**Abstract-** Biogas is an alternative energy in the form of gas formed from the process of fermentation of organic materials. One of the most abundant organic materials is water hyacinth. This research aims to design the tool that will be used to process water hyacinth so that it can produce biogas energy. The main components of the equipment made consist of digester, water trap, gas container, and gas stove, each made 3 appliances. The experiment was conducted using 3 pieces of digester where each digester was filled with 10kg of water hyacinth and different starter. Digester A uses a 0.5 liter EM4 starter mixed with 4.5 liters of water. Digester B using starter 5 kg of cow dung mixed with water 3 liters. And digester C using starter 5 kg of cow dung mixed with 0.5 liters EM4 and 4, 5 liters of water. Then see the development of biogas during the fermentation process (35 days). From the results of this study can be obtained biogas pressure, temperature, acidity (pH) and the duration of the flame generated by the means of producing biogas using this digester and can be applied to the stove. The pressure change produced by digester C is greater than the pressure generated from digesters A and B. The temperature changes produced in digester C are greater than the temperature produced by digesters A and B. The initial pH value of mixing for digester A is pH 6.3, digester B with pH 7.5 and digester C with pH 5.5. The pH value after biogas was produced for digester A with pH 7.5, digester B with pH 7.5 and digester C with pH 7.6. This corresponds to a good pH for the growth of biogas-forming microbes, ranging from 6.4 to 7.8. The fire generated on the blue flame test, with the total length of the flame for each digester is 54 minutes 46 seconds.

**Keywords:** Water Hyacinth; Biogas; Digester

## I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang sangat cepat, disertai dengan

pertumbuhan bidang industri yang pesat menyebabkan peningkatan permintaan energi dan penurunan kualitas lingkungan. Pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan. Salah satu dari energi terbarukan adalah biogas. Biogas mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan beberapa sumber energi yang berasal dari fosil, yakni bersifat ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Biogas sendiri merupakan energi alternatif berupa gas yang terbentuk dari proses fermentasi bahan-bahan organik seperti sisa sayuran, kotoran sapi, dan bahan-bahan organik yang dapat membusuk. Salah satu bahan organik yang sangat melimpah adalah eceng gondok. Seperti yang kita lihat, sebagian besar kanal, sungai, maupun danau di kota Makassar tertutupi oleh banyak tumbuhan liar, seperti tumbuhan eceng gondok. Keberadaan eceng gondok sangat berpengaruh buruk terhadap kondisi perairan di Kota Makassar.

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) adalah tanaman yang tumbuh di perairan seperti danau, sungai dan rawa rawa. Eceng gondok salah satu tanaman air yang sangat cepat tumbuh tetapi jarang dimanfaatkan sehingga sering dianggap sebagai tanaman pengganggu dan tempat berkembang biaknya sumber penyakit. Eceng gondok tanaman yang banyak mengandung amilum dan selulosa yang mempunyai peran penting dalam pembuatan biogas. Biogas adalah bahan yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Proses ini dilakukan oleh bakteri methan sehingga gas yang dihasilkan disebut gas metan. Tahapan proses yang terjadi adalah hidrolisis selulosa menjadi beta glukosa dan amilum menjadi alfa glukosa. Tahap selanjutnya adalah fermentasi yaitu merubah beta dan alfa glukosa menjadi etanol. Lewat proses dehidrasi, kemudian berubah menjadi etana yang dapat dijadikan bahan bakar alternative [1].

Pada penelitian sebelumnya [2], digester yang digunakan untuk menghasilkan biogas berjumlah satu buah. Pada penelitian ini, digester yang digunakan berjumlah 3 buah yang dapat mengolah eceng gondok sehingga menghasilkan energi biogas. Dengan adanya sumber energi alternatif biogas yang sangat potensial, makaseharusnya dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin agar dapat memberikan solusi yang bermanfaat bagi masyarakat luas. Olehnya itu perlu dibuat suatu alat dalam bentuk Eceng gondok tersebut kemudian ditambahkan starter, seperti kotoran sapi dan EM-4 (*effective microorganism-4*) untuk mempercepat proses fermentasi dan melihat perbandingan dari penambahan starter tersebut. Hal ini bisa menambah pemahaman masyarakat terhadap energi biogas. Beberapa penelitian tentang pemanfaatan biogas seperti [3-6] dan digester [7-16].

