

ANALISIS PENINGKATAN GAS METANA (CH₄) PADA DIGESTER PORTABEL DENGAN KOTORAN SAPI SEBAGAI SUMBER ENERGI BIOGAS BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)

Oleh :

Hasto Soebagia¹⁾, Didik Notosudjono²⁾, Kiki Baehaki³⁾

ABSTRAK

Biogas adalah salah satu energi bahan bakar gas yang diperoleh dari degradasi anaerobik bahan-bahan organik oleh bakteri dalam lingkungan bebas oksigen. Digester portabel ini mampu menghasilkan biogas yang utamanya mengandung gas metana (CH₄) dan gas ikutan lainnya. Proses pembentukan biogas khususnya gas metana pada digester dimonitor dengan sensor gas metana secara *real time* berbasis *Internet of Things* (IoT). Hasil pengukuran konsentrasi gas metana yang dilakukan selama 38 hari pada temperatur rata-rata 37,46°C, nilai konsentrasi terus meningkat sampai dengan hari ke 29, dengan konsentrasi gas sebesar 170.564,02 ppm atau persentase gas sebesar 71,07%. Pada hari ke 29 gas metana dalam digester sudah layak dimanfaatkan, dan untuk menjaga kontinuitas produksi gas metana, setiap hari bahan baku biogas perlu ditambahkan ke digester sesuai kapasitas.

Kata Kunci : Biogas, Digester.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini, penggunaan energi fosil masih mendominasi dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Energi terbarukan biogas bisa menjadi salah satu alternatif energi. Biogas merupakan suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen. Komponen biogas rata-rata mengandung gas metana (CH₄, 60%), karbondioksida (CO₂, 36%), belerang (H₂S, 3%) serta gas hidrogen (H₂) dalam konsentrasi kurang dari 1%. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi gas metana (CH₄). Semakin tinggi kandungan metana, maka semakin besar kandungan energi pada biogas [12].

Percepatan pertumbuhan mikroorganisme yang membantu proses fermentasi diklasifikasikan dalam batasan suhu dari mikroorganisme, yang bersifat psikofilik, mesofilik dan termofilik. Kisaran suhu operasi optimal psikofilik adalah <10°C. Mesofilik dalam rentang suhu 20–45°C dan suhu optimum adalah 35°C. Suhu optimum thermophilic >50°C. Mikroorganisme jenis termofilik biasanya beroperasi pada suhu optimum yaitu 55°C [1]. Adapun suhu yang baik untuk proses fermentasi yaitu 32-37°C [10].

Gas metana (CH₄) sebagai komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang baik karena

mempunyai nilai kalor yang tinggi, yaitu sekitar 4800 sampai 6700 kkal/m³, sehingga sebagai sumber energi dapat dipergunakan untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya. Disamping itu masih ada manfaat lain yaitu pemanfaatan limbah biogas sebagai pupuk, mengurangi polusi lingkungan, dan memberikan dampak ekonomi yang baik kepada pengguna biogas.

Pengukuran konsentrasi gas metana (CH₄), temperatur dan kelembaban digester dilakukan oleh sensor gas metana (MQ-4) dan sensor temperatur & kelembaban (DHT11) secara *real time*, kemudian data diolah mikrokontroler dan ditampilkan dengan terkoneksi jaringan internet (berbasis *Internet of Things* - IoT).

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang ingin dicapai antara lain:

- Memantau proses pembentukan biogas dalam suatu digester.
- Mengidentifikasi faktor keberhasilan produk gas metana dalam suatu digester.
- Mengetahui sedini mungkin kegagalan dalam proses pembentukan biogas dalam suatu digester.
- Memantau kondisi digester dengan pengukuran temperatur, kelembaban dan konsentrasi gas metana (CH₄) secara *real time* dengan sensor-sensor yang terintegrasi dengan internet (*Internet of Things*-IoT)

II. METODOLOGI

2.1. Tempat dan Waktu.

Penelitian pembuatan gas metana pada digester portabel menggunakan kotoran sapi, dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor. Waktu penelitian selama 38 hari yaitu pada bulan Januari 2018 sampai Pebruari 2018.

