

**PERANCANGAN INSTRUMENT PENGUKURAN
KONSENTRASI GAS HIDROGEN PADA REAKTOR BIOGAS
BAGIAN ANAEROBIC DIGESTER**

***INSTRUMENT DESIGN FOR HYDROGEN GAS CONCENTRATION MEASUREMENT ON THE BIOGAS
REACTOR ANAEROBIC DIGESTER REACTOR SECTION***

Wisnu Abdiguna Surahman Murti¹, M. Ramdhan Kirom S. Si, M. Si.², Dr. Eng. Asep Suhendi³

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

¹wisnuabdiguna@gmail.com ²jakasantang@gmail.com, ³as.suhendi@gmail.com

Abstrak

Biogas merupakan salah satu cara untuk mendapatkan energi terbarukan. Biogas dapat diperoleh dengan proses anaerob. Salah satu produk biogas untuk energi terbarukan ialah hidrogen. Gas hidrogen merupakan unsur paling melimpah di alam semesta dengan persentase sekitar 75% dari total massa unsur di alam semesta. Hidrogen merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan karena tidak menimbulkan emisi gas buang yang berbahaya. Gas hidrogen tidak berwarna, tidak berbau dan mudah terbakar. Karena sifatnya yang mudah terbakar, gas hidrogen dapat dijadikan sumber bahan bakar. Namun data konsentrasi gas hidrogen (H₂) sulit didapatkan, karena pada saat ini alat untuk mengukur konsentrasi gas hidrogen sangat terbatas. Maka dari itu untuk memecahkan permasalahan diatas ialah dengan membuat suatu alat ukur. Pada penelitian ini dibuat instrumen pengukuran konsentrasi gas hidrogen (H₂) pada biogas dari hasil fermentasi nasi, jagung, dan kentang dalam Anaerobic Digester Reactor dengan skala 10 liter menggunakan sensor MQ-8 dengan rentang pengukuran sebesar 100-10.000 PPM untuk mengukur konsentrasi gas hidrogen (H₂). Instrument pengukuran yang sudah dibuat nantinya dilakukan kalibrasi agar layak digunakan untuk mengukur konsentrasi gas hidrogen (H₂). Perancangan instrumen pengukuran ini menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang nantinya akan dikalibrasi dengan membandingkan hasil sensor MQ-8 dan hasil gas chromatograph sebagai nilai akhir.

Kata kunci: Biogas, Konsentrasi Gas Hidrogen, MQ-8, Arduino Uno.

Abstract

Biogas is one way to get renewable energy. Biogas can be obtained by anaerobic process. One of the biogas products for renewable energy is hydrogen. Hydrogen gas is the most abundant element in the universe with a percentage of about 75% of the total mass of elements in the universe. Hydrogen is alternative energy that is eco friendly because it doesn't cause harmful exhaust emissions. Hydrogen gas is colorless, odorless and flammable. Because of its flammability, hydrogen gas can be used as a fuel source. But the data on the concentration of hydrogen gas (H₂) is difficult to obtain, because at this time the equipment for measuring the concentration of hydrogen gas is very limited. Therefore to solve the above problems is to make a measuring instrument. In this study, there will be made a set of measurement instrument for the concentration of hydrogen gas (H₂) in biogas was made from fermented rice, corn, and potatoes with a scale 10-liter Anaerobic Digester Reactor using MQ-8 sensor with a measuring range of 100-10,000 PPM to measure hydrogen gas concentration (H₂). Measurement instruments that have been made will then be calibrated so that they are suitable to be used to measure the concentration of hydrogen gas (H₂). The design of this measurement instrument uses Arduino Uno as a microcontroller which will be calibrated by comparing the results of the MQ-8 sensor and the gas chromatograph result as the final value.

Key word: Biogas, Hydrogen Gas Concentration, MQ-8, Arduino Uno..

1. Pendahuluan

Pengukuran sangatlah penting dalam menentukan kuantitas dimensi suatu besaran pada sebuah sistem. Tanpa pengukuran sebuah sistem tidak akan berjalan sesuai tujuan. Salah satu contoh sistem yang memerlukan adanya pengukuran ialah pada bidang Biogas dan Biomassa. Dimana pada bidang tersebut energi yang dihasilkan harus

