

IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK PEMANTAUAN TEKANAN DIGESTER BIOGAS DALAM Mendukung REDUKSI EMISI GAS RUMAH KACA DI KABUPATEN KENDAL

Rizky Adi Nugraha^{1*}, Aan Aria Nanda², Esa Apriaskar³, Hutama Arif Bramantyo⁴,
Pangestuningtyas Diah Larasati⁵, dan Bagus Satrio Utomo⁶

¹ Cabang Dinas ESDM Wil. Semarang - Demak, Dinas ESDM Prov. Jawa Tengah, Semarang, Indonesia

² Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

³ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

^{4,5} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Semarang, Indonesia

⁶ Financial Engineering Program, WorldQuant University, Amerika Serikat

*Penulis korespondensi: nugraha.adi.rizky@gmail.com

ABSTRAK

Limbah kotoran sapi yang tidak dikelola dengan baik menjadi sumber signifikan gas metana, salah satu gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global lebih besar dibanding karbon dioksida. Dalam mendukung mitigasi perubahan iklim, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Jawa Tengah telah membangun dua unit digester biogas berkapasitas 10 m² di Desa Pasigitan dan Bandarejo, Kabupaten Kendal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keberhasilan infrastruktur biogas melalui pemantauan tekanan gas dalam digester menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). Parameter tekanan gas diukur menggunakan sensor digital untuk memantau performa digester anaerobik dan perilaku konsumsi energi oleh pengguna. Hasil monitoring menunjukkan tekanan rata – rata produksi masing-masing digester mencapai 6,70 kPa dan 3,84 kPa per hari dan dengan pemanfaatan tekanan 5,79 kPa dan 3,97 kPa per hari maka kebutuhan memasak dengan biogas telah terpenuhi. Variasi pola tekanan kedua desa mencerminkan perbedaan manajemen pengoperasian digester dan tingkat pemanfaatan oleh rumah tangga penerima manfaat. Stabilitas tekanan dalam digester berkorelasi erat dengan efisiensi fermentasi anaerobik dan pola konsumsi energi. Implementasi IoT terbukti memberikan data real-time yang esensial untuk analisis performa teknis biogas sekaligus sebagai alat evaluasi keberhasilan program. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan strategi pengelolaan biogas berbasis teknologi untuk mendukung transisi energi berkelanjutan dan pengurangan emisi gas rumah kaca di wilayah pedesaan.

Kata kunci: digester, biogas, tekanan, IoT, EBT

1 PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan (EBT) yang potensial untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar memasak di pedesaan. Biogas terdiri dari metana (50–70%) dan karbon dioksida (30–40%), dengan sejumlah kecil gas lain seperti hidrogen sulfida. Komposisi ini membuatnya memiliki nilai kalor/panas yang tinggi dan ramah lingkungan. Dalam pemanfaatannya, teknologi berbasis Internet of Things (IoT) semakin populer untuk memantau parameter teknis seperti tekanan dan suhu secara *real time* (Rahmat *et al.*, 2023). Pengembangan lebih lanjut dari teknologi ini adalah kemampuannya menghitung laju aliran biogas (Gupta, 2020) dan sensor gas metana (Tanaya *et al.*, 2022) sehingga parameter yang dianalisis lebih spesifik.

Teknologi IoT memungkinkan untuk dilakukannya akuisisi data proses pembentukan biogas pada *digester* (Purnama Dewi *et al.*, n.d.). Penggunaan sensor yang terhubung dengan sistem *cloud*, seperti *ThingSpeak* dan *Grafana*, memungkinkan visualisasi data untuk analisis yang lebih baik.