2.2. Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam proses pembuatan biogas antara lain: digester portable (plastic gallon 20 liter), alat pengaduk, dan pipa paralon.

Alat pendukung yaitu alat pemantau digester antara lain: mikrokontroler, sensor gas metana, sensor suhu, sensor kelembaban dan peralatan *Internet of Things* (IoT)

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan biogas yaitu kotoran sapi, air dan starter.

2.3. Langkah Pembuatan.

Langkah-langkah dilakukan yaitu:

- Kotoran sapi dicampur dengan air hingga terbentuk lumpur dengan perbandingan 1:1 pada bak penampung
- Lumpur dari bak penampungan kemudian dialirkan ke digester. Pada pengisian pertama digester harus diisi sampai penuh.
- Melakukan penambahan starter (banyak dijual dipasaran). Setelah digester penuh, kran gas ditutup supaya terjadi proses fermentasi.
- Gas metana (CH_4) sudah mulai dihasilkan pada hari ke 14 yaitu sekitar 10,5%.
- Pada percobaan ini, pengisian bahan biogas dilakukan hanya 2 (dua) kali yaitu di hari pertama 1. dan hari ke 25, sesuai kemampuan volume digester.
- Pada hari 29 konsentrasi gas metana mencapai 170.564,02 ppm atau 71,07%.
- Pada hari 30 gas metana diuji coba dibakar, dan sebagiannya dipindahkan ke balon penyimpanan.
- Perkembangan gas metana dari hari ke 30 sampai 38 lambat, karena sejak hari ke 26 tidak ada pengisian bahan biogas.
- Sisa pengolahan bahan biogas berupa lumpur/sludge secara otomatis akan keluar dari lubang pengeluaran (outlet) setiap kali dilakukan pengisian bahan biogas. Sisa hasil

pengolahan bahan biogas tersebut dapat digunakan sebagai pupuk kandang/pupuk organik, baik dalam keadaan basah (cair) maupun kering.

2.4. Proses Pembentukan Biogas

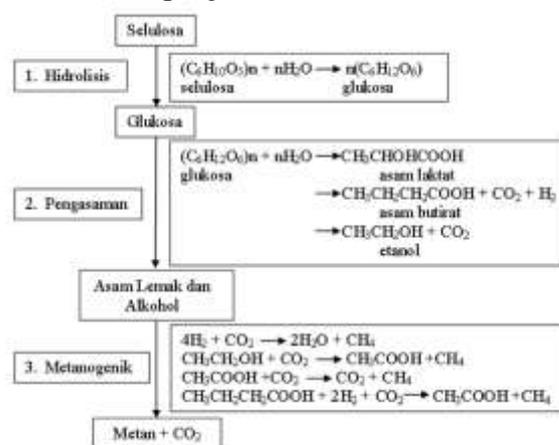
Proses Pembentukan biogas dilakukan oleh mikroba pada situasi anaerob, yang meliputi tiga tahap, yaitu tahap hidrolisis, tahap pengasaman, dan tahap metanogenik.

Tahap hidrolisis terjadi pelarutan bahan-bahan organik mudah larut dan pencernaan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana, perubahan struktur bentuk primer menjadi bentuk monomer.

Tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari gula-gula sederhana pada tahap ini akan menghasilkan asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butirat, gas karbondioksida, hydrogen, dan amoniak.

Tahap metanogenik adalah tahap/proses pembentukan gas metana.

Sebagai ilustrasi dapat dilihat salah satu contoh bagan perombakan serat kasar (selulosa) hingga terbentuk biogas pada Gambar 1 di bawah ini.



(Sumber: FAO, 1978, dalam Sutarno dan Feris, 2007)

Gambar 1. Tahapan Proses Pembentukan Biogas

2.5. Periode Penyimpanan (*Retention Period*) dalam digester

Periode penyimpanan adalah periode saat bahan masukan masih dalam digester dan selama proses fermentasi oleh bakteri metanaogen.

