

Pengaruh Sistem Sirkulasi terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu

M. Zhafran Zharif Amrin¹, Rosalina Rosalina², Eko Supriadi³

¹⁻³ Prodi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang, Indonesia

Alamat : Jl. Bungo Pasang-Tabing, Padang, 25171, Indonesia

E-mail Korespondensi : zhafran-zharifamrin@gmail.com

Abstract : To improve the performance of a biogas Digester, several methods can be employed, one of which is by adding a circulation system [1]. Circulation in the Digester helps distribute the substrate and microorganisms evenly [2], thereby accelerating biological reactions and releasing gas, thus enhancing biogas productivity [3]. The objective of this study is to design and analyze the impact of a circulation system on a biogas Digester during the fermentation of liquid tofu waste and cow manure. The research was conducted in two stages: first, designing the Digester, and second, operating the Digester in two steps. The first step involved batch fermentation for 14 days to condition the degrading microorganisms. The second step involved continuous fermentation for 16 days, operated with a circulation system at varying rates of 0, 30, 60, and 90. The variables studied included digester pressure, CH₄ concentration, and COD reduction. The results showed that circulation increased biogas productivity, with the best variation achieved using 90 circulation, resulting in a pressure of 0.19 kg/cm², 58% CH₄, and 33.33% COD reduction.

Keywords : Biogas, Digester, circulation, system.

Abstrak : Untuk meningkatkan kinerja suatu reaktor biogas dapat dilakukan beberapa cara, salah satunya adalah dengan menambahkan sistem sirkulasi [1]. Sirkulasi pada Digester membantu mendistribusikan substrat dan mikroorganisme secara merata [2], sehingga mempercepat reaksi biologis dan melepaskan gas, sehingga meningkatkan produktivitas biogas [3]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan menganalisis dampak sistem sirkulasi pada reaktor biogas selama fermentasi limbah cair tahu dan kotoran sapi. Penelitian dilakukan dalam dua tahap: pertama, perancangan Digester, dan kedua, pengoperasian Digester dalam dua tahap. Langkah pertama melibatkan fermentasi batch selama 14 hari untuk mengkondisikan mikroorganisme pendegradasi. Tahap kedua adalah fermentasi kontinu selama 16 hari, dioperasikan dengan sistem sirkulasi dengan laju variasi 0, 30, 60, dan 90. Variabel yang diteliti meliputi tekanan reaktor, konsentrasi CH₄, dan penurunan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sirkulasi meningkatkan produktivitas biogas, dengan variasi terbaik dicapai dengan 90 sirkulasi, menghasilkan tekanan sebesar 0,19 kg/cm², penurunan CH₄ 58%, dan COD 33,33%.

Kata Kunci : Biogas, reaktor, system, sirkulasi.

1. PENDAHULUAN

Proses produksi biogas membutuhkan *Digester* sebagai wadah terjadinya fermentasi biogas [4]. Performa *Digester* dapat mempengaruhi proses pembentukan biogas [5]. Meningkatkan performa *Digester* dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan menambahkan sistem sirkulasi [1]. Sirkulasi pada *Digester* dapat membantu pendistribusian antara substrat dan mikroba sehingga tercampur merata [2]. Proses pencampuran yang merata mempercepat proses terjadinya reaksi biologis dan merilis gas sehingga meningkatkan produktivitas biogas [3].

Sirkulasi pada tangki bertujuan untuk menciptakan pergerakan fluida yang merata dan efisien [6]. Hal ini mengakibatkan perpindahan fluida dari satu titik ke titik lain dengan cara menciptakan aliran yang kontinu [7]. Sistem sirkulasi pada *Digester* terbagi atas dua jenis, yaitu *natural circulation* dan *force circulation*. *Natural Circulation* adalah sirkulasi yang terjadi secara alami karena beberapa faktor seperti perbedaan tekanan, konsentrasi, dan densitas pada cairan fermentasi didalam *Digester*.

Natural circulation dapat mengurangi konsumsi energi karena tidak memerlukan pompa untuk memaksakan sirkulasi cairan sehingga membuat proses fermentasi relatif murah dalam pengoperasiannya [1]. Namun, *natural circulation* memiliki kapasitas yang terbatas dan tidak optimal pada cairan dengan viskositas tinggi sehingga kurang ideal untuk fermentasi biogas [8]. Untuk menutupi kekurangan ini, terdapat metode sirkulasi lain yang disebut *force circulation* [9].

Forced circulation adalah sirkulasi cairan yang menggunakan pompa dalam menggerakkan fluida. Pompa pada *Forced circulation* memiliki prinsip kerja sebagai penggerak fluida melalui rotor atau impeller yang berputar, yang menghasilkan tekanan dan aliran sehingga dapat mengoptimalkan cairan fermentasi agar bisa tersebar merata [1]. Metode ini sangat cocok digunakan pada cairan dengan viskositas tinggi karena dapat memaksakan sirkulasi cairan dengan kecepatan yang tinggi [8]. Hal ini sangat penting pada produksi biogas, karena memiliki cairan fermentasi dengan viskositas yang tinggi. Oleh karena itu, *Forced circulation* lebih cocok digunakan pada digester biogas dibandingkan dengan *natural circulation*.

