

PERANCANGAN ALAT UKUR KONSENTRASI GAS METANA DARI ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR) SEMI-KONTINYU DENGAN SUBSTRAT SUSU BASI

Aditya Pratama Rusdiyono¹, M. Ramdhan kirom, M.si. ² Ahmad Qurthobi, S.T., M.T. ³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹adityapratamarusdiyono@gmail.com, ²jakasantang@gmail.com, ³qurthobi@gmail.com

Abstrak

Biogas dapat diperoleh dengan proses anaerob. Anaerob merupakan salah satu cara produksi biogas menggunakan bakteri anaerobik, yang tumbuh tanpa gas oksigen. Gas metana adalah salah satu gas yang dihasilkan dari produksi biogas sebagai penyebab utama terjadinya efek rumah kaca. Sehingga tingkat konsentrasi gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari produksi biogas harus selalu diketahui. Data konsentrasi gas metana (CH₄) sulit didapatkan, karena saat ini peralatan untuk mengukur tingkat konsentrasi gas metana (CH₄) sangat terbatas. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan di atas, yaitu dengan melakukan pengukuran konsentrasi gas metana menggunakan sebuah alat ukur.

Pada penelitian ini dibuat seperangkat sistem pengukuran konsentrasi gas metana (CH₄) pada biogas dari hasil fermentasi susu basi dalam *anaerobic Baffled Reactor* pada volume 15 liter dengan alat ukur yang dirancang menggunakan sensor MQ-4 sebagai pembaca konsentrasi gas metana (CH₄) berupa persentase pada serial monitor.

Alat ukur yang telah dibuat ini kemudian dilakukan karakterisasi agar layak digunakan sebagai alat ukur konsentrasi gas metana (CH₄). Hasil pengukuran melalui serial monitor dalam persentase. Sistem pengukuran ini menggunakan alat ukur konsentrasi gas metana yang dirancang pada Arduino Uno sebagai pengontrol dari sinyal masukan dan keluaran serta untuk kalibrasi sistem dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran alat ukur yang dibuat dengan alat ukur *gas chromatograph GC 8A* sebagai nilai akhir dari konsentrasi gas metana.

Kata Kunci : Biogas, Konsentrasi Gas metana (CH₄), Sensor MQ-4, *Anaerobic baffled reactor*.

Abstract

Biogas can be obtained by the anaerobic process. Anaerobic process is one way of biogas production using anaerobic bacteria, which grows without oxygen gas. Methane is a gas which is produced from biogas production as the main cause of the greenhouse effect. Thus, the concentration levels of methane (CH₄) produced from biogas production must always be known. Data concentration of methane (CH₄) is difficult to obtain, because the current equipment to measure the concentration levels of methane (CH₄) is very limited. One of the efforts made to overcome the above problems, is to measure the methane concentration using an instrument.

In this study, there will be made a set of measurement system of the methane (CH₄) concentration in the biogas from the fermentation of expired milk in *anaerobic Baffled Reactor* on a volume of 15 liters with an instrument design using MQ-4 sensor as methane gas concentration reader be in the form of percentage in monitor serial.

The sensor system that has been created is then carried out the characterization to be eligible to be used as a measurement of the concentration of methane (CH₄). The displayed via the serial monitor in percentage. This measurement instrument design methane gas concentration

system is using Arduino Uno as a controller of signal inputs and outputs, and system calibration is done by comparing the results of the measurement instrument design with a *gas chromatograph GC 8A* test as the final value of the concentration of methane gas.

Keywords : Biogas, Methane gas concentration (CH₄), Sensor MQ-4, *Anaerobic baffled reactor*.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Biogas merupakan salah satu jenis energi alternatif yang dapat diperbaharui yang dapat dibuat dari banyak jenis bahan buangan dan bahan sisa, semacam sampah, sisa tanaman, kotoran manusia, kotoran hewan, maupun limbah industri dibantu dengan sebuah alat yaitu *anaerobic baffled reactor* (ABR) yang berfungsi sebagai tempat untuk melakukan proses biogas di dalamnya serta merupakan suatu reaktor yang digunakan untuk mengolah limbah cair dengan beberapa ruang di dalamnya serta 4 kompartemen agar lebih efisien dalam mengkonversi solid yang terperangkap ke dalam bentuk metan^[1].