Periode ini sangat dipengaruhi oleh faktor lainnya, seperti suhu pengenceran, dan laju pemasukan bahan. Periode penyimpanan yang dibutuhkan dalam digester akan tergantung pada jenis bahan organik yang digunakan. Periode penyimpanan akan semakin singkat jika suhu lebih dari 35°C. [10]

III. PEMBAHASAN DAN ANALISIS DATA

3.1 Perancangan Digister Portabel

Digester Portabel merupakan alat dengan ukuran kecil yang didesain untuk menciptakan suasana anaerob selama proses fermentasi, pada umumnya digester yang digunakan berupa tangki tertutup kedap udara, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, terlihat ada pipa inlet, pipa outlet dan *solenoid valve*.



Gambar 2. Digester Portabel

Gambar 3 yang ditunjukkan oleh nomor ① merupakan digester portabel yang digunakan sebagai media pengujian gas metana (CH₄), media pembentukan biogas ini memiliki kapasitas 20 liter dengan material PVC, dan di desain kedap udara, sehingga proses anaerob dapat terjadi dalam digester, pada digester ini di tanamkan sebuah sensor gas MQ-4 serta sensor temperatur dan kelembapan DHT11 yang di isolasi pada bagian atas digester. Untuk menyalurkan gas hasil perombakan bakteri terdapat sebuah *solenoid valve* yang dapat dikontrol oleh mikrokontrler dan *relay*. Sedangkan pada gambar yang ditunjukkan oleh nomor ② merupakan alat pemantau digester, yang terdiri dari rangkaian catu daya, *relay driver* dan mikrokontroler. Secara visual terdapat beberapa display yang ada pada alat

tersebut, yaitu dua *voltmeter digital* yang berfungsi untuk menunjukkan nilai tegangan yang dihasilkan oleh catu daya, serta satu buah OLED display yang dapat menunjukkan nilai temperatur, kelembaban, konsentrasi dan persentase CH₄.

Sensor ini merupakan jenis tranduser yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. DHT11 adalah sensor digital yang dapat mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik serta fitur kalibrasi yang sangat akurat. Dengan sepsifikasi: *Supply Voltage*: 3 Volt - 5 Volt, *Temperature range*: 0-50°C *error of* ± 2°C, *Humidity* : 20-90% RH ± 5% RH *error*, dengan sesifikasi *digital interfacing system*.



Gambar 3. Digester Portabel dan alat pemantau Biogas

3.2 Perancangan Alat Pemantauan Digester

Alat Pemantauan Digester merupakan sebuah alat yang menggunakan sebuah chip mikrokontroler Node MCU ESP-12e. Alat ini digunakan sebagai pemantau digester dengan menempatkan sensor pada digester, dan untuk mengukur temperatur, kelembaban, serta konsentrasi gas metana (CH₄) dalam sebuah digester, dengan tampilan LED display serta terkoneksi dengan internet, Sehingga digester dapat dipantau dengan *smartphone* secara *real time*.

Secara umum Alat Pemantauan Digester terdiri dari:

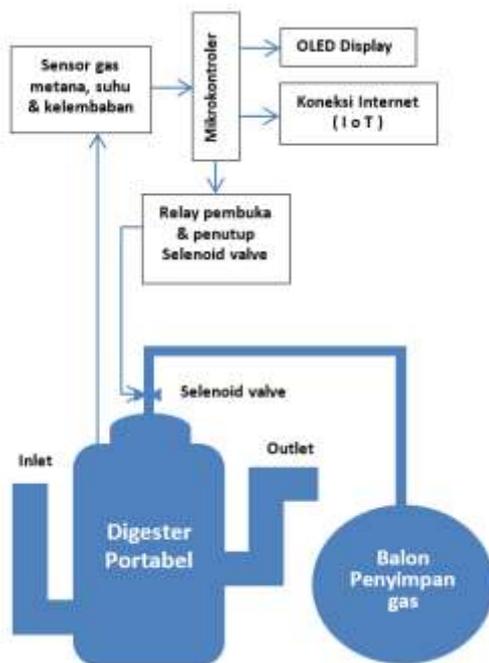
- Mikrokontroler NodeMCU ESP 12-E – Chip ini berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik, yang arsitektur di dalamnya terdiri dari CPU (*Central*