Biogas memiliki bahan baku berasal dari kotoran hewan. Terdapat 7 jenis kotoran hewan yang digunakan, diantaranya sapi potong, sapi perah, kambing, domba, ayam boiler, ayam petelur dan kelinci. Junaidi *et al.* (2021) menjelaskan bahwa sapi potong memiliki potensi biogas paling baik dari segi waktu pembentukan dan waktu ketahanan biogas dalam pemanfaatannya. Setiap ekor sapi dewasa mampu menghasilkan 15–20 kg kotoran per hari, cukup untuk mendukung produksi biogas skala rumah tangga (Putra & Seniari, 2024). Dengan mengetahui jumlah hewan dalam sebuah peternakan, maka besarnya potensi biogas dapat dihitung. Desa Rumoong Bawah diperkirakan mampu menghasilkan 136 m³ gas metana yang setara dengan kurang lebih 21 tabung gas LPG 3kg (Maluegha *et al.*, 2018). Pada studi sebelumnya, tekanan biogas rata-rata berkisar antara 10 ± 0,3 kPa (Adi Nugraha *et al.*, n.d.), sementara Rajagukguk (2020) menambahkan bahwa *digester* dengan kapasitas 1 m³ mampu menghasilkan tekanan 12,2 kPa. Komposisi campuran dari kotoran dan air juga dapat berpengaruh pada tekanan yang dihasilkan (Apriandi, 2021). Selain tekanan, suhu luar *digester* memiliki langsung terhadap perkembangan bakteri pembentuk biogas di dalam *digester* (Harmiansyah *et al.*, 2022). Kisaran suhu lingkungan pada siang hari, berkisar 31–36 °C dan sore hari berkisar 29–30 °C berdampak terhadap tekanan yang dihasilkan (Sinaga *et al.*, 2022). Peningkatan tekanan tersebut menjadi indikasi terjadinya produksi biogas. Semakin banyak komposisi kotoran sapi, tekanan yang dihasilkan lebih besar sehingga waktu terjadinya reaksi akan lebih cepat. Hal tersebut dikarenakan jumlah bakteri yang dikandungnya lebih banyak seiring dengan komposisi yang meningkat (Manta *et al.*, 2022). Sebaliknya, tekanan akan semakin menurun seiring dengan berkurangnya bakteri penghasil biogas tersebut (Suanggana *et al.*, 2020). pada tekanan maksimal, biogas secara efektif sudah dapat dimanfaatkan pada hari ke 14 (Isyaturriyadhah *et al.*, 2022).

Pemanfaatan biogas memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Biogas mampu mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 80% dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Selain itu, penggunaan biogas membantu mengurangi pencemaran limbah organik (Putra & Seniari, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan biogas berdasarkan peningkatan tekanan dalam kondisi ideal, sekaligus mendukung tupoksi Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah dalam meningkatkan pemanfaatan EBT melalui pembangunan dua unit *digester* di Desa Banjarejo dan Pasigitan. Upaya ini melibatkan kelompok tani yang memiliki tiga ekor sapi untuk memenuhi kebutuhan energi memasak di masing-masing desa.

2 METODE

2.1 Metode Penelitian

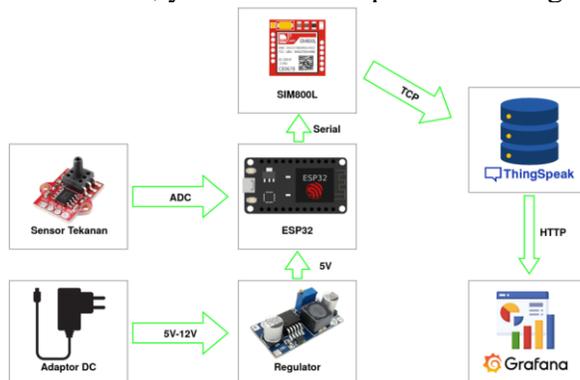
Pada penelitian ini metode penelitian yang digunakan mengikuti alur sebagai berikut ini:

1. Identifikasi Masalah, menentukan pentingnya sistem monitoring tekanan pada *digester* biogas untuk memastikan kestabilan produksi energi biogas.
2. Studi Literatur, menganalisis teknologi sensor tekanan dan IoT yang digunakan untuk monitoring tekanan gas biogas, serta referensi terkait pengaruh tekanan dan parameter – parameter lain terhadap produksi biogas.

3. Desain Sistem, merancang sistem IoT yang terdiri dari sensor tekanan, mikrokontroler (ESP32), SIM800L, regulator, dan *platform cloud* (*ThingSpeak*, *Grafana*) untuk memantau dan mengirimkan data tekanan secara *real time*.
4. Integrasi IoT, menghubungkan sensor tekanan dengan ESP32 untuk memproses data dan mengirimkannya melalui SIM800L ke *platform cloud*.
5. Pengujian Sistem, melakukan pengujian sistem untuk memastikan perangkat berfungsi dengan baik dan data tekanan yang dikirimkan akurat dan dapat diakses secara real-time.
6. Pengolahan Data, Mengolah data yang diterima melalui *ThingSpeak* untuk visualisasi dan analisis lebih lanjut, menggunakan *Grafana* untuk menyajikan data dalam bentuk yang mudah dipahami.
7. Analisis Hasil, Menganalisis data tekanan yang terkumpul untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring dan dampaknya terhadap pengelolaan produksi biogas. Dilakukan pemetaan periode waktu dan durasi terhadap perubahan tekanan yang terjadi untuk identifikasi perilaku pemanfaatan dan optimalisasi waktu produksi.
8. Kesimpulan dan Saran, Menyimpulkan hasil penelitian dan memberikan rekomendasi untuk pemanfaatan digester biogas yang lebih optimal.