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob. Bahan-bahan organik yang baik digunakan adalah mempunyai kadar karbohidrat, lemak, dan protein yang cukup besar. Senyawa tersebut dikonversi menjadi senyawa metan yang dapat dibakar sebagai sumber energi. Selain itu bahan baku yang akan digunakan harus mudah didapat, mudah diproses, dan ketersediaannya melimpah^[2].

Implementasi penggunaan biogas berbahan baku limbah susu sebagai salah satu solusi untuk mengatasi krisis energi ternyata masih menyisakan suatu permasalahan. Konsentrasi gas metan yang dihasilkan dari produksi biogas hasil limbah susu dengan anaerob digester belum terukur secara tepat. Gas metan (CH_4) yang merupakan kandungan terbesar dari produksi biogas jika konsentrasinya tidak terukur secara tepat akan berdampak negatif. Konsentrasi gas metan (CH_4) lebih dari 5% di udara akan menyebabkan ledakan seperti yang terjadi di TPA Leuwi Gajah pada tahun 2008 (kompas, 2008). Gas metan (CH_4) merupakan salah satu penyebab utama terjadinya efek rumah kaca. Sehingga tingkat konsentrasi gas metan (CH_4) yang dihasilkan dari produksi biogas harus selalu diketahui. Data konsentrasi gas metan (CH_4) sulit didapatkan, karena saat ini peralatan untuk mengukur tingkat konsentrasi gas metan (CH_4) sangat terbatas. Proses pengukuran pun masih terjadi human error, sehingga perlu dikembangkan terobosan teknologi guna memenuhi kebutuhan data konsentrasi gas metan (CH_4) secara tepat. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan di atas, yaitu dengan membuat suatu alat ukur^[3].

Maka dari itu, dalam tugas akhir ini, penulis mengambil judul “PENGUKURAN KONSENTRASI GAS METANA DARI ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR) SEMI-KONTINYU DENGAN SUBSTRAT SUSU BASI” dengan alat ukur konsentrasi gas metana ini, penulis memungkinkan untuk melakukan pengukuran konsentrasi gas metan dengan alat ukur yang dibuat serta menganalisis perbandingan konsentrasi gas metan pada alat ukur dengan kalibrator melalui hasil karakteristik alat ukur.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu:

1. Penelitian diharapkan dapat memproduksi gas metana melalui proses biogas dan mengukur konsentrasi gas metana yang terbentuk.
2. Membuat alat ukur konsentrasi gas metana menggunakan sensor konsentrasi gas metana

2. Dasar Teori

2.1 Dasar Pembuatan Biogas

Prinsip Dasar Pembuatan Biogas

1. Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis ini, bahan organik (polimer) seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil. Selama proses tersebut polimer diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan pirimidin. Proses hidrolisis akan diekresi oleh bakteri fermentatif. Proses yang

dihasilkan oleh hidrolisis lebih lanjut akan diuraikan oleh mikroorganisme walaupun menyebabkan proses penguraian *anaerobic digester* menjadi sangat lama dan terbatas.

2. Asedogenesis

Pada proses asedogenesis, pada produk hidrolisis dikonversi oleh bakteri menjadi substrat metanogen dan bakteri pun menghasilkan asam asetat.

3. Asetogenesis

Selama proses asetogenesis, produk yang dihasilkan oleh asidogenesis yang tidak dapat diubah secara langsung menjadi gas metana oleh bakteri. Bakteri yang mengkonversi produk hidrolisis menjadi substrat metanogen seperti asam asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Produk hidrogen meningkatkan tekanan parsial hidrogen, hal ini dianggap sebagai produk limbah dari proses asetogenesis dan menghambat metabolisme bakteri asetogenik.

4. Metanogenesis

Tahap selanjutnya adalah metanogenesis, selama proses metanogenesis hidrogen akan diubah menjadi metana. Asetogenesis dan metanogenesis biasanya sejajar, sebagai simbiosis dari dua kelompok organisme. Metanogenesis merupakan langkah penting dalam seluruh proses pencernaan anaerobik, karena metanogenesis merupakan reaksi biokimia paling lambat dalam proses. Proses metanogenesis sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi. Beberapa contoh yang mempengaruhi proses metanogenesis adalah komposisi bahan baku, perbandingan makanan, temperatur, dan nilai pH. *Overload digester*, perubahan temperatur, dan masuknya oksigen dalam jumlah besar dapat mengakibatkan penghentian produksi metana. Proses ini berlangsung pada temperatur ruangan di dalam reaktor sekitar 20-40^[6].