Processing Unit), memori (RAM, ROM dan EPROM), I/O tertentu dan unit pendukung seperti Analog-to-Digital Converter (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya

- OLED (Organic-Light Emitting Diode) OLED adalah sebuah komponen semikonduktor yang solid, seperti halnya pada komponen LED (Light Emitting Dioda) yang dibuat dengan menyisipkan beberapa lembar lapisan tipis organik diantara dua konduktor [3]. OLED memiliki kelebihan pada kontras yang sangat tajam dan tidak memerlukan backlight hal ini membuat OLED lebih hemat dalam konsumsi daya. Sedangkan display tipe ini memiliki kekurangan dari sisi ukuran yang relatif lebih kecil dari LCD TFT/LCD Graphic.[3]
- Sensor Temperatur dan Kelembaban (DHT11)
- Sensor Gas MQ-4 --- Sensor MQ-4 juga merupakan hasil produksi Hanwai Electronics. Material sensitif dari sensor gas ini terbuat dari bahan semikonduktor SnO₂ yang memiliki konduktivitas lebih rendah ketika berada pada medium udara bersih. Ketika gas target terdeteksi (metana) konduktivitas sensor akan meningkat sebanding dengan peningkatan konsentrasi gas polutan.

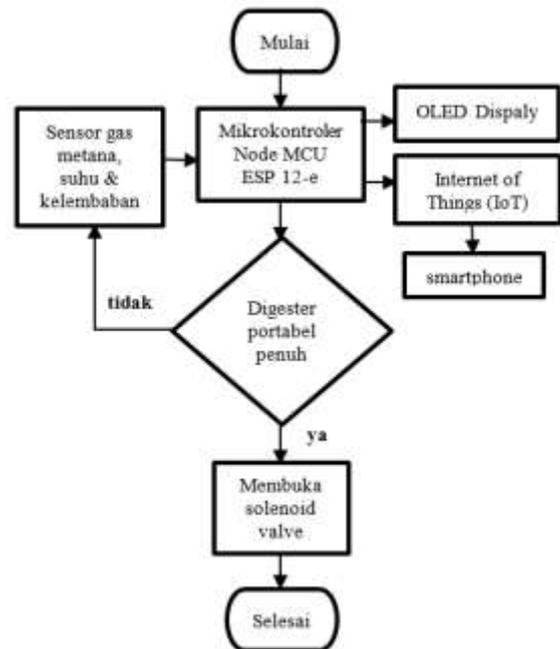
3.3 Blok Diagram Kerja dan Flowchart Pemantauan dari Sistem Digester

Prinsip kerja sistem digester dapat dilihat blok diagram sistem digester pada gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Digester

Sedangkan Flowchart Pemantauan Sistem Digester ini digambarkan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Flowchart Pemantauan Sistem Digester

3.4 Pengukuran dan Analisis data

Akuisisi data pengukuran temperatur, kelembaban dan konsentrasi gas metana (CH₄), dari fermentasi kotoran hewan merupakan sebuah data pengukuran perangkat pemantau digester dalam Periode Penyimpanan selama 38 hari.

Adapun data pengukuran diperlihatkan pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Akuisisi Data Perkembangan Gas Metana

Pengujian 38 hari	Temperatur Lingkungan (°C)	Temperatur Digester (°C)	Kelembaban (%)	Konsentrasi CH ₄ (ppm)	Konsentrasi CH ₄ (%)
rata-rata	27,51	37,46	84,27		
maximum	31,3	40,15	83,3	170.564,02	71,07
minimum	24,7	33,54	76,86	5,21	0,00