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis berinisiatif mengambil judul tugas akhir tentang "Pemanfaatan Limbah Eceng Gondok Sebagai Energi Biogas dengan

Menggunakan *Digester*".

## II. TINJUAN PUSTAKA

### A. Produksi Biogas dari EcengGondok

Defenisi Biogas telah banyak dikemukakan oleh para ahli melalui karyanya masing-masing. Namun, apabila diperhatikan secara saksama, konsep-konsep tersebut tidak memperlihatkan perbedaan subtansi, perbedaannya hanya terletak pada redaksi. Menurut [17], "Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganism pada kondisi langka oksigen (*anaerob*)."

Adapun defenisi dari teknologi biogas yang dikemukakan oleh ahli lain. Menurut [18], "Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan energi alternatif. Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh penguraian bahan-bahan organik."

Dari uraian pendapat para ahli di atas, maka dapat disimpulkan bahwa biogas adalah suatu energi alternatif terbarukan yang dihasilkan oleh penguraian bahan-bahan organik oleh suatu mikroorganism dalam kondisi kedap udara (*anaerob*).

Biogas merupakan campuran beberapa gas dengan komponen utama adalah *metana (CH4)* dan *karbon dioksida (CO2)*, dengan sejumlah kecil uap

air, *hydrogen sulfide (H2S)*, *karbon monoksida (CO)*, dan *nitrogen (N2)*. Komposisi biogas tergantung dari bahan baku yang digunakan. Apabila menggunakan bahan baku kotoran manusia, kotoran hewan, atau limbah cair tempat pemotongan hewan, gas metan yang diproduksi dapat mencapai 70%. Bahan baku dari tumbuh-tumbuhan seperti batang padi, jerami, atau eceng gondok menghasilkan gas metan sekitar 55% [19].

Eceng gondok tumbuh pada kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat, tempat-tempat penampungan air, tumbuhan ini dapat beradaptasi dengan perubahan yang ekstrem dari ketinggian air, arus air, pH, ketersediaan nutrient, temperatur dan racun-racun dalam air.

Berikut ini adalah jumlah produksi biogas yang dihasilkan oleh eceng gondok

TABEL I. KOMPOSISI BIOGAS YANG DIHASILKAN DARI ECENG GONDOK [17]

| No. | Jenis Gas       | Presentase (%) |
|-----|-----------------|----------------|
| 1   | CH <sub>4</sub> | 54,2           |
| 2   | CO <sub>2</sub> | 27,1           |
| 3   | N <sub>2</sub>  | 0,5            |
| 4   | O <sub>2</sub>  | 0,16           |
| 5   | CO              | 0,1            |

### B. Tahapan Pembentukan Biogas

Pembentukan biogas terjadi pada proses *anaerob* yaitu kedap udara. Pembentukan biogas terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap *hidrolisis*, *asifikasi* dan *metanogenesis*.

1. Tahap Hidrolisis

Padatahap hidrolisis terjadi pemecahan polimer menjadi polimer yang lebih sederhana oleh enzim dan dibantu dengan air. Enzim tersebut dihasilkan oleh bakteri yang terdapat dari bahan-bahan organik. Bahan organik bentuk polimer dirubah menjadi bentuk monomer. Contohnya lidnin oleh enzim *lipase* menjadi asam lemak. Protein oleh enzim protease menjadi peptide dan asam amino. Amilosa oleh enzim *amylase* dirubah

diperoleh dari oksigen terlarut yang terdapat dalam larutan. Asam asetat sangat penting dalam proses selanjutnya, digunakan oleh mikroorganisme untuk pembentukan metan [20].