2.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, alat yang digunakan mengacu pada perangkat sistem monitoring berbasis IoT yang telah dipasang pada digester. Terdapat desain dari digester yang telah dibangun oleh Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Jawa Tengah. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu kotoran sapi ternak sebagai bahan pembentuk biogas.

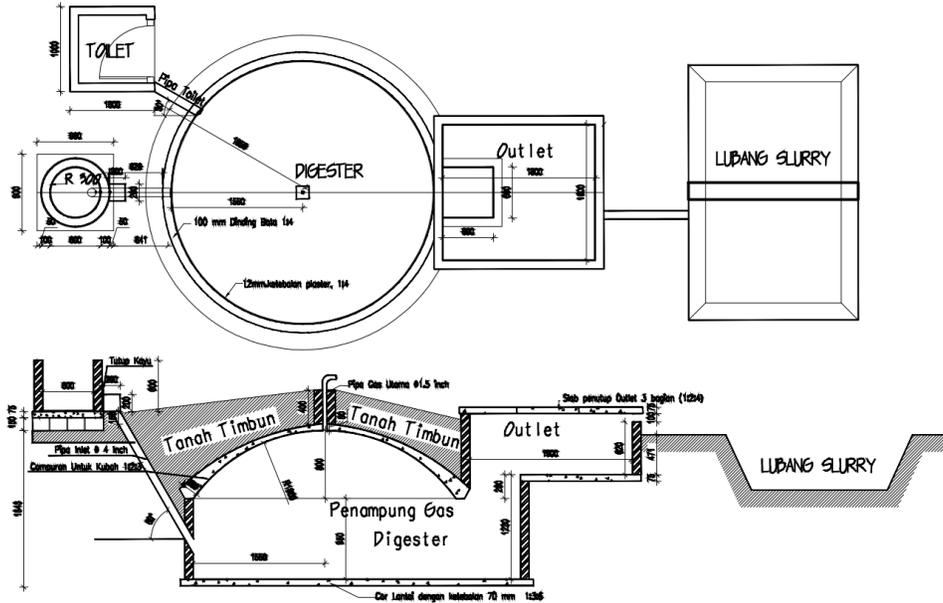


Gambar 1. Rangkaian Sistem Monitoring Tekanan Biogas Berbasis IoT

Perangkat sistem monitoring berbasis IoT disusun oleh beberapa komponen, sebagai berikut:

1. Sensor tekanan, yang berperan penting dalam mengukur besarnya tekanan gas yang dihasilkan oleh digester biogas. Perangkat ini bekerja dengan mengubah tekanan gas menjadi sinyal elektrik yang dapat diolah oleh mikrokontroler.
2. Adapter DC, yang berfungsi sebagai penyedia daya untuk seluruh perangkat dalam sistem IoT. Dengan mengubah arus listrik AC dari jaringan utama menjadi arus DC yang stabil, adaptor ini memastikan perangkat seperti sensor dan mikrokontroler dapat beroperasi dengan baik tanpa gangguan akibat fluktuasi tegangan.
3. SIM800L, yaitu modul GSM/GPRS yang digunakan untuk mengirim data dari perangkat IoT ke server melalui jaringan seluler. Modul ini mendukung protokol komunikasi seperti HTTP dan MQTT, sehingga memungkinkan pengiriman data tekanan ke *cloud* secara *real*

- time. SIM800L ideal digunakan di lokasi yang tidak memiliki koneksi *Wifi*, karena menggunakan jaringan seluler untuk mentransfer data.
4. ESP32, bertindak sebagai pengendali utama yang mengumpulkan data dari sensor, memproses informasi tersebut, dan mengirimkannya ke *platform cloud* melalui koneksi internet. ESP32 dikenal efisien dalam penggunaan daya dan mendukung pemrosesan data secara cepat, sehingga cocok untuk aplikasi IoT.
 5. Regulator, berfungsi untuk menstabilkan tegangan listrik yang disuplai ke perangkat. Perangkat ini melindungi modul-modul seperti ESP32 dan SIM800L dari lonjakan atau penurunan tegangan yang dapat merusak komponen elektronik.
 6. *Thingspeak*, layanan berbasis cloud yang digunakan untuk menyimpan dan memvisualisasikan data IoT. Data yang dikirim oleh perangkat seperti ESP32 atau SIM800L akan disimpan di ThingSpeak.
 7. *Grafana*, yaitu alat visualisasi data yang digunakan untuk menampilkan data IoT dalam bentuk web lebih menarik dan mudah dipahami. Terdapat beberapa fasilitas yang disediakan untuk mempermudah dalam membuat desain tampilan diantaranya filter waktu dan visualisasi yang fleksibel.