Tabel 1 di atas menunjukkan perkembangan gas selama 38 hari dalam digester, dalam kurun waktu tersebut konsentrasi gas metana secara bertahap mulai muncul, dengan mengupayakan nilai temperatur pada digester dalam keadaan konstan, pada pengujian tersebut didapat nilai temperatur rata-rata digester adalah sebesar 37,46°C, dengan rata-rata kelembaban pada digester sebesar 84,27%. konsentrasi gas pada digester mulai muncul sejak hari pertama pengisian atau 24 jam setelah bahan baku kotoran hewan dimasukan kedalam digester, akan tetapi konsentrasi tersebut sangatlah kecil yaitu sebesar 5,21 ppm atau setara dengan

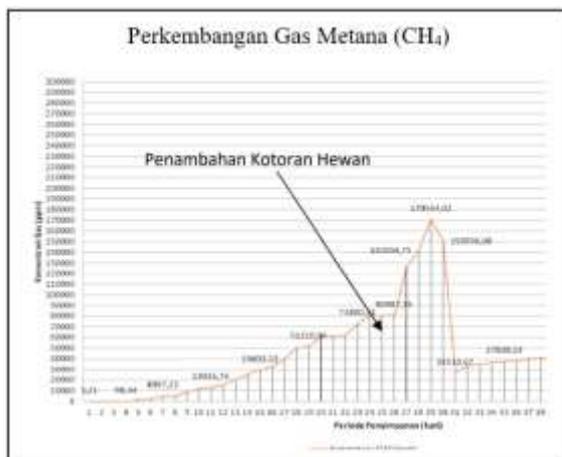
0,000521%. Seperti ditunjukkan pada gambar 6 di bawah ini:



Gambar 6. Konsentrasi Gas Metana Hari Pertama

Dengan temperatur digester dipertahankan sekitar 37°C, peningkatan konsentrasi gas metana mulai tinggi pada minggu kedua, pada hari ke 13 nilai konsentrasi gas mencapai hampir 9%, dan terus mengalami peningkatan di hari berikutnya. Selama periode penyimpanan berlangsung nilai konsentrasi biogas terus meningkat hal tersebut terukur oleh perangkat pemantau digester.

Perkembangan gas metana yang terukur oleh pemantau digester selama Periode Penyimpanan ditunjukkan grafik pada gambar 7 di bawah ini:



Gambar 7. Perkembangan Gas Metana

Sedangkan nilai presentase gas yang terukur selama 38 hari dapat dilihat pada grafik pada gambar 8 di bawah ini:



Gambar 8. Persentase Gas Metana pada Digester

Selanjutnya, bahan baku kotoran hewan ditambahkan pada hari ke 25 untuk menguji peningkatan biogas dalam digester. Dengan temperatur rata-rata 37,46°C, nilai konsentrasi terus meningkat sampai dengan hari ke 29, dengan konsentrasi gas sebesar 170.564,02 ppm dan persentase gas sebesar 71,07%. Adapun tampilan pada pemantau digester seperti ditunjukkan pada gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Konsentrasi Gas Metana Hari Ke-29

Setelah hari ke 30 nilai konsentrasi gas metana yang terukur mengalami penyusutan, hal ini dikarenakan tidak dilakukan pengisian bahan baku lagi semenjak pengisian di hari ke 25, sehingga konsentrasi gas metana pada digester tidak bisa meningkat. Pada pengujian ini perkembangan biogas lambat, hal itu dapat dipengaruhi oleh nilai temperatur yang tidak stabil, sehingga perkembangan bakteri tidak optimal.

Uji nyala gas metana dilakukan pada hari ke 30, seperti terlihat pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Uji nyala Gas Metana di hari ke-30

3.5 Analisis Konsentrasi Gas Metana Terhadap Parameter Pengukuran

Analisis ini ditunjukkan untuk mengetahui perkembangan biogas yang di uji selama periode penyimpanan 38 hari dengan parameter-parameter yang diukur antara lain temperatur digester serta kelembaban digester.