Proses produksi biogas juga tidak luput dari penggunaan bahan organik. Bahan organik seperti kotoran sapi [10] dan limbah cair tahu [11] berpotensi untuk dijadikan biogas. Kotoran sapi adalah limbah ternak yang dihasilkan dari sapi [10] yang terdiri dari karbohidrat 40-45%, protein 14-15%, dan lemak 2-3% [12]. Sedangkan Limbah cair tahu merupakan produk samping dari proses pembuatan tahu dengan komposisi protein 40-60%, karbohidrat 25-50%, dan lemak 10% [11]. Selain ketersediaannya yang berlimpah, kotoran sapi dan limbah tahu memiliki kadar organik yang tinggi dengan nilai COD berturut 10.000 ppm dan 18.000 ppm [13].

Penelitian mengenai sistem sirkulasi pada *Digester* biogas belum pernah dilakukan sebelumnya, penggunaan agitator lebih disukai sebagai fungsi pengadukan pada fermentasi biogas. Misalnya, penelitian oleh [14] menunjukkan bahwa pengadukan itu penting dilakukan pada *Digester* biogas untuk mengurangi pengendapan dan meningkatkan produktivitas biogas. Hasil penelitian [15] juga menjelaskan bahwa pengadukan meningkatkan tekanan biogas dan

mempercepat proses pembentukan biogas. Selain itu, penelitian oleh [16] yang membandingkan produksi biogas pada reaktor dengan dan tanpa pengaduk menunjukkan bahwa reaktor tanpa pengaduk mulai mengalami kenaikan tekanan biogas pada hari ke-7, tetapi proses pembentukan biogas lebih lama dibandingkan dengan reaktor yang menggunakan pengaduk. [16] menyatakan bahwa pengadukan dianggap penting untuk menghomogenkan substrat dan mencegah endapan pada dasar wadah fermentasi, sehingga meningkatkan kontak antara mikroba dengan substrat.

Dari beberapa hasil penelitian sebelumnya, bisa disimpulkan bahwa pengadukan pada *Digester* biogas penting untuk produktivitas biogas. Namun belum ada penelitian yang menggunakan sistem sirkulasi pada *Digester* biogas sebagai metode pengadukan. Maka dari itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh sistem sirkulasi pada produksi biogas dengan parameter tekanan *Digester*, konsentrasi CH₄ dan penurunan nilai COD.

Biogas

Biogas terbentuk ketika mikroorganisme, khususnya bakteri, menurunkan kadar zat organik pada kondisi *anaerob* (tanpa oksigen). Biogas terdiri dari 55% sampai 65% metana (CH₄), 25% sampai 45% karbon dioksida (CO₂) dan sejumlah kecil gas lainnya. Proses produksi biogas memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik. Proses penguraian menghasilkan biogas dan residu kaya nutrisi yang cocok untuk digunakan sebagai pupuk. Limbah organik berfungsi sebagai substrat atau media tumbuh organisme.

Penguraian *anaerob* berlangsung dalam beberapa tahap. Beberapa kelompok mikroorganisme yang berbeda menguraikan zat organik dengan menggunakan ketersediaan energi yang terbatas. Proses penguraian dimulai dengan hidrolisis yang memanfaatkan enzim dari bakteri, yang memecah polimer rantai panjang tidak terlarut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi polimer rantai pendek. Selanjutnya, bakteri asidogenik mengkonversi asam lemak, asam amino, dan gula menjadi CO₂, H₂, NH₃, dan asam organik. Bakteri asetonik kemudian mengubah asam organik ini menjadi asam asetat. Akhirnya, bakteri metanogen mengubah produk ini menjadi gas, yang sebagian besar adalah metana. Bagian berikut ini menjelaskan setiap langkah dari pencernaan anaerobik secara lebih rinci [3].

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi dalam proses produksi biogas, berikut uraiannya:

1. Substrat

Substrat memiliki pengaruh signifikan terhadap proses fermentasi biogas. Berikut adalah uraian ringkas tentang pengaruh substrat [17]:

a. Komposisi nutrisi

Substrat menyediakan nutrisi penting bagi mikroorganisme yang melakukan fermentasi. Kandungan karbon, nitrogen, fosfor, dan elemen mikro lainnya mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas bakteri.

b. Rasio C/N

Rasio karbon terhadap nitrogen yang optimal dalam substrat penting untuk efisiensi fermentasi. Rasio C/N yang ideal biasanya berkisar 20-30:1.

c. Kandungan bahan organik

Jumlah bahan organik yang tersedia dalam substrat mempengaruhi potensi produksi biogas. Semakin tinggi kandungan bahan organik yang mudah terurai, semakin besar potensi produksi biogas.

d. pH dan alkalinitas

Karakteristik kimia substrat dapat mempengaruhi pH dan alkalinitas sistem fermentasi, yang pada gilirannya mempengaruhi aktivitas mikroba.

e. Ukuran partikel

Ukuran partikel substrat mempengaruhi luas permukaan yang tersedia untuk degradasi mikroba. Partikel yang lebih kecil umumnya lebih mudah diurai.