Gambar 2. Desain Digester Biogas Kapasitas 10 m³

Pada tahun anggaran 2024 Dinas ESDM telah membangun digester biogas di dua desa di kabupaten Kendal, yaitu desa Banjarejo dan desa Pasigitan. Gambar 2 menjelaskan desain digester dengan kapasitas 10m³ yang digunakan sebagai acuan dalam pembangunan secara fisik di lapangan. Digester terdiri dari tiga bagian yaitu inlet sebagai tempat untuk memasukkan kotoran ternak, digester utama sebagai tempat proses fermentasi, serta pemisah antara gas metana yang dihasilkan dengan ampas sisa produksi. Terdapat sisi saluran keluar di mana ampas hasil produksi terangkat keluar oleh tekanan yang dihasilkan selama proses, dan melalui perbedaan ketinggian, ampas cair akan terpisah dari ampas padat pada lubang *slurry* untuk kemudian dapat digunakan sebagai kompos. Nantinya, gas metana yang dihasilkan keluar dari ujung silindris digester yang kemudian melalui pipa PVC disalurkan ke tiga rumah warga.

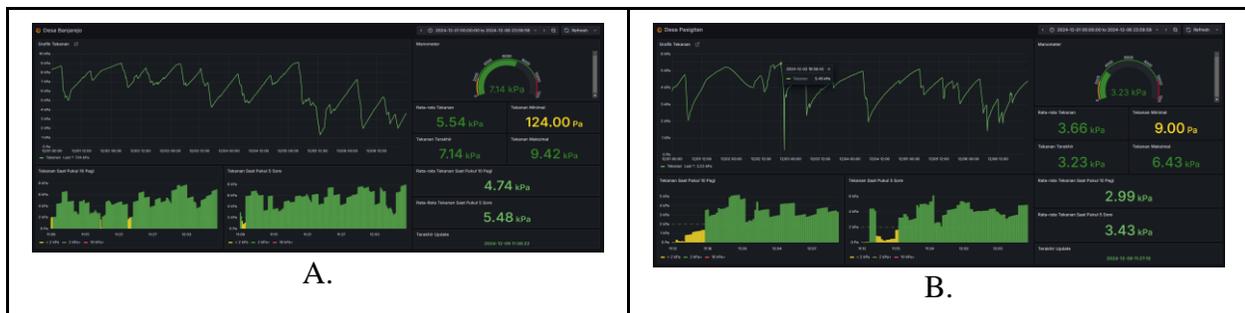
2.3 Perhitungan

Masukkan rumus yang ada di hasil kedalam sini, lengkap dengan keterangannya

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Tampilan Grafana Monitoring Digester Biogas 10m3 di Desa Banjarejo

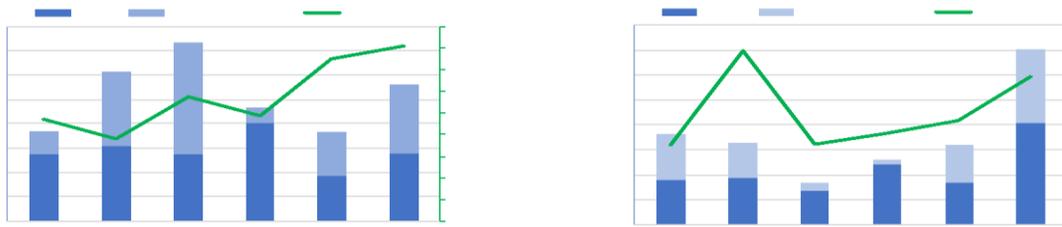
Hasil dari pembacaan sensor dan pengumpulan data oleh *thingSpeak* telah berhasil divisualisasikan oleh *Grafana*. Gambar 3 dan 4 adalah visual monitoring tekanan pada digester biogas yang dibangun di desa Banjarejo dan Pasigitan. Variasi tampilan yang diberikan dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Data yang ditampilkan diantaranya pembacaan tekanan secara *real time* dalam bentuk grafik dengan durasi berjalan 6 hari, pembacaan tekanan harian pada pukul 10:00 dan 17:00 dalam bentuk bar, pembacaan nilai rata – rata tekanan, tekanan terakhir, tekanan maksimal dan tekanan minimal. Untuk tekanan *real time* saat ini selain dari grafik dan angka juga ditampilkan dalam bentuk visual manometer. Hasil monitoring menunjukkan adanya perbedaan tekanan maksimal yang dapat dicapai oleh masing – masing digester. Digester desa Banjarejo mampu mencapai 9,42 kPa, lebih tinggi dari digester desa Pasigitan 6,43 kPa. Nilai rata – rata tekanan juga menunjukkan digester Banjarejo lebih tinggi dari desa Pasigitan yaitu 5,54 kPa dan 3,66 kPa. Perbedaan tersebut dapat disebabkan adanya perbedaan pemanfaatan biogas dan biogas yang dihasilkan oleh digester.