Keterkaitan konsentrasi gas metana dengan parameter Temperatur dan Kelembaban yang diukur ditunjukkan oleh grafik pada gambar 11 di bawah ini:

pengujian hari ke 29 dimana konsentrasi gas sebesar 170.564,02 ppm dengan persentase gas sebesar 71,07%, dan temperatur digester sebesar 38°C, kelembaban digester mencapai 85,90%, dari pengujian yang dilakukan, kelembaban relatif pada digester tidak memberikan efek yang signifikan terhadap perkembangan gas metana, hal tersebut ditunjukkan oleh perkembangan konsentrasi gas metana yang terus meningkat selama periode penyimpanan dalam digester.

3.1 Potensi Energi Gas Metana yang dihasilkan

Energi yang dihasilkan dari konversi gas metana menjadi listrik didapat dengan melakukan pembakaran gas metana sebagai bahan bakar pada mesin penggerak mula pada generator set (genset). Daya listrik yang dibangkitkan dapat dihitung dari kuantitas bahan baku yang tersedia. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu [13] produksi biogas beberapa bahan organik, setiap 1 kg kotoran sapi mampu menghasilkan 40 liter biogas, dan 1m³ biogas memiliki nilai energi yang setara dengan 6,10 kWh energi listrik.

Penelitian ini menggunakan digester berukuran 20 liter, apabila dari kapasitas total digester yang dapat digunakan adalah sebesar 60% sedangkan 40% sisanya digunakan untuk penampung gas metana yang sudah terbentuk. Artinya, jumlah bahan baku yang dapat dimasukan kedalam digester adalah sebanyak 12 liter, jika rasio antara air dan kotoran hewan adalah 1 berbanding 1 (rasio = 1:1) maka jumlah kotoran hewan yang dimasukkan harus dikurangi dengan jumlah air yang dicampurkan yaitu seberat 6 kg. Maka kapasitas biogas yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Gas metana yang dihasilkan (m}^3\text{)} &= 6 \text{ kg} \times 40 \\ \text{l/kg} & \\ &= 240 \text{ liter atau } 0,24 \\ &\quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga potensi energi listrik yang dihasilkan menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Energi listrik (kWh)} &= 0,24 \text{ m}^3 \times 6,10 \text{ kWh/m}^3 \\ &= 1,5 \text{ kWh} \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Analisis mengenai hasil pengujian digester portabel dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Selama masa penyimpanan 38 hari, temperatur rata-rata sebesar 37,46°C, dengan nilai maksimum 40,15°C dan nilai minimum 33,54°C . Sedangkan kelembaban rata-rata sebesar 84,27%, dengan nilai maksimum 93,30% dan nilai minimum 76,86%.
2. Gas metana pada digester mulai muncul sejak hari pertama pengisian atau 24 jam setelah bahan baku kotoran sapi dimasukkan ke dalam digester, yaitu sebesar 5,21 ppm atau setara dengan 0,000521%.
3. Data pengukuran memperlihatkan konsentrasi gas metana meningkat sampai dengan hari ke 29, dengan konsentrasi gas sebesar 170.564,02 ppm atau sebesar 71,07%. Gas metana dalam digester sudah layak dimanfaatkan.
4. Kelembaban dalam digester tidak dipengaruhi oleh perubahan temperatur digester, hal tersebut disebabkan temperatur digester hampir sama dengan temperatur lingkungan, kondisi digester yang sangat lembab disebabkan oleh kandungan air dari hasil pencampuran kotoran sapi dengan rasio 1:1, artinya dari keseluruhan bahan yang di masukan ke dalam digester 50% berupa air, hal ini yang menyebabkan kelembaban digester tinggi.
5. Kelembaban digester tidak memberikan efek yang signifikan terhadap perkembangan gas metana, hal ini ditunjukkan oleh perkembangan konsentrasi gas metana yang terus meningkat selama periode penyimpanan dalam digester dengan nilai kelembaban rata-rata sebesar 84,27%.
6. Potensi energi listrik yang bisa didapatkan dari gas metana ini sebesar 1,5 kWh dari 0,24 m³ gas metana.