2.2 Faktor Yang Menentukan Produksi Biogas

1. Lingkungan abiotis

Bakteri yang dapat memproduksi gas metana tidak memerlukan oksigen dalam pertumbuhannya (anaerob). Oleh karena itu, biodigester harus tetap dijaga dalam keadaan abiotis (tanpa kontak langsung dengan Oksigen (O₂)).

2. Temperatur

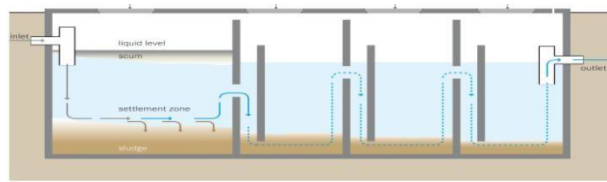
Temperatur selama proses berlangsung dilakukan pada temperatur ruangan yaitu 27°-33° karena untuk proses pengembangbiakan bakteri dan bakteri hidup dalam temperatur ruangan yang mempengaruhi waktu pembuatan biogas apabila temperatur terlalu rendah atau terlalu tinggi maka bakteri tidak akan hidup sehingga proses pembuatan biogas akan lebih lama untuk menghasilkan gas metana.

3. Derajat Keasaman (pH)

Parameter yang harus diperhatikan dan dikontrol agar proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung secara optimal dan menghasilkan gas salah satu nya adalah pH. pH harus dijaga pada kondisi optimum yaitu antara 6,8-7,2. Hal ini disebabkan apabila pH turun akan menyebabkan pengubah substrat menjadi biogas terhambat sehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas. Nilai pH yang terlalu tinggi pun harus dihindari, karena akan menyebabkan produk akhir yang dihasilkan adalah CO₂ sebagai produk utama^[8].

2.3 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Anaerobic Baffled Reactor (ABR) atau dikenal juga dengan *Anaerobic Baffled Reactor Septic Tank (ABST)* adalah salah satu reaktor hasil modifikasi *septic tank* dengan penambahan sekat-sekat. Teknologi ini telah digunakan dan dikembangkan oleh bachman dkk^[15]. Untuk mengolah limbah cair sintetik dengan kategori kuat (COD 8000 mg/l) sampai sedang. Sistem ABR sangat efisien untuk mengolah air buangan sintesis yang relatif kurang kuat, air buangan perkotaan dan cocok juga untuk mengolah air buangan yang memiliki kandungan zat tersuspensi tidak terendapkan yang tinggi serta cocok untuk mengolah air buangan yang BOD/COD yang rendah, seperti limbah dari kegiatan industri. ABR merupakan bioreaktor anaerob yang memiliki kompartemen-kompartemen yang dibatasi oleh sekat-sekat vertikal dan kompartemen-kompartemen yang tersusun secara seri. Aliran limbah cair pada reaktor ABR diarahkan menuju ke bagian bawah sekat oleh susunan seri sekat dan sekat yang dipasang tegak dengan tekanan dari *influen* sehingga air limbah dapat mengalir dari *inlet* menuju *outlet*. Bagian bawah sekat tergantung dibengkokkan 45° untuk mengarahkan aliran air dan mengurangi aliran pendek. Bagian bawah aliran lebih sempit dibanding bagian atas aliran untuk mencegah akumulasi mikroorganisme. Dalam aliran ke atas, aliran melewati *sludge blanket*, sehingga limbah dapat kontak dengan mikroorganisme aktif^[13]. Arah aliran limbah dalam sebuah reaktor ABR dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:

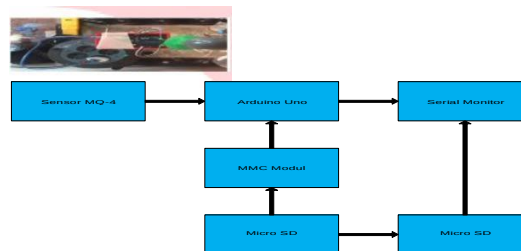


Gambar 2.1 Proses Tahapan Reaktor ABR 3 Sekat

3. Perancangan Alat Ukur dan Pengambilan Data

3.1 Desain Alat

Desain alat ukur konsentrasi gas metana yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.