3. Tahap Pembentukan Gas Metan

Padatahap ini senyawa dengan berat molekul rendah didekomposisi oleh bakteri metanogenik menjadi senyawa dengan molekul tinggi.

Contoh bakteri ini menggunakan asam asetat, hidrogen (H<sub>2</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) untuk membentuk metanadan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Bakteri penghasil metan memiliki kondisi atmosfer yang sesuai akibat proses bakteri penghasil asam. Asam yang dihasilkan oleh bakteri pembentuk asam digunakan oleh bakteri pembentuk metan. Tanpa adanya peroses simbiotik tersebut, maka akan menimbulkan racun bagi mikroorganisme penghasil asam [20].

menjadi gula (*monosakarida*) [20].

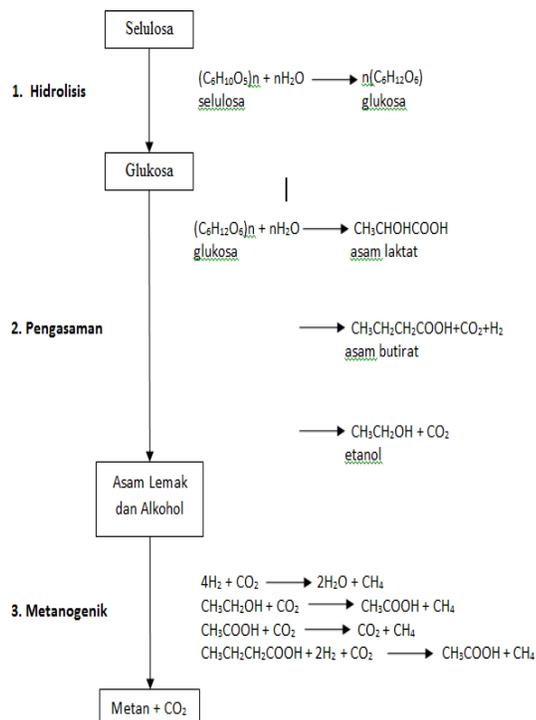
2. Tahap Pengasaman (*Asidifikasi*)

Pada tahap pengamasaman, bakteri merubah polimer sederhana hasil hidrolisis menjadi asam asetat, hidrogen (H<sub>2</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Untuk merubah menjadi asam asetat, bakteri membutuhkan oksigen dan karbon yang

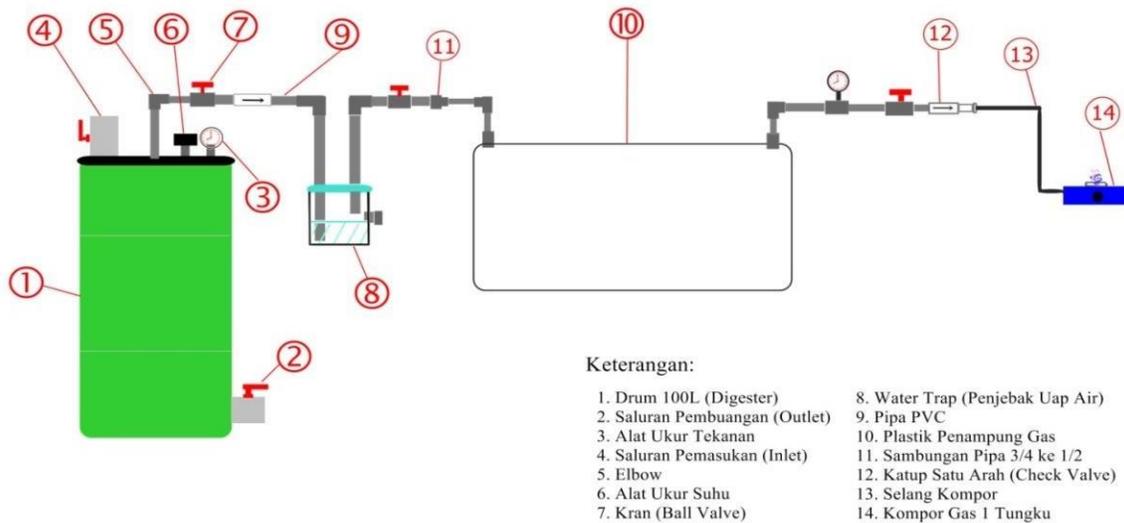
III. METODE PENELITIAN

Penelitian “Pemanfaatan Limbah Eceng Gondok Sebagai Energi Biogas dengan Menggunakan *Digester*” dilaksanakan di Laboratorium Energi Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, yang berlokasi di Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10 Tamalanrea.