didefinisikan dengan suatu besaran guna menentukan jumlah energi yang dapat dihasilkan dari suatu sistem. Biogas merupakan salah satu jenis energi yang dapat dibuat dari banyak jenis bahan buangan dan bahan sisa. Biogas merupakan gas yang mudah terbakar dan dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob[1]. Hasil produksi biogas diantaranya metana, nitrogen, karbon dioksida, oksigen, dan hidrogen. Hasil hidrogen yang optimum dapat diperoleh dari salah satu proses fermentasi anaerob yaitu pada fase asidogenesis menggunakan reaktor Temperature Phased Anaerobic Digester (TPAD) [2]. Produksi hidrogen melibatkan enzim atau mikroba yang merupakan sejumlah spesies jasad renik. Secara biologis, biohidrogen diproduksi dengan memanfaatkan organisme bakteri melalui proses fermentasi atau fotoreduksi untuk merombak substrat organik (limbah atau nonlimbah) menjadi energi hidrogen[3]. Pentingnya pengukuran gas hasil produksi guna mengetahui jumlah energi yang dihasilkan dalam suatu reaktor biogas. Banyak riset yang membahas tentang pengukuran gas khususnya gas hidrogen. Hanya saja kebanyakan yang membedakan dari riset-riset yang dilakukan bukan pada metode pengambilan datanya, melainkan sensor gas hidrogen yang digunakan. Pada penelitian ini akan digunakan sensor MQ-8 untuk mencari konsentrasi gas hidrogen. Dari riset sebelumnya, sebenarnya sudah banyak yang menggunakan MQ-8 sebagai sensor pengukur konsentrasi gas hidrogen hanya saja belum diaplikasikan dalam sistem reaktor biogas khususnya pada reaktor TPAD. Reaktor TPAD yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebuah riset yang sudah dilakukan sebelumnya tetapi belum mempunyai sebuah sistem pengukuran gas keluaran. Gas keluaran dari reaktor TPAD yang berbahan substrat ampas nasi, jagung dan kentang menghasilkan gas keluaran hidrogen, nitrogen, metana, dan uap air. Dalam penelitian ini akan dibangun sebuah sistem pengukuran konsentrasi gas hidrogen dengan sensor gas hidrogen MQ-8 pada sebuah reaktor TPAD sebagai modelnya..

2. Landasan Teori

2.1 Digester Anaerob (Reaktor)

Reaktor adalah suatu alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau nuklir dan bukan secara fisika.. Reaktor merupakan bejana atau tanki di mana berlangsungnya reaksi kimia, atau dalam penelitian ini tempat berlangsungnya konversi energi dari biomass menjadi gas[4]. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan reaktor, yaitu[4] :

- 1) Bentuknya yang mudah dioperasikan dan dalam pemeliharaan
- 2) Aerasi dan agitasi harus dapat diatur sesuai dengan kebutuhan biokatalis untuk melakukan metabolisme secara optimal
- 3) Konsumsi energi untuk pengoperasian dibuat seminimal mungkin
- 4) Pengendalian suhu, pH, dan faktor lain merupakan perlengkapan reaktor
- 5) Biaya yang dikeluarkan
- 6) Kemudahan dalam mendapatkan bahan reaktor.

Dalam tugas akhir ini, reaktor yang digunakan adalah batch reaktor. Reaktor ini didesain untuk beroperasi dalam proses unsteady-state, atau dengan kata lain alamiah dan masih berpengaruh dengan suhu lingkungan. Reaktor digunakan untuk produksi skala kecil, mempunyai harga konstruksi yang rendah sehingga lebih ekonomis[4].

Kelebihan reaktor ini adalah[4] :

- 1) Harga pembuatan rendah sehingga lebih ekonomis
- 2) Penggunaannya fleksibel, dapat dihentikan secara mudah dan cepat kapan saja diinginkan
- 3) Mudah dibersihkan
- 4) Dapat menangani reaksi dalam fase gas, cair, dan cair-padat.

Kelemahan reaktor ini adalah[4]:

- 1) Terkadang waktu shut downnya besar, yaitu waktu yang digunakan untuk mengosongkan, membersihkan, dan mengisi kembali
- 2) Skala produksi kecil
- 3) Pengendalian kualitas dari produk kurang baik dan susah..

2.2 Energi Hidrogen

Hidrogen dapat dihasilkan dengan berbagai cara. Elektrolisis mengubah air menjadi hidrogen dan oksigen secara elektrik. metode kimia seperti pemecahan hidrokarbon menghasilkan hidrogen, dan metode secara biologi seperti fermentasi anaerob tanpa cahaya dan dengan cahaya yang menghasilkan hidrogen melalui reaksi yang dimediasi secara mikrobial dengan bantuan mikroorganisme[5]. Walaupun produksi hidrogen elektrolisis sepertinya ramah lingkungan, namun metode tersebut membutuhkan energi input yang berasal dari energi fosil. Demikian juga dengan produksi hidrogen dengan dekomposisi hidrokarbon membutuhkan banyak bahan bakar energi fosil. Jadi, pendekatan secara elektrolisis dan termokatalitik bukan metode yang ideal untuk produksi hidrogen secara sustainable (berkelanjutan)[5]. Di bawah ini adalah beberapa data kalor pembakaran dari bahan bakar yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari pada Tabel 2.1 dan nilai efisiensi dari beberapa metode produksi hidrogen pada Tabel 2.2.