Gambar 3. Monitoring Tekanan Digester pada tanggal Biogas 7 Desember 2024
A. di Desa Banjarejo; B. di Desa Pasigitan

3.2 Pengaruh Durasi Pemanfaatan Terhadap Tekanan Digester

Berdasarkan grafik tekanan, terdapat fluktuasi tekanan selama waktu pembacaan 6 hari. Terjadinya penurunan tekanan disebabkan adanya aktivitas pemanfaatan biogas untuk memasak. Dengan melakukan pemetaan berdasarkan waktu dan durasi pemanfaatan serta perubahan tekanan, maka dapat diketahui perilaku, durasi pemanfaatan dan pengaruhnya terhadap penurunan tekanan per hari. Pada penelitian ini, terdapat hubungan antara waktu pemanfaatan terhadap penurunan tekanan (Gambar 4).



Gambar 4. Hubungan antara Durasi Waktu Pemanfaatan dan Penurunan Tekanan

Kedua desa memiliki perilaku yang hampir sama, dimana waktu pemanfaatan pada pagi hari lebih besar dari pada siang sampai malam hari, dengan nilai persentase pemanfaatan di pagi hari mencapai 55%, sedangkan di desa Pasigitan mencapai 61%. Terdapat peningkatan waktu pemanfaatan tidak linier dengan jumlah penurunan tekanan baik di desa Banjarejo maupun di Desa Pasigitan (Gambar 5). Peningkatan waktu pemanfaatan terjadi selama tiga hari berturut – turut di desa Banjarejo, yaitu pada tanggal 1 hingga 3 Desember, dengan nilai 7,35 jam/hari. Pada sisi lainnya, terdapat fluktuasi penurunan tekanan berturut – turut, yaitu 4,72 kPa; 3,82 kPa dan 5,77 kPa. Hal yang sama juga terjadi di desa Pasigitan dalam empat hari, yaitu dari tanggal 3 hingga 6 Desember, dimana terjadi kenaikan durasi pemanfaatan hingga 7,07 jam/hari. Pada nilai tekanan, terjadi fluktuasi secara berturut – turut, yaitu 0,37 kPa; 0,19 kPa; 2,13 kPa dan 2,09 kPa. Maka dapat disimpulkan bahwa durasi waktu pemanfaatan tidak berpengaruh secara langsung terhadap penurunan tekanan.

3.3 Pengaruh Waktu Terhadap Peningkatan Tekanan Digester Saat Produksi Biogas

Dengan mengamati dan membagi durasi waktu terjadinya peningkatan, maka dapat diketahui waktu optimal dari produksi energi berdasarkan besarnya peningkatan tekanan. Pada bagian ini, periode waktu dibagi menjadi dua, yaitu sore sampai dengan pagi dimana suhu lingkungan lebih rendah dari pada periode waktu siang hari. Hal ini untuk membuktikan bahwa produksi biogas lebih optimal pada saat suhu lingkungan lebih tinggi yaitu siang hari.



Gambar 6. Hubungan Antara Durasi Waktu Produksi dan Peningkatan Tekanan

Berdasarkan data yang diperoleh, diketahui durasi waktu produksi kedua desa pada periode waktu sore sampai dengan pagi lebih lama dari pada siang hari. Rata – rata perbandingan waktu produksi di Desa Banjarejo pada sore hingga pagi hari adalah 10,35 jam, sementara pada siang hari terjadi penurunan waktu produksi menjadi 8,02 jam. Sementara pada desa Pasigitan, rata – rata perbandingan waktu produksi pada sore hingga pagi hari sedikit lebih rendah, yaitu 10,26 jam,

sementara pada siang hari juga terjadi penurunan waktu produksi menjadi 9,87 jam. Sementara, tekanan yang dihasilkan berbanding terbalik dengan waktu produksinya, dimana tekanan yang dihasilkan pada siang hari lebih besar dari pada sore hingga malam. Di desa Banjarejo, rata – rata perbandingan tekanan sore hingga pagi hari adalah 2,31 kPa, sementara pada siang hari, tekanannya naik menjadi 2,91 kPa. Sedangkan di desa Pasigitan, tekanan pada sore hingga pagi hari lebih rendah, yaitu 1,44 kPa, sementara pada siang hari, tekanannya meningkat menjadi 2,44 kPa. Durasi waktu produksi di waktu siang yang lebih sempit ternyata menghasilkan tekanan yang lebih besar pada kedua desa, sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu produksi lebih optimal pada siang hari (Gambar 6).