2. Suhu

Pengaruh suhu terhadap fermentasi biogas sangat signifikan karena suhu mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dan kecepatan reaksi dalam pembentukan biogas [18]. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut:

a. Pengaruh Suhu pada Pertumbuhan Mikroorganisme

Suhu mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme yang terlibat dalam proses fermentasi biogas. Mikroorganisme seperti bakteri anaerobik yang berada di dalam usus besar hewan ruminansia seperti sapi dapat membantu proses fermentasi. Suhu yang tepat dapat mempengaruhi kecepatan pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme, sehingga mempengaruhi hasil biogas yang dihasilkan.

b. Pengaruh Suhu pada Kecepatan Reaksi

Suhu juga mempengaruhi kecepatan reaksi dalam pembentukan biogas. Reaksi anaerobik yang terjadi dalam proses fermentasi biogas dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan kecepatan reaksi, sehingga mempengaruhi hasil biogas yang dihasilkan [19]

c. Penggunaan Suhu dalam Proses Fermentasi

Suhu yang digunakan dalam proses fermentasi biogas dapat dibedakan menjadi beberapa kategori, seperti suhu mesofilik (20-40°C) dan suhu termofilik (50-60°C). Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan kecepatan reaksi, tetapi juga dapat mempengaruhi stabilitas mikroorganisme. Suhu yang lebih rendah dapat mempengaruhi kecepatan reaksi, tetapi juga dapat mempengaruhi stabilitas mikroorganisme [20]

3. PH

Pengaruh pH terhadap fermentasi biogas sangat signifikan dan mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan. Berikut adalah penjelasan tentang pengaruh pH terhadap fermentasi biogas:

a. Optimal pH

PH yang optimal untuk fermentasi biogas biasanya berada dalam rentang pH 6,4-7,6. pH ini memungkinkan aktivitas bakteri metanogenik dan asidogenik yang optimal, sehingga produksi biogas dapat berlangsung dengan efisiensi yang tinggi. Contoh penelitian yang menunjukkan pH 7,0 sebagai pH optimal untuk produksi biogas dari limbah kecambah kacang hijau [21].

b. Pengaruh pH pada Aktivitas Bakteri

PH yang terlalu rendah atau tinggi dapat menghambat aktivitas bakteri yang diperlukan untuk proses fermentasi. pH yang terlalu rendah dapat menghambat aktivitas bakteri asidogenik, sedangkan pH yang terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas bakteri metanogenik. Contoh penelitian yang menunjukkan bahwa pH 8,0 menghasilkan biogas lebih banyak daripada pH 6,0 dan 7,0, tetapi pH ini juga mengalami penurunan pH selama fermentasi [22].

c. Pengaruh pH pada Kualitas Biogas

PH yang optimal dapat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Biogas yang dihasilkan pada pH optimal biasanya memiliki warna nyala biru kemerahan, yang menunjukkan kualitas yang lebih baik. Contoh penelitian yang menunjukkan bahwa biogas

yang dihasilkan pada pH 7,0 memiliki warna nyala biru kemerahan yang lebih baik daripada pH lainnya [21].

d. Pengaruh pH pada Proses Fermentasi

PH yang optimal juga mempengaruhi proses fermentasi secara keseluruhan. pH yang optimal dapat memungkinkan proses fermentasi berlangsung dengan efisiensi yang tinggi, sehingga biogas dapat dihasilkan dalam jumlah yang lebih besar [21].

4. Waktu Retensi

Waktu retensi (WRT) atau *hydraulic retention time* (HRT) memiliki pengaruh signifikan terhadap fermentasi biogas. WRT adalah waktu yang diperlukan oleh substrat untuk berada di dalam digester dan mengalami proses dekomposisi anaerobik. Semakin lama WRT, semakin tinggi kandungan CH₄ dalam biogas. Hal ini karena mikroorganisme anaerobik memerlukan waktu yang lebih lama untuk menghasilkan metana dari substrat dan Semakin lama WRT, semakin efisien fermentasi biogas.

Mikroorganisme anaerobik memiliki waktu yang lebih lama untuk menghasilkan biogas dari substrat. Namun pada waktu tertentu mikroorganisme akan mengalami penurunan produktivitas sehingga tidak maksimal dalam menghasilkan biogas bahkan mikroorganisme akan mati [23]. Salah satu sumber bahan organik yang berpotensi dijadikan biogas adalah kotoran sapi.