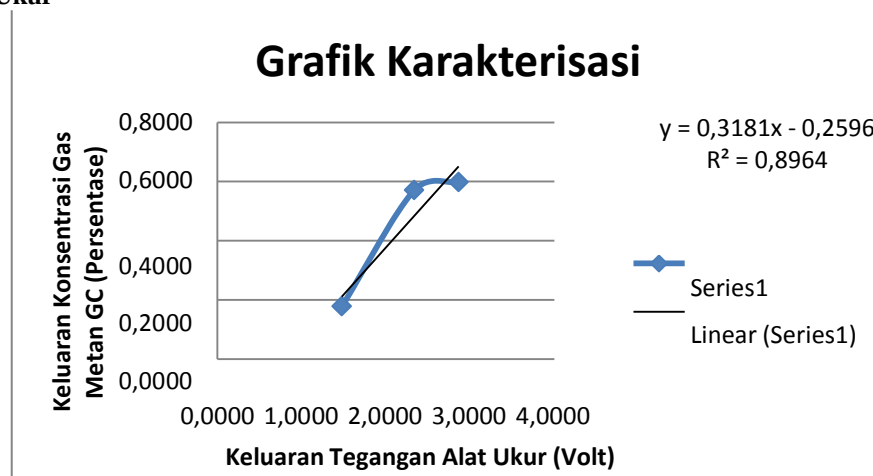


Gambar 3. 1 Desain Alat Ukur Konsentrasi Gas Metan

1. Alat dapat dihubungkan langsung menggunakan port arduino UNO dengan menggunakan kepala charger yang dihubungkan kepada serial monitor sebagai sumber tegangan AC yang diberikan kepada arduino uno sehingga arduino UNO dapat mengeluarkan tegangan sebesar 5Volt.
2. MMC modul dihubungkan dengan arduino UNO yang berfungsi untuk menyimpan data konsentrasi gas yang diukur oleh alat ukur yang dirancang.
3. Pembacaan sensor konsentrasi gas metana yang telah dirancang akan diolah oleh mikrokontroller dengan proses Input tegangan dari MQ-4 akan dikontrol menggunakan mikrokontroller dan didapatkan hasil persentase konsentrasi gas metan akibat pengaruh variasi tegangan dengan ditampilkannya melalui serial monitor.
4. Nilai konsentrasi gas metana yang telah terukur berupa persentase dapat tersimpan di dalam mmc modul dengan menggunakan sd card sebagai perangkat penyimpanan serta adapter sd card sebagai perangkat konversi guna melihat data yang tersimpan pada saat keluar dari serial monitor.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Hasil Uji Alat Ukur



Gambar 4. 1 Grafik Karakterisasi Alat Ukur

Seperti pada gambar diatas dijelaskan data antara hubungan tegangan keluaran alat ukur yang dibuat dengan konsentrasi gas metana pada kalibrator sehingga didapatkan suatu persamaan 4.1 tegangan sehingga dapat dilakukan proses inialisasi guna mendapatkan keluaran berupa konsentrasi gas metana dari alat ukur yang dibuat menggunakan persamaan yang telah didapat dari karakterisasi nilai tegangan yang keluar dari alat ukur yang dibuat dengan nilai konsentrasi gas metana yang telah di ukur pada kalibrator.

$$\text{Konsentrasi gas metana} = 0,3181 (\text{---}) - 0,2596 \dots\dots\dots (4.1)$$

4.1.2 Karakteristik Alat Ukur

Karakteristik pengukuran pertama dan kedua di dapatkan setelah melakukan karakterisasi untuk mendapatkan hubungan antara tegangan keluaran dari alat ukur yang dibuat dengan konsentrasi gas metana sehingga di dapatkan keluaran berupa konsentrasi gas metana pada alat ukur mendekati nilai konsentrasi gas metana yang telah di ukur oleh kalibrator. Pengukuran oleh alat ukur selama 7 hari tetapi untuk mendapatkan gas metana pengukuran dilakukan serta pengambilan *sample* dilakukan pada hari ke 3, hari ke 4, hari ke 5, hari ke 6 dan hari ke 7 selama 7 hari pengujian biogas sesuai dengan rentan waktu biogas yang telah ditentukan sebelumnya dengan pengkondisian pH selama setiap 3 jam serta pengukuran alat ukur yang dibuat dilakukan setiap menit pengambilan data konsentrasi gas metana pada *annaerobic baffled reactor*.