4.2 Saran

Beberapa saran yang diperlukan untuk perbaikan ke depan sebagai berikut:

1. Biogas hasil fermentasi dalam digester belum menghasilkan gas metana yang murni. Hal itu disebabkan adanya gas lain yang ikut serta sebagai pengotor seperti H₂O, CO₂, SO₂, H₂S, dan gas lain yang menyebabkan performa biogas kurang maksimal, maka dari itu dibutuhkan filter untuk memurnikannya. Gas-gas pengotor tersebut seperti misalnya Hidrogen sulfida (H₂S) merupakan gas yang berbau dan beracun serta sangat korosif bagi berbagai jenis logam.
2. Bahan digester dari plastik kurang mampu menahan tekanan gas yang terlalu tinggi,

oleh karena disarankan menggunakan bahan baku yang lebih kuat dan kokoh agar lebih tahan terhadap tekanan.

3. Degester perlu diperbesar volumenya supaya bisa menampung biogas yang banyak.
4. Perlu pengembangan alat pemantau digester sehingga mampu memantau dan mengukur gas-gas lain yang muncul saat pembentukan metana seperti H₂O, CO₂, SO₂, H₂S, dan gas lain yang menyebabkan performa biogas kurang maksimal.
5. Setelah hari ke 10, sebaiknya pengisian bahan baku biogas dilakukan setiap hari, disesuaikan dengan kapasitas digester, supaya produksi gas metana tetap terjaga kontinuitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.N, Matheri. et al. (2017). Optimising Biogas Production from Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and Organic Fraction of Municipal Solid Waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80 (2017) 756–764, 757.
- [2] AnnyMart. (2015). 0.96 128x64 I2C Blue Color OLED Display. Kolkata. (<http://www.annymart.com/product/0-96-128x-64-i2c-blue-color-oled-display-module-board-for-arduino/> di akses tanggal 10 Februari 2018).
- [3] C.M, Navaneetha. et al. (2016). Organic Light Emitting Diode (OLED). Hochschule Bremen City University of Applied Sciences, 5. doi: 10.13140/RG.2.2.17010.71360
- [4] Inventel Ectronics. (2017). DHT11 Temperature and Humidity Sensor. (<https://www.inventellectronics.com/product/dht11-temperature-humidity-sensor/> di akses tanggal 10 Februari 2018).
- [5] Kolban, Neil. (2015). Book on the ESP8266
- [6] Mukherjee , Aritro. (2016). Getting Started With ESP-12E NodeMcu V3 Module Using ArduinoIDE. (<https://www.charpcorner.com/article/blink-led-by-esp-12e-nodemcu-v3-module-using-arduinoide/> di akses tanggal 11 Februari 2018).
- [7] Peter, Spasov. (1993). Microcontroller Technology The 68HC11 (International Edition). PRENTICE HALL. Singapore, 8, 189.
- [8] RobotPark. (2015). MQ-4 Methane Natural Gas Sensor Module. (<http://www.robotpark.com/MQ-4-Methane-Natural-Gas-Sensor-Module> di akses tanggal 11 Februari 2018).
- [9] RobotPark. (2015). MQ-4 Methane Natural Gas Sensor Module. (<http://www.robotpark.com/MQ-4-Methane-Natural-Gas-Sensor-Module> di akses tanggal 11 Februari 2018).
- [10] Saptadi, A. Hendra. (2014). Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22 Studi Komparatif pada Platform ATMEL AVR dan Arduino. *Jurnal Infotel* Vol. 6 No. 2, 50.
- [11] Sutarno dan Feris Firdaus. 2007. Analisis Prestasi Produksi Biogas (CH₄) dari Polyethylene Biodigester Berbahan Baku Limbah Ternak Sapi. *Logika*. Vol. 4:1
- [12] Wahyuni, Sri. (2011). Menghasilkan Biogas dari Aneka Limbah. *AgroMedia Pustaka*. Jakarta Selatan, 27.
- [13] Wibawa, Unggul. (2001). Sumber Daya Energi Alternatif. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, 13, 57, 72.

PENULIS

1. **Dr. Ir. Hasto Soebagia, M.Eng.** Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.
2. **Prof. Dr. Ir. H. Didik Notosudjono, M.Sc.** Guru Besar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.
3. **Kiki Baehaki, ST.** Alumni (2018) Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.