Kotoran sapi adalah hasil dari proses pencernaan yang dilakukan oleh sapi. otoran sapi mengandung banyak mikroorganisme, terutama bakteri metanogenik, yang berperan penting dalam proses fermentasi anaerobik untuk menghasilkan biogas. Mikroorganisme ini dapat menguraikan bahan organik dalam kotoran sapi menjadi gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) sebagai hasil utama [24]. Dibutuhkan substrat yang kaya akan kadar organik untuk memenuhi kebutuhan nutrisi mikroorganisme, salah satu yang berpotensi adalah limbah cair tahu. Limbah cair tahu merupakan sisa dari proses produksi tahu yang dapat berdampak negatif pada lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Limbah cair tahu mengandung bahan organik yang cukup tinggi, seperti protein (40-60% v/v), lemak (10-12% v/v), dan karbohidrat (20-50 % v/v). Kandungan ini membuat limbah cair tahu memiliki potensi besar untuk diolah menjadi biogas.

Sistem Sirkulasi

Sirkulasi dalam pengadukan pada tangki merupakan proses penting yang bertujuan untuk menciptakan pergerakan fluida yang merata dan efisien. Sistem sirkulasi berfungsi untuk memindahkan fluida dari satu titik ke titik lain dengan cara menciptakan aliran yang kontinu. Sistem sirkulasi menggunakan pompa sebagai alat pendistribusian fluida. Prinsip kerja pompa ini melibatkan penggerakan fluida melalui rotor atau impeller yang berputar, yang menghasilkan tekanan dan aliran. Pada tangki fermentasi biogas, sistem sirkulasi berfungsi untuk mengalirkan cairan fermentasi agar bisa tersebar merata [7]. Sirkulasi memiliki peran penting dalam pengadukan fermentasi biogas. Pengadukan dalam proses pembuatan biogas dapat meningkatkan produksi biogas melalui beberapa cara.

a. Menghambat Pengendapan

Pengadukan dapat mencegah pengendapan substrat atau bahan pembuatan biogas di dasar digester, sehingga mikroorganisme dapat terus menguraikan bahan organik dan menghasilkan biogas dengan lebih efektif. Hal ini terlihat dalam penelitian yang menggunakan digester batch dengan variasi temperatur dan pengadukan, di mana pengadukan membantu mencegah pengendapan substrat dan meningkatkan produksi biogas [25].

b. Meningkatkan Kontak Mikroorganisme dengan Substrat

Pengadukan memungkinkan kontak yang lebih baik antara mikroorganisme dengan substrat, sehingga mikroorganisme dapat lebih efektif menguraikan bahan organik dan menghasilkan biogas. Penelitian yang menggunakan ekstrak rumen sapi sebagai starter menunjukkan bahwa pengadukan meningkatkan produksi biogas dengan cara meningkatkan kontak mikroorganisme dengan substrat [26].

c. Meningkatkan Efisiensi Proses Fermentasi

Pengadukan dapat mempercepat proses fermentasi biogas, sehingga biogas dapat dihasilkan lebih cepat dan dalam jumlah yang lebih besar. Penelitian yang menggunakan pengadukan untuk menghasilkan biogas dari kotoran sapi dan limbah rumah potong hewan menunjukkan bahwa pengadukan dapat meningkatkan produksi biogas dengan cara mempercepat proses fermentasi [26].

d. Mengurangi Waktu Fermentasi

Pengadukan dapat mengurangi waktu fermentasi biogas, sehingga biogas dapat dihasilkan lebih cepat dan dalam jumlah yang lebih besar. Penelitian yang menggunakan pengadukan untuk menghasilkan biogas dari kotoran sapi dan limbah rumah potong hewan

menunjukkan bahwa pengadukan dapat mengurangi waktu fermentasi biogas dengan cara mempercepat proses fermentasi [3]. Dalam sintesis, pengadukan sangat penting dalam proses pembuatan biogas karena dapat mencegah pengendapan substrat, meningkatkan kontak mikroorganisme dengan substrat, meningkatkan akses oksigen, meningkatkan efisiensi proses fermentasi, dan mengurangi waktu fermentasi. Oleh karena itu, pengadukan harus dilakukan secara teratur dan efektif dalam proses pembuatan biogas untuk meningkatkan produksi biogas yang optimal.

2. METODOLOGI

Bahan yang digunakan yaitu kotoran sapi, limbah cair tahu, EM4, dan tetes tebu. Peralatan yang digunakan berupa drum HDPE 150 liter dan 55 liter, *pressure gauge* 1 bar, termometer bimetal, pH meter, gas *detector*, pompa air. Pengukuran yang dilakukan berupa: tekanan *Digester*, pH cairan fermentasi, konsentrasi CH₄, dan nilai COD. Penelitian dilakukan di Politeknik ATI Padang dari 1 Juni 2024 – 20 Agustus 2024. Nilai COD dilakukan di Laboratorium Air Universitas Andalas.