Tabel 4.1 Karakteristik Alat Ukur (Pengujian Pertama)

Rata-Rata Karakteristik Pengujian Pertama						
Karakteristik	Data 3 Jam Hari 3	Data 3 jam Hari 4	Data 3 jam Hari 5	Data 3 jam Hari 6	Data 3 jam Hari 7	Alat Ukur
Presisi	95%	95%	95%	96%	94%	95%
Bias	0,0046	0,0020	0,0026	0,0075	0,0005	0,0034
Akurasi	94%	94%	93%	94%	94%	94%
Error	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Standar Deviasi	0,01	0,0092	0,0083	0,0046	0,006	0,0076

Tabel 4.2 Karakteristik Alat Ukur (Pengukuran Kedua)

Rata-Rata Karakteristik Pengujian Kedua						
Karakteristik	Data 3 Jam Hari 3	Data 3 jam Hari 4	Data 3 jam Hari 5	Data 3 jam Hari 6	Data 3 jam Hari 7	Alat Ukur
Presisi	94%	94%	94%	95%	95%	94%
Bias	0,0016	0,0009	0,0007	0,0027	0,0048	0,0021
Akurasi	94%	94%	94%	95%	93%	94%
Error	6%	6%	6%	5%	7%	6%
Standar Deviasi	0,0093	0,0081	0,0061	0,0046	0,0042	0,0065

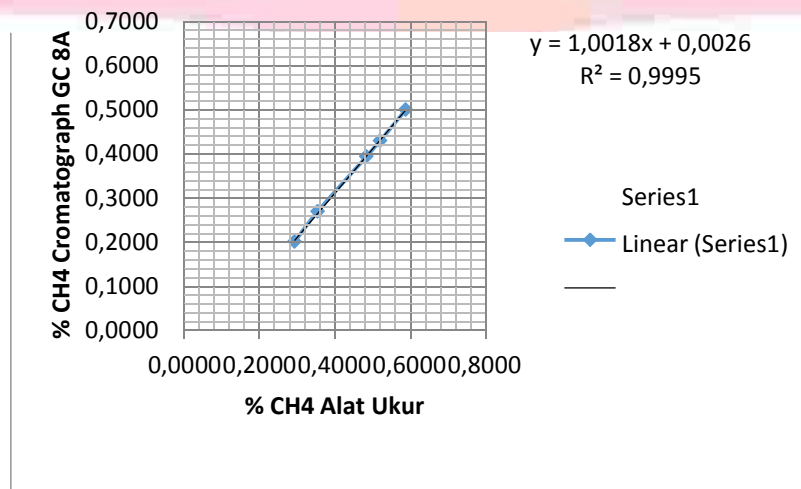
4.1.3 Kalibrasi Alat Ukur

4.1.3.1 Pengukuran Pertama

Kalibrasi bertujuan untuk mengetahui nilai error pada instrumen alat ukur konsentrasi gas metana setelah melakukan karakterisasi dengan kalibrator dalam bentuk nilai persentase konsentrasi gas metana. Setelah melakukan karakterisasi dengan didapatkan keluaran konsentrasi gas metana dari alat ukur yang dibuat sehingga dapat dilakukan kalibrasi. Hasil Kalibrasi ditunjukkan pada tabel 4.3 dan gambar 4.2.

Tabel 4.3 Data kalibrasi Pengujian Pertama

Hasil Kalibrasi Pengujian Pertama				
Hari	3 jam			ERROR
	Alat ukur		Kalibrator	
	Tegangan (volt)	% CH4	% CH4	
Hari 3	2,67	0,5882	0,5928	5,83%
Hari 4	2,45	0,5207	0,5227	5,67%
Hari 5	2,34	0,4842	0,4868	5,66%
Hari 6	1,93	0,3548	0,3623	5,89%
Hari 7	1,74	0,2936	0,2941	6,34%
Erro Alat Ukur = 6%				