Penelitian ini dilakukan dengan bentuk penelitian eksperimental, yang menggunakan bahan diantaranya eceng gondok, air, stater EM4 dan stater kotoran sapi sebagai bahan baku pembuatan biogasnya. Selain itu penelitian ini terdiri dari tiga percobaan yaitu pada percobaan pertama untuk digester A denagn perbandingan eceng gondok sebanyak 10 kg dicampur dengan air bercampur EM-4 (*effective microorganism-4*), dimana 0,9 kg EM-4 (*effective microorganism-4*) dicampur dengan 2,5 kg air. Untuk *digester B*, eceng gondok sebanyak 10 kg dicampur dengan air bercampur kotoran sapi yang memiliki berat 3,4 kg, dimana air dan kotoran sapi dicampur dengan perbandingan 1:1. Untuk *digester C*, eceng gondok sebanyak 10 kg dicampur dengan air bercampur kotoran sapi dan EM-4 (*effective microorganism-4*), dimana 2,5 kg kotoran sapi bercampur air dengan perbandingan 1:1 dicampur dengan 0,9 kg EM-4 (*effective microorganism-4*) .



Gambar 1. Tahapan Pembentukan Biogas [20]



Gambar 2. Instalasi Digester Biogas

Penelitian ini dilakukan selama 35 hari dengan mengamati parameter suhu, tekanan dan derajat keasaman (pH) dimana Pengukuran suhu dan tekanan dilakukan dengan menggunakan alat thermometer digital dan pressure gauge selama proses biogas berlangsung. Suhu yang diukur yakni suhu dalam digester dan suhu lingkungan. Pengukuran dilakukan pada setiap perlakuan penelitian meliputi waktu pagi, siang, dan sore hari kemudian dirata-ratakan. Sedangkan pengukuran derajat keasaman (pH) dilakukan dengan menggunakan metode Potensiometri, yakni dengan menggunakan alat pH meter. Pengukuran pH dilakukan pada awal dan akhir penelitian kemudian dicatat. Kemudian Uji nyala api dilakukan dengan menggunakan kompor satu mata. Uji nyala dilakukan setelah gas terproduksi, hal ini bertujuan untuk mengetahui biogas yang dihasilkan apakah mengandung metan atau tidak sehingga dapat menyala.

TABEL II. PH PADA AWAL DAN AKHIR PERCOBAAN.

| No. | DIGESTER | PH AWAL | PH AKHIR |
|-----|----------|---------|----------|
| 1   | A        | 6.3     | 7.5      |
| 2   | B        | 7.5     | 7.5      |
| 3   | C        | 5.5     | 7.6      |

Pada tabel di atas, terlihat nilai pH pada awal pencampuran bahan baku biogas dan pada saat biogas sudah dihasilkan. Pada awal pencampuran, pH masing-masing digester bervariasi yaitu digester A memiliki nilai pH 6,3, digester B memiliki nilai pH 7,5, dan digester C memiliki nilai pH 5,5.