Persiapan Bahan Baku (pembuatan starter)

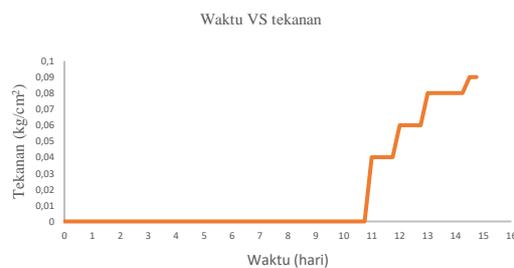
Disiapkan larutan *starter* dengan cara: campurkan EM4, molase/gula, dan limbah cair tahu dengan perbandingan 1:1:60. Fermentasikan selama 3 hari. Disiapkan substrat: campurkan kotoran sapi 60 liter dengan larutan *starter* (sudah difermentasi 3 hari) hingga merata. Disaring substrat dengan dengan *wire mess*

Proses Fermentasi

Dimasukkan seluruh substrat kedalam *Digester* biogas. Tutup semua celah udara pada *Digester*. Lakukan pengamatan terhadap tekanan, pH, suhu pada *Digester* selama 14 hari. Setelah 14 hari, masukkan substrat sebanyak 3 liter/hari dengan cara mencampurkan 1,5 liter kotoran sapi dan 1,5 liter limbah cair tahu. Lakukan secara kontinu hingga hari ke 30, Pastikan pompa sirkulasi dalam keadaan mati saat substrat dimasukkan. Lakukan variasi sirkulasi dimulai dari 0 selama 4 hari begitu juga dengan variasi 30, 60 dan 90 sirkulasi. Lakukan pengamatan terhadap tekanan, pH, suhu, Nilai COD dan %CH₄ pada *digester*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

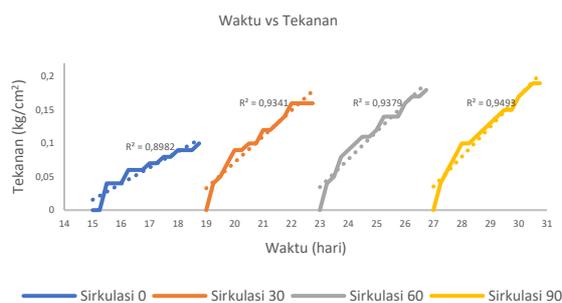
Pada penelitian ini, dilakukan dalam 2 tahap yaitu fermentasi *batch* dan kontinu. Fermentasi *batch* dilakukan selama 14 hari agar mikroorganisme pengurai dapat beradaptasi dan menghasilkan biogas. Pada 10 hari pertama belum ada tekanan yang terukur pada digester, yang berarti belum ada tanda pembentukan gas. ini disebabkan proses fermentasi masih dalam tahap hidrolisis dan asidogenesis, dimana bahan baku terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana tetapi masih berada dalam fasa cair. Tekanan *Digester* mulai terbaca pada hari ke-11 dengan nilai 0,04 kg/cm² hingga pada hari ke-14 mencapai 0,09 kg/cm². Kondisi ini menunjukkan fermentasi telah memasuki tahap asetogenesis dan metanogenesis. Memasuki tahap asetogenesis, fermentasi akan menghasilkan gas CO₂ dan H₂ sedangkan tahap metanogenesis menghasilkan gas CH₄, CO₂, dan H₂O. Gas yang dihasilkan pada tahapan ini yang menyebabkan peningkatan tekanan pada *Digester*.



Gambar 1

Pengaruh Sirkulasi Terhadap Tekanan Biogas

Setelah melalui fermentasi *batch*, selanjutnya dilakukan fermentasi kontinu dengan penambahan umpan sebanyak 3 liter/hari (1,5 liter kotoran sapi + 1,5 liter limbah cair tahu). Selain itu, dilakukan juga sirkulasi pada *Digester* dengan cara mengalirkan cairan fermentasi dari bagian bawah digester menuju bagian atas *Digester* menggunakan bantuan pompa air. Grafik dibawah ini adalah hasil pengamatan tekanan pada *Digester* selama fermentasi secara kontinu:



Gambar 2

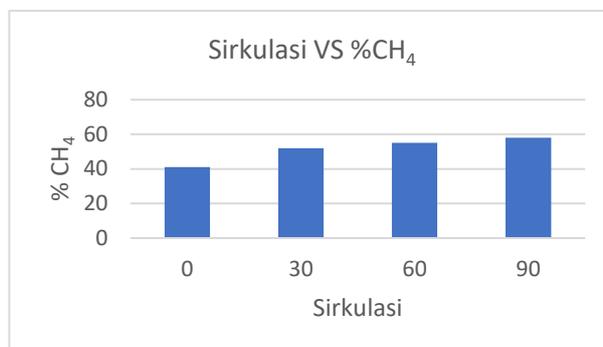
Fermentasi kontinu dimulai dengan memvariasikan jumlah sirkulasi pada *Digester*. Satu kali sirkulasi berarti seluruh cairan fermentasi (total 120 liter) sudah dialirkan didalam *Digester*. Tujuannya adalah untuk mengaduk cairan fermentasi didalam *Digester* dan membantu mengangkat gas yang terperangkap dibagian bawah *Digester*. Variasi dimulai dari 0 sirkulasi; 30 sirkulasi; 60 sirkulasi dan 90 sirkulasi. Dengan melihat Gambar 4.2 bahwa setiap peningkatan jumlah sirkulasi maka tekanan yang dihasilkan semakin meningkat. Selain itu, koefisien determinasi (R^2) yang mendeskripsikan peningkatan tekanan yang stabil seiring bertambahnya jumlah sirkulasi.