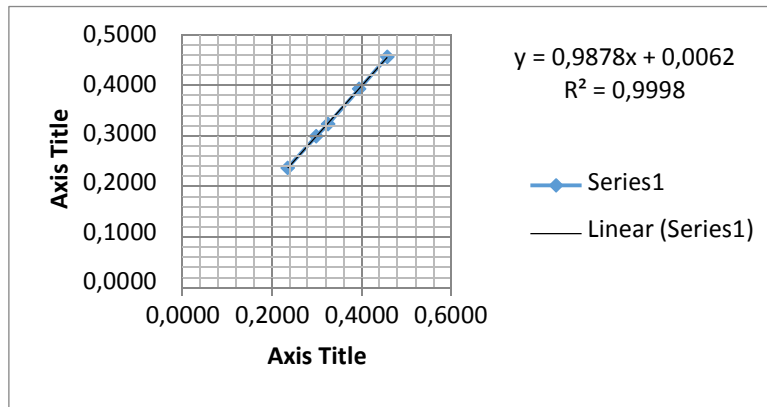
Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi Instrumen Alat Ukur Konsentrasi Gas Metana

4.1.3.2 Pengukuran Kedua

Kalibrasi bertujuan untuk mengetahui nilai error pada instrumen alat ukur konsentrasi gas metana setelah melakukan karakterisasi dengan kalibrator dalam bentuk nilai persentase konsentrasi gas metana. Setelah melakukan karakterisasi dengan didapatkan keluaran konsentrasi gas metan dari alat ukur yang dibuat sehingga dapat dilakukan kalibrasi. Hasil Kalibrasi ditunjukkan pada tabel 4.4 dan gambar 4.3.

Hasil Kalibrasi Pengujian Kedua				
Hari	3 jam			ERROR
	Alat ukur		Kalibrator	
	Tegangan (volt)	% CH4	% CH4	
Hari 3	2,25	0,4570	0,4586	6,40%
Hari 4	2,06	0,3948	0,3957	6,36%
Hari 5	1,84	0,3254	0,3261	5,85%
Hari 6	1,76	0,2996	0,3023	5,47%
Hari 7	1,56	0,2356	0,2398	6,49%
Erro Alat Ukur = 6%				

Tabel 4.4 Data Kalibrasi Pengujian Kedua



Gambar 4.3 Grafik Kalibrasi Instrumen Alat Ukur Konsentrasi Gas Metana

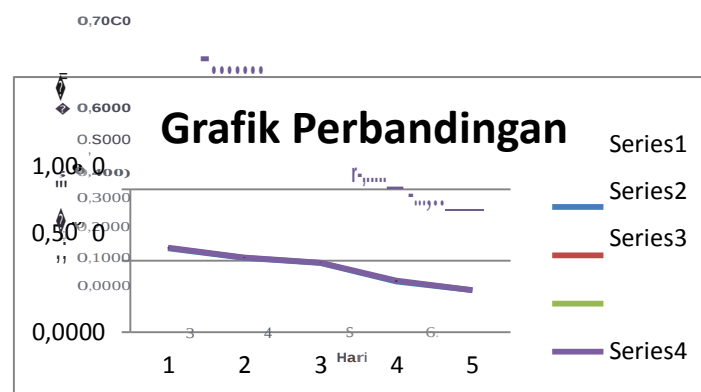
4.1.4 Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas Metana

Pengukuran konsentrasi gas metana dengan menggunakan alat ukur yang dibuat dilakukan dalam dua pengujian yaitu dengan pengujian pertama dan pengujian kedua. Pada pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui konsentrasi gas metana yang terukur oleh alat ukur yang dibuat sedangkan untuk pengujian kedua dilakukan untuk melihat konsistensi dari alat ukur yang dibuat serta mengetahui nilai konsentrasi gas metana pada pengujian kedua serta melihat perbandingan nilai konsentrasi gas metana yang diukur oleh alat ukur dengan alat ukur *gas chromatograph GC 8A*.

4.1.4.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas Metana Pengujian Pertama

Tabel 4.5 Pengukuran Konsentrasi Gas Metana Pengujian Pertama

Pengukuran Pertama	
Alat ukur	<i>Gas Chromatograph GC 8A</i>
% CH ₄	% CH ₄
0,5882	0,5928
0,5207	0,5227
0,4842	0,4868
0,3548	0,3623
0,2936	0,2941
Total %CH ₄	Total %CH ₄
2,2415	2,2587