3.4 Evaluasi Tekanan Digester Berdasarkan Perhitungan Kondisi Ideal

Besarnya tekanan digester ($P_{digester}$) dapat dicari melalui Persamaan 1. Parameter utama yang perlu diketahui adalah mol gas yang ada dalam kotoran sapi yang dimasukkan ke dalam digester dalam kondisi ideal (n).

$$P_{digester} = \frac{n.R.T}{V_{digester}} \quad (1)$$

Kondisi ideal (n) dapat dihitung melalui Persamaan 2. Kondisi ideal terjadi dimana nilai suhu dan tekanan pada kondisi standar (STP) dimana nilai tekanan (P_{STP}) 1 atm, suhu (T_{STP}) 0° Celcius atau 273,15° Kelvin dan konstanta gas pada kondisi ideal (R_{STP}) 0,082 L.atm/mol.K. Setelah parameter yang sudah diketahui maka nilai (n) dapat diperoleh dari membagi volume gas metan yang dimasukkan kedalam digester ($V_{Material}$) dengan 22,4 l/mol.

$$n = \frac{P_{STP} \cdot V_{Material}}{R_{STP} \cdot T_{STP}} \quad (2)$$

$$n = \frac{1 \text{ atm} \cdot V_{Material}}{0,082 \text{ L} \cdot \frac{\text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273,15^{\circ} \text{ kelvin}} = \frac{V_{Material}}{22,4 \text{ l/mol.}}$$

Untuk menghitung $V_{Material}$ dapat menggunakan Persamaan 3 dimana volume biogas yang dapat dihasilkan per kg kotoran sapi ($V_{Biogas/kg}$) sebesar 0,024 m³/kg, jumlah sapi dalam peternakan tersebut ada tiga ekor dan perkiraan per ekor sapi dapat menghasilkan kotoran 15 kg/hari. Sehingga diperoleh 360 liter material yang dihasilkan oleh 3 ekor sapi per harinya.

$$V_{Material} = V_{Biogas/kg} \cdot \text{jumlah ternak} \cdot \text{jumlah kotoran ternah per ekor} \quad (3)$$

$$V_{Material} = 0,024 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 3 \text{ (ekor)} \cdot 15 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ l/m}^3$$

$$V_{Material} = 360 \text{ liter}$$

Selanjutnya dengan mensubstitusi ketiga persamaan diatas maka $P_{digester}$ dapat diperoleh. Dalam proses perhitungan nilai konstanta gas (R) adalah 8,314 Pa.m³/mol.K, suhu (T) yang digunakan dianggap pada kondisi ideal proses produksi biogas yaitu 30° Celcius atau 303,15 ° Kelvin dan kapasitas dari digester adalah 10m³.

$$P = \frac{\frac{360 \text{ liter}}{22,4 \text{ mol}} \cdot 8,314 \text{ Pa} \frac{\text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 303^{\circ} \text{ kelvin}}{10 \text{ m}^3}$$

$$P = 12,14 \text{ kPa}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka digester biogas dengan kapasitas 10m³ yang dibangun pada peternakan dengan 3 ekor sapi pada kondisi ideal mampu menghasilkan biogas dengan tekanan 12,14 kPa/hari. Pada kondisi ideal, satu ekor sapi mampu menghasilkan 15 kg, dilakukan variasi perhitungan tekanan berdasarkan kotoran sapi 5kg, 10 kg dan 20kg. Perbandingan antara tekanan hasil perhitungan dengan kondisi aktual dan diperoleh data perbandingan dijelaskan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Periode Waktu Pemanfaatan Biogas Berdasarkan Penurunan Tekanan

Tanggal	Penurunan Tekanan (kPa)		Peningkatan Tekanan (kPa)		Peningkatan Tekanan Berdasarkan Variasi Kotoran (kPa)			
	Banjarejo	Pasigitan	Banjarejo	Pasigitan	5kg	10kg	15kg	20kg
1/12/2024	4,72	2,80	4,98	4,04	4,05	8,09	12,14	16,18
2/12/2024	3,82	6,10	3,87	3,85	4,05	8,09	12,14	16,18
3/12/2024	5,77	2,83	5,51	3,36	4,05	8,09	12,14	16,18
4/12/2024	4,86	3,19	11,05	3,30	4,05	8,09	12,14	16,18
5/12/2024	7,47	3,66	7,18	3,42	4,05	8,09	12,14	16,18
6/12/2024	8,11	5,21	7,62	5,06	4,05	8,09	12,14	16,18
Rata - Rata	5,79 ± 1,68	3,97 ± 1,37	6,70 ± 2,54	3,84 ± 0,67	4,05 ± 0,00	8,09 ± 0,00	12,14 ± 0,00	16,18 ± 0,00