Namun, pada saat biogas telah dihasilkan, nilai pH naik menjadi hampir sama untuk ketiga digester, yaitu 7,5 untuk digester A dan B, sedangkan digester C memiliki nilai pH 7,6. Hal ini sesuai dengan pH yang baik untuk pertumbuhan mikroba pembentuk biogas, yaitu berkisar antara 6,4 sampai 7,8.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengukuran derajat keasaman (pH)**



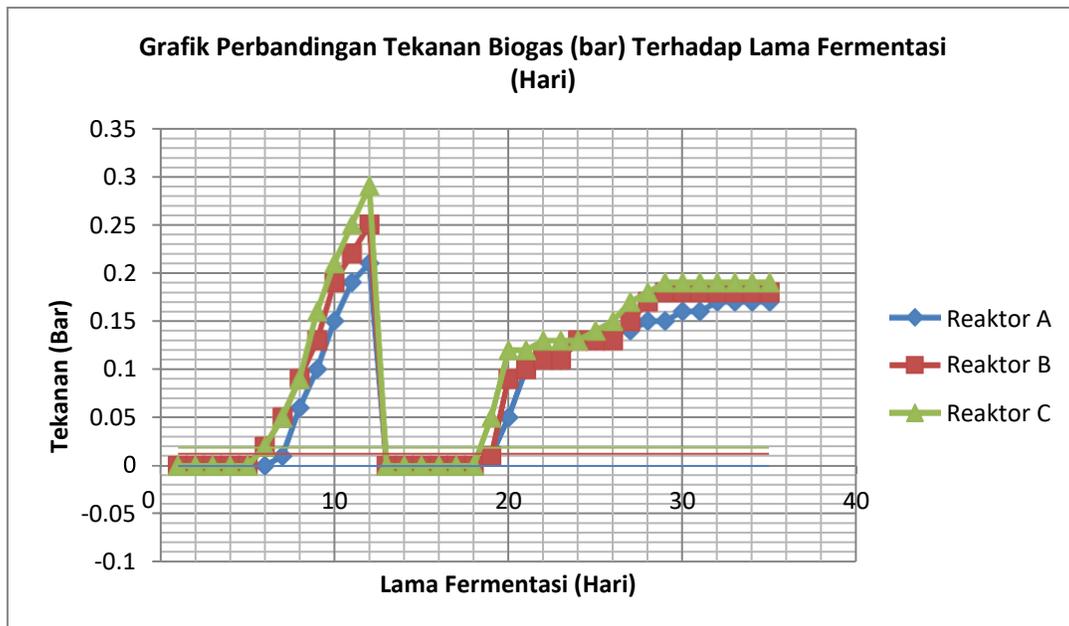


Gambar 3. Alat ukur pH.

Perbedaan pH untuk campuran pada digester A dan B terhadap campuran digester C sedikit berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan campuran antara ketiga digester, dimana digester A berisi campuran antara bahan baku eceng gondok dan larutan EM-4 (*effective microorganism-4*), digester B berisi campuran antara bahan baku eceng gondok

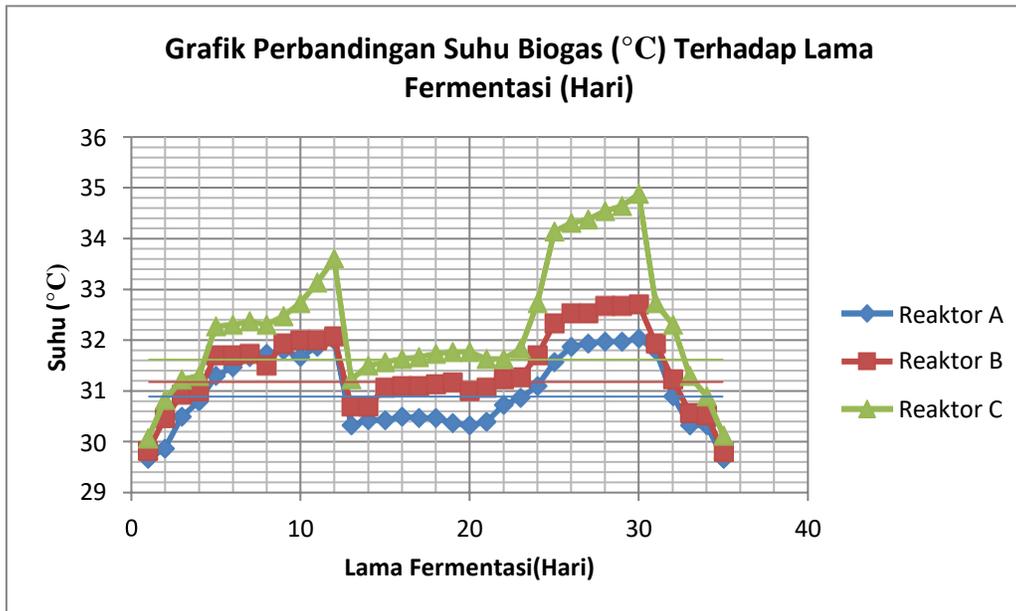
dan kotoran sapi, dan digester C berisi campuran antara bahan baku eceng gondok dengan kotoran sapi dan larutan EM-4 (*effective microorganism-4*).