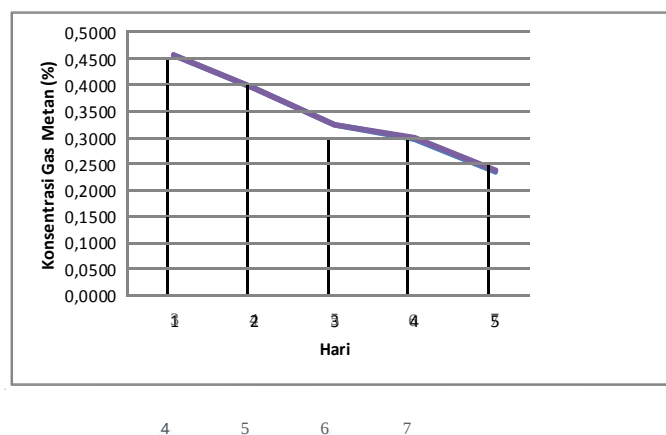
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Konsentrasi Gas Metana Pengujian Kedua

Seperti pada tabel 4.5 dan gambar 4.4 konsentrasi gas metana yang telah diukur oleh alat ukur pada *anaerobic baffled reactor* dengan pengkondisian pH setiap 3 jam didapatkan total pengukuran alat ukur konsentrasi gas metana yang dibuat pada pengujian pertama sebesar 2,2415% dengan nilai error yang didapat dari alat ukur sebesar 6%.

4.1.4.2 Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas Metana Pengujian Kedua

Tabel 4.6 Pengukuran Konsentrasi Gas Metana Pengujian Kedua

Pengukuran Kedua	
Alat ukur	Gas Cromatograph GC 8A
% CH ₄	% CH ₄
0,4570	0,4586
0,3948	0,3957
0,3254	0,3261
0,2996	0,3023
0,2356	0,2398
Total %CH₄	Total %CH₄
1,7124	1,7225



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Konsentrasi Gas Metana Pengujian Kedua

Seperti pada tabel 4.6 dan gambar 4.5 konsentrasi gas metana yang telah diukur oleh alat ukur pada *anaerobic baffled reactor* dengan pengkondisian pH setiap 3 jam didapatkan total pengukuran alat ukur konsentrasi gas metana yang dibuat pada pengujian Kedua sebesar 1,7124% dengan nilai error yang didapat dari alat ukur sebesar 6%.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengukuran konsentrasi gas metan menggunakan alat ukur yang telah dibuat berbasis mikrokontroller arduino uno terdapat kesimpulan yang didapat oleh peneliti, diantaranya;

1. Dari proses biogas anaerobik digester dengan substrat susu basi selama 7 hari sesuai HRT yang telah diuji sebelumnya dengan pengkondisian pH 6,8-7,2 (dilakukan dua kali pengujian) dapat menghasilkan gas metan terbesar pada hari ketiga, dapat dilihat dari konsentrasi gas yang terdeteksi pada alat ukur yang telah dibuat pada hari ketiga sebesar 0,5882% dan 0,4570%, serta mengalami penurunan hingga akhir batas maksimum hari yang telah ditentukan sehingga substrat yang digunakan berpengaruh terhadap hasil konsentrasi gas metan yang dihasilkan.
2. Alat ukur memiliki karakteristik error sebesar 6%, presisi sebesar 95%, dan akurasi sebesar 94%.

Saran

Dari hasil penelitian terdapat saran dari peneliti untuk lebih dikembangkan. Diantaranya;

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan karakterisasi alat ukur yang dilakukan menggunakan kalibrator yang mengukur konsentrasi gas metan secara real time.
2. Melakukan pengkondisian pH secara real time pada reaktor yang digunakan dengan menggunakan sensor pH sehingga error pada alat ukur dapat diperkecil serta memperkecil gas yang lain terukur pada saat pengukuran konsentrasi gas metan untuk proses karakterisasi.
3. Pada saat pengukuran karakterisasi sebaiknya menggunakan gas metan murni agar tidak terdapat gas-gas lain yang dapat mengganggu tegangan alat ukur metan yang akan dihasilkan pada saat karakterisasi.