Berdasarkan data yang diperoleh, penurunan rata-rata tekanan biogas harian di desa Banjarejo mencapai $5,79 \pm 1,68$ kPa, sementara di desa Pasigitan lebih rendah, yaitu $3,97 \pm 1,37$ kPa. Penurunan tekanan ini mencerminkan perilaku pemanfaatan biogas harian untuk kebutuhan masing-masing lokasi. Dalam hal peningkatan tekanan, yang merepresentasikan produksi biogas, desa Banjarejo menunjukkan rata-rata peningkatan sebesar $6,70 \pm 2,54$ kPa per hari, sedangkan Pasigitan menghasilkan rata-rata $3,84 \pm 0,67$ kPa per hari. Produksi biogas ini bergantung pada jumlah kotoran yang dimasukkan ke dalam sistem, kualitas kotoran, dan efisiensi sistem fermentasi.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tekanan yang dihasilkan adalah $4,05 \pm 0,00$ kPa dengan bahan baku 5 kg kotoran sapi,. Jika kotoran sapi dinaikkan menjadi 10 kg, tekanan meningkat menjadi $8,09 \pm 0,00$ kPa, sedangkan dengan kotoran sapi sebanyak 15 kg dan 20 kg, tekanan yang dihasilkan juga semakin meningkat, masing-masing sebesar $12,14 \pm 0,00$ kPa dan $16,18 \pm 0,00$ kPa. Produksi aktual di Bandarejo berada dalam kisaran hasil simulasi untuk 10–15 kg kotoran, sementara di Pasigitan mendekati hasil simulasi untuk 5–10 kg kotoran. Perbedaan antara hasil simulasi dan realisasi di lapangan menunjukkan adanya faktor lain yang memengaruhi, seperti efisiensi proses fermentasi, kandungan organik kotoran, dan kondisi lingkungan. Secara umum, desa Banjarejo memiliki konsumsi dan produksi gas yang lebih tinggi, mencerminkan kebutuhan energi yang lebih besar dan potensi optimalisasi yang lebih baik dibandingkan desa Pasigitan.

4 KESIMPULAN

Pada penelitian ini menggunakan Grafana untuk menampilkan data pembacaan tekanan digester secara visual sangat efektif. Dengan fasilitas untuk mengatur pemilihan periode waktu memudahkan pengguna untuk membaca dan mengolah data sesuai dengan periode waktu yang dibutuhkan. Hasil pengambilan sampling data selama 6 hari menunjukkan bahwa pemanfaatan biogas untuk memenuhi kebutuhan memasak di desa Banjarejo lebih besar dari desa Pasigitan. Rata – rata pemanfaatan masing – masing desa hingga $5,79 \pm 1,68$ kPa dan $3,97 \pm 1,37$ kPa per hari. Tidak ada korelasi antara durasi waktu pemanfaatan dan penurunan tekanan. Kebutuhan biogas telah tercukupi dengan rutinitas pengisian kotoran sapi kedalam digester sehingga mampu