**Grafik Hubungan Tekanan terhadap Waktu pada Digester A, Digester B, dan Digester C.**



Gambar 4. Gabungan grafik hubungan tekanan terhadap waktu pada Digester A, Digester B, dan Digester C.

**Grafik Hubungan Suhu terhadap Waktu pada Digester A, Digester B, dan Digester C.**



Gambar 5. Gabungan grafik hubungan suhu terhadap waktu pada Digester A, Digester B, dan Digester C.

Pada gambar di atas, terlihat bahwa ketiga digester mengalami kenaikan tekanan mulai dari hari ke 6 untuk digester B dan C, sedangkan digester A pada hari ke-7. Ketiga digester mengalami kenaikan tekanan yang berbanding lurus hingga hari ke 12. Setelah hari ke 13, gas dalam digester dilepas untuk membuang biogas yang belum sempurna karena masih ada oksigen yang terjebak.

Setelah gas dalam digester dilepas, ketiga digester kembali mengalami kenaikan tekanan mulai dari hari ke 19 untuk digester A, B dan C setelah tekanan kembali mulai dari titik nol setelah melepaskan biogas yang belum sempurna.

Ketiga digester kembali mengalami kenaikan tekanan yang berbanding lurus. Digester A tidak lagi mengalami kenaikan pada hari ke 32 pada tekanan 0.17 bar, sedangkan digester B dan C pada hari ke 29 pada tekanan 0.18 dan 0.19. Tekanan konstan hingga pengujian nyala api.

Namun, jika dibandingkan antara ketiga digester, tekanan digester C pada pengukuran tiap harinya selalu lebih besar dibanding digester B. Begitupun digester B, tekananya selalu lebih besar dari digester A. Hal ini disebabkan oleh perbedaan campuran bahan baku dan starter antara ketiga digester. Gas sudah dapat digunakan untuk menyalakan api setelah dihubungkan ke kompor gas.

Gambar di atas menunjukkan perubahan suhu ketiga digester pada awal proses pembentukan biogas. Terlihat bahwa suhu pada ketiga digester cenderung mengalami kenaikan dari hari ke-1 hingga hari ke-12. Suhu tertinggi untuk digester A yaitu pada hari ke-12 yaitu 32 C. Suhu tertinggi untuk digester B yaitu pada hari ke-12 yaitu 32.07 C. Dan suhu tertinggi untuk digester C yaitu juga pada hari ke-12 yaitu 33.6 C

Penurunan suhu yang terlihat jelas terjadi antara hari ke-12 dan ke-13. Hal ini dipengaruhi oleh pelepasan gas yang ada dalam digester, namun tidak mempengaruhi produksi biogas yang masih berlangsung. Kemudian kembali mengalami kenaikan pada hari ke 14.

Suhu digester A mengalami kenaikan yang cenderung sedikit hingga hari ke-18, kemudian sedikit turun pada hari ke 19. Kemudian kembali mengalami kenaikan suhu pada hari ke 21 hingga hari ke 27. Hal ini menunjukkan bahwa produksi biogas lebih besar pada hari tersebut. Kemudian cenderung konstan hingga hari ke 30. Pada hari ke 31 sampai hari ke 35, suhu mulai menurun drastis. Hal ini disebabkan gas mengalami penurunan produksi.