Fenomena ini terjadi karena sirkulasi berfungsi sebagai pengaduk yang menciptakan gerakan yang memungkinkan cairan fermentasi didalam *Digester* untuk tercampur secara merata dan menyebar secara acak, yang merupakan bagian penting dalam proses pencampuran. Proses pencampuran yang baik dapat meningkatkan potensi kelangsungan hidup mikroorganisme pengurai selama fermentasi. Hal ini terjadi karena nutrisi tersebar merata didalam *Digester* sehingga mikroorganisme pengurai mendapatkan pasokan makanan yang cukup secara keseluruhan.

Sirkulasi juga membantu mengurangi perbedaan konsentrasi cairan fermentasi di dalam *Digester*, sehingga mencapai keadaan yang seragam. Hal ini menyebabkan reaksi biologis yang terjadi di dalam *digester* menjadi lebih optimal, sehingga pembentukan gas menjadi lebih cepat. Fenomena ini ditandai dengan peningkatan tekanan pada *Digester* seiring ditingkatkannya jumlah sirkulasi yakni: 0 sirkulasi = 0,1 kg/cm²; 30 sirkulasi = 0,16 kg/cm²; 60 sirkulasi = 0,18 kg/cm²; 90 sirkulasi = 0,19 kg/cm².

Pengaruh Sirkulasi Terhadap Konsentrasi CH₄

Dilakukan pengamatan %CH₄ selama fermentasi kontinu. Pengamatan dilakukan setiap akhir variasi sirkulasi, tepatnya pada hari ke-4 variasi sirkulasi dioperasikan. Pengukuran %CH₄ dibantu menggunakan gas detector. Berikut adalah grafik yang menunjukkan korelasi antara sirkulasi dan %CH₄ yang dihasilkan oleh Digester biogas:



Gambar 3. Grafik Sirkulasi VS % CH₄

Dari grafik 3 dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya jumlah sirkulasi yang operasikan pada digester akan meningkatkan %CH₄ yang dihasilkan. Sirkulasi membantu dalam distribusi mikroorganisme secara merata, sehingga mereka dapat berinteraksi dengan substrat yang ada dalam cairan dengan lebih efektif [27]. Proses fermentasi biogas melibatkan beberapa tahap, yaitu hidrolisis, asidifikasi, dan metanogenesis. Sirkulasi juga mempercepat proses hidrolisis dan asidifikasi, karena mikroorganisme dapat berinteraksi dengan substrat secara efisien [24].

Beberapa faktor sirkulasi dapat meningkatkan kandungan CH₄ karena: meningkatkan kontak antara mikroorganisme dan substrat, sehingga proses fermentasi berjalan lebih cepat dan efisien; membantu dalam distribusi gas yang dihasilkan, sehingga meminimalisir gas yang terperangkap dalam cairan; mempertahankan kondisi anaerob yang optimal baik dari segi temperatur maupun pH yang baik untuk tahap metanogenesis sehingga optimal dalam memproduksi metana.

Pengaruh Sirkulasi Terhadap Nilai COD

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan nilai COD dengan mengambil sampel cairan fermentasi pada *Digester*. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat bagaimana pengaruh sirkulasi terhadap aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik yang ditunjukkan oleh nilai COD. Penurunan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada fermentasi biogas merupakan indikator kinerja utama dari proses degradasi limbah cair organik [28].

proses fermentasi biogas dilakukan dalam kondisi anaerobik, dimana mikroorganisme seperti bakteri metanogenik menguraikan senyawa-senyawa organik dalam limbah cair menjadi biogas. Proses ini berlangsung dalam beberapa tahap, termasuk kondisi asam awal yang kemudian berubah menjadi netral. Penurunan nilai COD ini terjadi karena mikroorganisme menguraikan senyawa-senyawa organik dalam limbah cair [28]. Berikut adalah tabel hasil pengamatan nilai COD pada *Digester*:

Tabel 1

No	Pengukuran COD	Nilai COD (ppm)	COD losses (ppm)	COD reduction (%)
1	Substrat	16.720	0	0
2	<i>Startup</i>	14.080	2.640	15,79
3	0 sirkulasi	13.200	880	6,25
4	30 sirkulasi	11.792	1.408	10,67
5	60 sirkulasi	10.560	1.232	10,45
6	90 sirkulasi	7040	3.520	33,33

Dapat dilihat pada tabel nilai COD cenderung menurun yang menandakan mikroorganisme menguraikan bahan organik yang terdapat dalam *Digester*. Pada mulanya nilai COD bernilai 16.720 ppm lalu setelah di fermentasi selama 14 (kondisi *startup*) nilai COD berkurang 2.640 ppm sehingga menjadi 14.080 ppm dengan COD reduction 15,79 %. Selanjutnya dilakukan variasi 0 sirkulasi selama 4 hari dan hanya mengurangi nilai COD 880 ppm atau 6,25 % COD reduction. Variasi 30 sirkulasi berhasil menurunkan 1.408 nilai COD atau 10,67 % COD reduction dengan waktu yang sama yakni 4 hari percobaan. Perbedaan yang signifikan terlihat saat variasi 90 sirkulasi, yang menurunkan 3.520 nilai COD atau 33,33 % COD reduction.