menghasilkan tekanan rata – rata $6,70 \pm 2,54$ kPa dan $3,84 \pm 0,67$ kPa per hari. Namun demikian potensi biogas pada kedua desa dapat lebih ditingkatkan. Berdasarkan kondisi ideal tekanan yang dapat dicapai dengan tiga ekor sapi seharusnya mampu menghasilkan biogas dengan tekanan $12,14 \pm 0,00$ kPa. Diharapkan selain waktu pengisian, konsistensi volume pengisian juga lebih ditingkatkan sehingga tekanan yang diharapkan dapat tercapai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kepala Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Tengah atas segala bantuan dan arahnya hingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Nugraha, R., Herwindo Arita, Y., Rifqy Arya Marendra, M., Aria Nanda, A., Esa Apriaskar, dan, Dinas ESDM Wil Semarang -Demak, C., ESDM Provinsi Jawa Tengah, D., & Energi Baru Terbarukan, B. (n.d.). Desain Sistem Pemantauan Tekanan Digester Biogas Berbasis Internet of Things Studi Kasus: Digester Biogas 10 m³ di Desa Rejosari, Kabupaten Demak. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 2024–2068. <https://doi.org/10.31479/jtek.v12i1.355>
- Apriandi, N. (2021). ANALISA BIODIGESTER POLYETHYLENE SKALA RUMAH TANGGA DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH ORGANIK SEBAGAI SUMBER PENGHASIL BIOGAS. *ORBITH*, 17(1), 23–20.
- Gupta, A. (2020, October 2). Making Biogas SMART using Internet of Things (IOT). *2020 4th International Conference on Electronics, Materials Engineering and Nano-Technology, IEMENTech 2020*. <https://doi.org/10.1109/IEMENTech51367.2020.9270067>
- Harmiansyah, H., Pratama, R. D., Afisna, L. P., Syaokani, M., & Efendi, R. (2022). Karakteristik Sisa Slurry pada Produksi Biogas Berbahan Kotoran Sapi. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 6(2), 46–53. <https://doi.org/10.18196/jmpm.v6i2.16175>
- Isyaturriyadhah, Supriyono, Yelni, G., Putra, B., Rahmawati, D., Afrianto, E., Yudiawati, E., Hermawan, A., Ruslyanto, N., Risma Wardani, D., & Dwi Kris Bianto. (2022). Pengolahan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Biogas dan Pupuk Organik Dalam Upaya Pemberdayaan Kelompok Tani Ternak di Desa Tirta Mulya Kecamatan Pelepat Ilir Kabupaten Bungo. *Pengabdian KITA*, 5(2), 36–46. <https://tirtamulya.desa.id/first>.
- Junaidi, Y., Amar Hendrawati, L., Studi Penyuluh Peternakan dan kesejahteraan hewan, P., Peternakan, J., Pembangunan Pertanian Malang, P., & Agribisnis Peternakan, P. (2021). PERBANDINGAN KUALITAS BIOGAS DARI BERBAGAI JENIS FESES TERNAK YANG DIPRODUKSI DENGAN DIGESTER PORTABLE. / *Jurnal Agriekstensia*, 19(2), 141–149.
- 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. *Jurnal Tekno Mesin*, 4(2), 118–122.
- Manta, F., Artika, K. D., Suanggana, D., & Tondok, P. D. (2022). ANALISIS CAMPURAN SUBSTRAT KOTORAN SAPI DAN LIMBAH ORGANIK PASAR TERHADAP PRODUKTIVITAS BIOGAS. *ELEMEN: JURNAL TEKNIK MESIN*, 9(1), 31–39. <https://doi.org/10.34128/je.v9i1.192>
- Purnama Dewi, E., Sumarsono, J., & Gusti Made Kompyang, I. (n.d.). *Pengembangan akuisisi data pada sistem pemantauan biogas berbasis IoT Development of data acquisition biogas monitoring system based on IoT*. 11(1), 2024.

- Putra, I. K. P., & Seniari, N. M. (2024). Analisis Potensi Limbah Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *ELECTRICIAN*, 3(18), 348–353. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/elc.v18n3.2738>
- Rahmat, M., Amalia, R., Retananingtyas Udrotto, F., Fathuri, D., Li, N., Fauziah, aili, Rizal, A., Syifa, R., Rojabi, ur, Fatma, L., Salsabilah, A., Fatimah, D., & Kharisma Yolanda Putri, D. (2023). Solusi Pemanfaatan Limbah Tahu Menjadi Biogas Berbasis IoT di Pabrik Tahu Al-Jalil, Jember. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(3), 109–113. https://jurnalfkip.samawa-university.ac.id/karya_jpm/index
- Rajagukguk, K. (2020). Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Menggunakan Reaktor Biogas Portabel. *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 1(2), 63–71. <https://doi.org/10.18196/jqt.010210>
- Sinaga, P. V. H., Suanggana, D., & Haryono, H. D. (2022). ANALISIS PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF PADA KOMPOR BIOGAS MENGGUNAKAN CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN AMPAS TAHU. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 8(1), 61. <https://doi.org/10.31884/jtt.v8i1.348>
- Suanggana, D., Djafar, A., & Gunawan, G. (2020). Analisis Pemanfaatan Energi Biogas Dari Campuran Limbah Kotoran Sapi Dan Kulit Durian Sebagai Energi Alternatif. *119JURNAL TEKNOLOGI TERPADU*, 8(2), 119–125.
- Tanaya, J. F., Soehartanto, T., & Aisyah, P. Y. (2022). Perancangan Sistem Monitoring Flowrate, Kandungan GasMetana, dan Tekanan GunaMendapatkan Informasi Kondisi pada Bioreaktor Anaerob. *JURNAL TEKNIK ITS*, 11(2), F43–F48.