Suhu digester B mengalami kenaikan yang cenderung sedikit hingga hari ke-19, kemudian sedikit turun pada hari ke-21. Kemudian kembali mengalami kenaikan suhu drastis pada hari ke 23 hingga hari ke 26. Hal ini menunjukkan bahwa produksi biogas lebih besar pada hari tersebut. Kemudian kenaikan suhu cenderung konstan hingga hari ke 30. Pada hari ke 31 sampai hari ke 35, suhu mulai menurun drastis. Hal ini disebabkan gas mengalami penurunan produksi.

Suhu digester C mengalami kenaikan yang cenderung sedikit hingga hari ke-18, kemudian sedikit turun hingga hari ke-21. Kemudian kembali mengalami kenaikan suhu drastis pada hari ke 22 hingga hari ke 25. Hal ini menunjukkan bahwa produksi biogas lebih besar pada hari tersebut. Kemudian kenaikan suhu cenderung konstan hingga hari ke 30. Pada hari ke 31 sampai hari ke 35, suhu mulai menurun drastis. Hal ini disebabkan gas mengalami penurunan produksi.

Suhu tertinggi untuk digester A yaitu pada hari ke-30 yaitu 32.03 C. Suhu tertinggi untuk digester B yaitu pada hari

ke-30 yaitu 32.7 C. Dan suhu tertinggi untuk digester C yaitu juga pada hari ke-30 yaitu 34.87 C.

### Uji nyala api

Pengujian nyala api dilakukan pada saat penampung gas berbahan plastik mika sudah terisi penuh, yaitu pada hari ke-36 dan ke-37, yaitu tanggal 14-15 Agustus 2015. Digester A pada hari pertama, api dinyalakan selama 25 menit dengan pembukaan gas sedang. Kemudian pada hari kedua api dinyalakan untuk memasak air sebanyak 1 liter selama 12 menit hingga mendidih dan tetap dinyalakan selama 19 menit hingga gas habis. Jadi, total nyala api hingga gas pada penampung plastik habis yaitu 56 menit 46 detik. Pada digester B hari pertama, api dinyalakan selama 25 menit dengan pembukaan gas sedang. Kemudian pada hari kedua api dinyalakan untuk memasak air sebanyak 1 liter selama 10 menit hingga gas habis. Jadi, total nyala api hingga gas pada penampung plastik habis yaitu 57 menit 53 detik. Pada Digester C hari pertama, api dinyalakan selama 25 menit dengan pembukaan gas sedang. Kemudian pada hari kedua api dinyalakan untuk memasak air sebanyak 1 liter selama 10 menit hingga mendidih dan tetap dinyalakan selama 25 menit hingga gas habis. Jadi, total nyala api hingga gas pada penampung plastik habis yaitu 60 menit 12 detik.

### V. KESIMPULAN

Eceng gondok dapat dimanfaatkan dengan cara diolah untuk menghasilkan energi biogas. Eceng gondok ini kemudian difermentasi selama 35 hari dengan bantuan starter kotoran sapi, EM-4 (*effective microorganism-4*), dan air.

Perbandingan penggunaan starter pada tiap digester yang menghasilkan energi biogas diantaranya yaitu pada digester A dengan perbandingan starter 0,9 kg EM-4 (*effective microorganism-4*) dengan air 2,5 kg yang nyala apinya 56 menit 46 detik, digester B menggunakan starter 3,4 kg kotoran sapi bercampur air dengan perbandingan 1:1 dengan nyala api selama 57 menit 53 detik, sedangkan digester C yang menghasilkan produksi energi biogas paling banyak menggunakan starter 2,5 kg kotoran sapi bercampur air dengan perbandingan 1:1 dan 0,9 kg EM-4 (*effective microorganism-4*) dengan nyala api paling lama yaitu 60 menit 12 detik.

### VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Riyanti, "Pembuatan Instalasi Untuk Biogas dari Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) yang Efisien Untuk Lahan Kecil," *Jurnal Pengabdian Sriwijaya*, 2015.
- [2] Arnold, "Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)," *Teknologi Kimia dan Industri*, vol. 2, 2013.
- [3] Cristian and Y. Timang, "Rancang Bangun Alat Pembangkit Biogas Model Portabel," *Politeknik Negeri Ujung Pandang*, 2012.
- [4] Dewi, "Pembuatan Gas Bio Dari Serbuk Gergaji, Kotoran Sapi, dan Larutan EM-4 (EFFECTIVE MICROORGANISME-4)," *Teknik Kimia, (Online)*, vol. 2, 2014.
- [5] Megawati and W. Kendali, "Pengaruh Penambahan EM-4 (EFFECTIVE MICROORGANISME-4) (Effective Microorganism-4) pada Pembuatan Biogas dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi," *Jurnal Bahan Alam Terbarukan, (Online)*, vol. 3, 2014.
- [6] M. Mulyati, "Desain Alat Biogas dari Kotoran Sapi Skala Rumah Tangga," *Jurnal Teknik Industri, (Online)*, vol. IX, 2009.
- [7] F. Cotana, A. Petrozzi, G. Cavalaglio, V. Coccia, A. L. Pisello, and E. Bonamente, "A batch digester plant for biogas production and energy enhancement of organic residues from collective activities," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1669-1672, 2014.
- [8] T. Sreekrishnan, S. Kohli, and V. Rana, "Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review," *Bioresource technology*, vol. 95, pp. 1-10, 2004.
- [9] H. A. Qdais, K. B. Hani, and N. Shatnawi, "Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, pp. 359-363, 2010.
- [10] P. S. Ganesh, E. Ramasamy, S. Gajalakshmi, and S. Abbasi, "Extraction of volatile fatty acids (VFAs) from water hyacinth using inexpensive contraptions, and the use of the VFAs as feed supplement in conventional biogas digesters with concomitant final disposal of water hyacinth as vermicompost," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 27, pp. 17-23, 2005.
- [11] R. Zhang and Z. Zhang, "Biogasification of rice straw with an anaerobic-phased solids digester system," *Bioresource technology*, vol. 68, pp. 235-245, 1999.
- [12] F. Liu, S. Wang, J. Zhang, J. Zhang, X. Yan, H. Zhou, *et al.*, "The structure of the bacterial and archaeal community in a biogas digester as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis and 16S rDNA sequencing analysis," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 106, pp. 952-966, 2009.
- [13] L. Yu, K. Yaoqiu, H. Ningsheng, W. Zhifeng, and X. Lianzhong, "Popularizing household-scale biogas digesters for rural sustainable energy development and greenhouse gas mitigation," *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 2027-2035, 2008.
- [14] W. Xiaohua, D. Chonglan, H. Xiaoyan, W. Weiming, J. Xiaoping, and J. Shangyun, "The influence of using biogas digesters on family energy consumption and its economic benefit in rural areas—comparative study between Lianshui and Guichi in China," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, pp. 1018-1024, 2007.
- [15] W. Xiaohua and L. Jingfei, "Influence of using household biogas digesters on household energy consumption in rural areas—a case study in Lianshui County in China," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 9, pp. 229-236, 2005.
- [16] B. Limmeechokchai and S. Chawana, "Sustainable energy development strategies in the rural Thailand: The case of the improved cooking stove and the small biogas digester," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, pp. 818-837, 2007.
- [17] Renilaili, "Eceng Gondok sebagai Biogas yang Ramah Lingkungan," *Teknologi Kimia dan Industri*, vol. 12, 2015.

- [18] Sintani, "Biogas yang Dihasilkan dari Dekomposisi Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) dengan Penambahan Kotoran Sapi sebagai Stater," *Teknik Lingkungan Henas*, vol. 2, 2014.
- [19] Hardoyo, *Panduan Praktis Membuat Biogas Portabel Skala Rumah Tangga dan Industri*. Bandar. Bandar Lampung, 2014.
- [20] S. Wahyuni, *Panduan Praktis Biogas*. Bogor: Penebar Swadaya, 2013.