Sirkulasi menciptakan pola aliran yang berfungsi sebagai pengadukan yang memungkinkan pengurangan ukuran partikel dan menciptakan kondisi yang lebih homogen dalam campuran cairan fermentasi [7]. Hal ini meningkatkan kontak antara substrat dengan populasi bakteri, sehingga memfasilitasi proses fermentasi yang lebih efektif. Sirkulasi juga menghindari pembentukan "*dead zone*" di dalam reaktor, yaitu area yang tidak terjangkau oleh bakteri karena sedimentasi partikel padat. Dengan demikian, semua bagian reaktor dapat digunakan secara efektif untuk proses fermentasi [29]. Pengadukan memastikan bahwa bakteri dan substrat tetap dalam bentuk suspensi, sehingga meningkatkan kontak antara keduanya. Kontak yang lebih baik ini memungkinkan bakteri untuk menguraikan bahan organik dengan lebih efisien, sehingga lebih baik dalam mengurangi nilai COD [30].

4. KESIMPULAN

Digester dengan sistem sirkulasi menggunakan pompa, telah berhasil dibuat dan dioperasikan hingga menghasilkan biogas. Sirkulasi berpengaruh signifikan terhadap kinerja produksi biogas, dimana semakin besar jumlah sirkulasi, semakin tinggi tekanan biogas yang dihasilkan. Pada variasi 90 sirkulasi, tekanan biogas mencapai nilai tertinggi sebesar 0,19 kg/cm². Selain itu, sirkulasi juga mempengaruhi konsentrasi metana (CH₄) dalam biogas, dengan peningkatan jumlah sirkulasi yang menyebabkan peningkatan konsentrasi CH₄. Pada variasi 90 sirkulasi, konsentrasi CH₄ mencapai nilai tertinggi sebesar 58%. Terakhir, sirkulasi juga berdampak positif pada penurunan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) cairan fermentasi, dimana semakin besar jumlah sirkulasi, maka penurunan nilai COD semakin tinggi. Pada variasi 90 sirkulasi, penurunan nilai COD mencapai nilai tertinggi sebesar 3.520 ppm atau 33,33% COD *reduction*. Dengan demikian, penggunaan sistem sirkulasi dalam *Digester* dapat meningkatkan efisiensi produksi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adelia, & Santosa, S. (2023). Pengaruh pengadukan terhadap proses pembuatan biogas (review). *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 468-475. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.160>
- Amalia, R. N., et al. (2022). Potensi limbah cair tahu sebagai pupuk organik cair di RT. 31 Kelurahan Lempake Kota Samarinda. *Abdiku Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*, 1(1), 36-41. <https://doi.org/10.32522/abdiku.v1i1.38>
- Anggakara, P., Sudarno, & Wardhana, I. W. (2013). Pengaruh pengenceran dan pengadukan terhadap produksi biogas pada limbah industri kecil pengasapan ikan dengan menggunakan ekstrak rumen sapi sebagai starter. *Teknologi Lingkungan*, 1(1), 1-8.
- Anugrah, E. T., Nurhasanah, & Nuranisa, M. (2017). Pengaruh pH dalam produksi biogas dari limbah kecambah kacang hijau. *Prisma Fisika*, 5(2), 72-76.
- Apriandi, N., Suwarti, S., Widyaningsih, W. P., & Raharjanti, R. (2023). Produksi biogas dari kotoran sapi menggunakan digester anaerobik tipe batch skala kecil: Pengaruh hydraulic retention time (HRT) terhadap kualitas biogas. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 12(1), 166-176. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i1.57310>
- Banerjee, S., Prasad, N., & Selvaraju, S. (2021). Reactor design for biogas production—A short review. *Journal of Energy and Power Technology*, 4(1), 1-1. <https://doi.org/10.21926/jept.2201004>