4. Gunakan substrat yang mengandung karbohidrat untuk memperbaiki produksi biogas.

Daftar Pustaka

- Mulyani, Happy. (2012) *Pengaruh Pre-Klorinasi dan Pengaturan pH terhadap Proses Aklimatisasi dan Penurunan COD Pengolahan Limbah Cair Tapioka Sistem Anaerobic Baffled Reactor* 1(1), 1-70. Jurnal Universitas Diponegoro.
- [2] Yonathan Arnold dan Prasetya Rusba Avianda (2012). *Produksi Biogas dari Eceng Gondok Eichornia Crassipes: Kajian Konsistensi dan Ph terhadap Biogas yang Dihasilkan* 1(1), 412-416. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri.
- [3] Anwar Choirul Sidiq, Rakhmadi Agung Frida, C. Luethi, Rahmawati Terno (2012). *Perangkat Sistem Pengukuran Gas Metan (CH₄) Pada Biogas Dari Hasil Fermentasi Eceng Gondok (Eichornia Crassipes)* 1(1), 1-10. Jurnal Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta1.
- [4] Sutrisno Joko (2010). *Pembuatan Biogas Dari Bahan Sampah Sayuran (Kubis, Kangkung dan Bayam)* 8(1), 98-99. Jurnal Teknik.
- [5] Saputro Catur, Nugroho Agung dan Utami Budi (2006). *Studi Pustaka Pemanfaatan Proses Biokonversi Sampah Organik Sebagai Alternatif Memperoleh Biogas* 1(1), 1-11. Jurnal Sumber Energi Hayati.
- [6] Megawati dan Aji Wongso Kendali (2014). *Pengaruh Penambahan EM4 (Effective microorganism-4) Pada Pembuatan Biogas Dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi* 3(2), 1-11. Jurnal Bahan Alam Terbarukan.
- [7] Saputro Catur, Nugroho Agung dan Utami Budi (2006). *Studi Pustaka Pemanfaatan Proses Biokonversi Sampah Organik Sebagai Alternatif Memperoleh Biogas* 1(1), 1-11. Jurnal Sumber Energi Hayati.
- [8] Sutrisno Joko (2010). *Pembuatan Biogas Dari Bahan Sampah Sayuran (Kubis, Kangkung dan Bayam)* 8(1), 100-108. Jurnal Teknik.
- [9] Jenie Laksmi Sri Betty dan Rahayu Pudji Winiati (1993). *Penanganan Limbah Industri Pangan* (1st ed.). Yogyakarta: Kanisius (Anggota IKAPI).
- [10] Ekawati Ratnasari Evy (2014). *Uji Perbedaan Laktosa Pada Susu Sapi Fries Holland dan Susu Kambing Etawa Di kec. Ampelgading, Kab. Malang*. 1(1), 1-10 Jurnal Prodi Analis Kesehatan-FIKES-Univ.Maarif Hasyim Latif Sidoarjo.
- [11] Lestari Indah Letisa dan Soemirat Juli (2013). *Penentuan Konsentrasi Gas Metan Di Udara Zona 4 TPA Sumur Batu Kota Bekasi* 1(1), 1-11. Jurnal Institut Teknologi Nasional.
- [12] Sunaryo (2014). *Rancang Bangun Reaktor Biogas Untuk Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi Di Desa Limbangan Kabupaten Banjarnegara*. 1(1), 21-30. Jurnal PPKM UNSIQ I.
- [13] Ling Ling, Altway Ali, dan Winardi Sugeng (2004). *Simulasi Pengaruh Pencampuran Pada Reaksi Parallel Dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk*. 3(1), 47-55. Jurnal Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [14] Sumiyati Sri (2006). *Pengaruh Waktu Stabilisasi Pada Sequencing Batch Reactor Aerob Terhadap Penurunan Karbon*. 1(1), 13-18. Jurnal Presipitasi.
- [15] Yonathan Arnold dan Prasetya Rusba Avianda (2013). *Produksi Biogas dari Eceng Gondok Eichornia Crassipes: Kajian Konsistensi dan Ph terhadap Biogas yang Dihasilkan* 2(2), 211-215. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri.
- [16] Muharrami Khamsatul Laila (2011). *Penentuan Kadar Kolesterol Dengan Metode Kromatografi Gas*. 5(1), 1-5. Jurnal Agointek.
- [17] Putri Ika Ratna, Sarosa M, Tistiana Heli, Rulianah Sri (2014). *Pendeteksi Gas Metan Pada Sistem Biogas Berbasis Mikrokontroler*. 12(1), 39-49. Jurnal ELTEK.
- [18] Lowongan Risdard Tander, Rahardjo Pratolo, Divayana Yoga (2015). *Detektor LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Mikrokontroler ATmega 328*. 2(4), 53-57. E.Journal SPEKTRUM.