- Budiyono, B. (2014). Pengaruh pH dan rasio COD:N terhadap produksi biogas dengan bahan baku limbah industri alkohol (vinasse). *Eksergi*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.31315/e.v11i1.324>
- Irawan, D., & Khudori, A. (2015). Pengaruh suhu anaerobik terhadap hasil biogas menggunakan bahan baku limbah kolam ikan gurame. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 4(1), 17-22. <https://doi.org/10.24127/trb.v4i1.3>
- Jia, S., Han, H., Zhuang, H., Hou, B., & Li, K. (2015). Impact of high external circulation ratio on the performance of anaerobic reactor treating coal gasification wastewater under thermophilic condition. *Bioresource Technology*, 192, 507-513. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.106>
- Kartikasari, O. (2020). Teknologi biogas sebagai penanganan limbah gas pada industri peternakan. *Prosiding Nasional dan Call for Papers BEM Geografi UMS ke-1*, 55-68. Retrieved from <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/handle/11617/12395>
- Kurniati, Y., Rahmat, A., Malianto, B. I., Nandayani, D., & Pratiwi, W. S. W. (2021). Review analisa kondisi optimum dalam proses pembuatan biogas. *Rekayasa*, 14(2), 272-281. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i2.11305>
- Kurniawan, C. T., & Sari, R. K. (2022). Rancang bangun pengaduk manual pada digester biogas kotoran sapi untuk meningkatkan pembentukan gas metana. *Jurnal Teknologi Industri Terintegrasi*, 5(1), 68-79. <https://doi.org/10.31004/jutin.v5i1.9791>
- Muhammad, Z. (2020). Penentuan head dan daya pompa sirkulasi air (circulating water pump/CWP) dalam menunjang efektivitas kerja kondensor. Universitas Bandar Lampung, 1.
- Munazzirah, M. (2016). Rancang bangun reaktor biogas dengan pengaduk. Retrieved from <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/id/eprint/9648>
- Nurhilal, M., Purwiyanto, P., & Aji, G. M. (2020). Pengaruh komposisi dan waktu fermentasi campuran limbah industri tahu dan kotoran sapi terhadap kandungan gas methane pada pembangkit biogas. *Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 47. <https://doi.org/10.31884/jtt.v6i1.239>
- Prończuk, M., Bizon, K., & Grzywacz, R. (2017). Experimental investigations of hydrodynamic characteristics of a hybrid fluidized bed airlift reactor with external liquid circulation. *Chemical Engineering Research and Design*, 126, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.08.028>
- Putra, H. P. (2016). Pengaruh rasio pencampuran limbah cair tahu dan kotoran sapi terhadap proses anaerob hadi. *JOM F Tek.*, 3(1), 3-6.
- Putri, D. (2015). Pengaruh suhu dan konsentrasi rumen sapi terhadap produksi biogas dari vinasse. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(1), 14-20. <https://doi.org/10.15294/jbat.v4i1.3769>
- Safitri, B. D., et al. (2023). Pemanfaatan limbah feses sapi sebagai pakan dalam budidaya cacing tanah (*Lumbricus Rubellus*) di Desa Giri Tembesi Lombok Barat. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidik IPA*, 6(2), 4-7. <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v6i2.4457>

- Sawyerr, N., Trois, C., Workneh, T. S., Oyeboode, O., & Babatunde, O. M. (2020). Design of a household biogas digester using co-digested cassava, vegetable, and fruit waste. *Energy Reports*, 6, 1476-1482. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.067>
- Sensih, D. G., & Prayitno, P. (2023). Limbah tapioka untuk produksi biogas: Alternatif pengolahan dan pengaruh konsentrasi substrat. *Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 457-467. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.158>
- Soeprijanto, S. (2017). Pembuatan biogas dari kotoran sapi menggunakan biodigester di Desa Jumput Kabupaten Bojonegoro. *Sewagati*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v1i1.2984>
- Syaichurrozi, I. (2017). Pengaruh pH umpan terhadap produksi biogas dari kiambang. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(4), 180. <https://doi.org/10.36055/jip.v6i4.2543>
- Triakuntini, E., Sudarno, S., et al. (2013). Pengaruh pengenceran dan pengadukan pada produksi biogas dari limbah rumah makan dengan menggunakan starter ekstrak rumen sapi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/tlingkungan/article/view/4233>
- Utomo, D., H. M., & Sudarno, S. (2014). Pengaruh pengadukan dan variasi feeding terhadap pembentukan biogas dari sampah dapur rumah makan pada reaktor batch dengan aktivator feses sapi (*Bos Taurus*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2), 1-8.
- Wang, J., Xu, W., Yan, J., & Yu, J. (2014). Study on the flow characteristics and the wastewater treatment performance in modified internal circulation reactor. *Chemosphere*, 117(1), 631-637. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.09.088>
- Wardana, L. A., et al. (2021). Pemanfaatan limbah organik (kotoran sapi) menjadi biogas dan pupuk kompos. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidik IPA*, 4(1). <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v4i1.615>
- Wicaksono, A., Amalia, A., & Prasetya, H. E. G. (2019). Pengaruh penambahan EM4 pada pembuatan biogas dengan bahan baku kotoran sapi menggunakan digester fix dome sistem batch. *Seminar Nasional Teknologi Industri Lingkungan dan Infrastruktur*, 2, A5.1-A5.7. Retrieved from <https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin>
- Yamamoto, K., & Sakaguchi, K. (2023). 1D modeling of methanation reactor with circulation (MeRCi) for assessment of reaction characteristics. *International Journal of Thermofluids*, 20, 100513. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100513>
- Zuhri, S. (2018). Sistem pengendali suhu pada bioreaktor anaerob berbasis mikrokontroler. Universitas Brawijaya. pp. 1-71.