No	Bahan bakar	Kalor Pembakaran (MJ/kg)
1	Hidrogen	142
2	Metana	56
3	Minyak/bensin (Gasoline)	47
4	Batubara	27
5	Kayu	15

Tabel 2.1 Data kalor pembakaran dari beberapa bahan bakar

No	Metode	Efisiensi (%)
1	Batubara	50 – 80
2	Steam Reforming	60 – 80
3	Biomasa	<60
4	Nuklir	(estimasi= 70 – 100)
5	Elektrolisis	58 – 72

Tabel 2.2 Perbandingan Nilai Efisiensi dari beberapa Metode Produksi Hidrogen

2.3 Sensor Mq-8

Sensor MQ-8 merupakan sensor gas yang berfungsi untuk mengetahui konsentrasi gas hidrogen (H). Memiliki sensitivitas tinggi dan waktu respon yang cepat. Keluaran yang dihasilkan oleh sensor gas MQ-8 berupa sinyal analog. Sensor ini juga membutuhkan tegangan DC sebesar 5V. Jarak pengukuran dari konsentrasi 100-10000 ppm untuk mengukur gas Hydrogen. Pada sensor ini terdapat nilai resistansi sensor (Rs) yang dapat berubah bila terkena gas dan sebuah pemanas yang digunakan sebagai pembersih ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. Sensor gas MQ-8 memerlukan rangkaian sederhana serta memerlukan tegangan pemanas (power heater) sebesar 5V. resistansi beban (load resistance) dan output sensor dihubungkan ke analog digital converter (ADC) sehingga keluaran dapat ditampilkan dalam bentuk sinyal digital [5]. Tentunya sebagai alat pengukuran, sensor MQ-8 ini membutuhkan kalibrasi agar gas yang terukur sesuai. Ada 2 data kalibrasi pembandingan pada penelitian sebelumnya, yang pertama data kalibrasi sensor MQ-8 dengan gas yang diukur ialah gas Hidrogen murni 99% dan yang kedua data kalibrasi sensor MQ-7 dengan gas yang diukur ialah gas Carbon Monoksida pada kendaraan.

2.3.1 Data hasil kalibrasi MQ-8 dengan gas ukur hidrogen murni

Untuk menentukan nilai konsentrasi gas hidrogen terlebih dahulu harus mengetahui nilai Rs. Nilai Rs merupakan konstanta untuk nilai konsentrasi gas yang menentukan nilai satuan yang diukur, dalam hal ini nilai satuan gas dinyatakan sebagai ppm. Berdasarkan datasheet MQ-8, nilai Rs dapat ditentukan dengan rumus:

$$Rs = ((RL \times V_{in}) / V_{out}) - RL \dots\dots\dots(2.1)$$

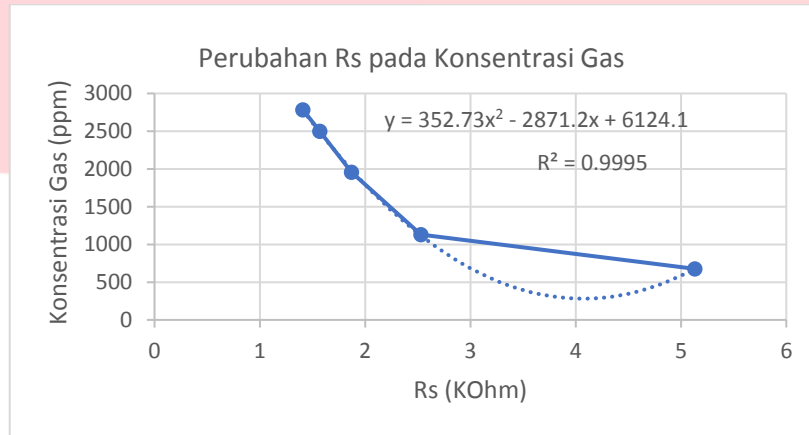
Kalibrasi sistem gas hidrogen menggunakan alat ukur gas berupa Gas Chromatograph. Data tegangan keluaran sistem sensor gas hidrogen dibandingkan dengan data konsentrasi gas hidrogen dari alat ukur Gas Chromatograph. Dari data kalibrasi tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan konsentrasi gas hidrogen. Pada saat kalibrasi ada beberapa asumsi yang digunakan yaitu konsentrasi dalam tabung pengambilan data bersifat homogen, dan sistem yang bekerja pada suhu tetap. Berikut data yang diperoleh dari hasil kalibrasi gas hidrogen dengan suhu 27oC [7].

Sampel (ml)	Rs (kOhm)	V _{LCD} (Volt)	konsentrasi hidrogen Gas Chromatograph (ppm)
1	5.15	3.30	677
2	2.53	3.99	1132
3	1.87	4.21	1956
4	1.57	4.32	2499

5	1.41	4.38	2783
---	------	------	------

Tabel 2.3 Data Kalibrasi Sensor MQ-8

Dari Tabel 2.3 kita bisa melihat perubahan R_s terhadap Konsentrasi Gas berbanding terbalik dengan perubahan Tegangan sensor terhadap Konsentrasi Gas. Dari data tersebut kita bisa grafik perubahan R_s terhadap Konsentrasi Gas.



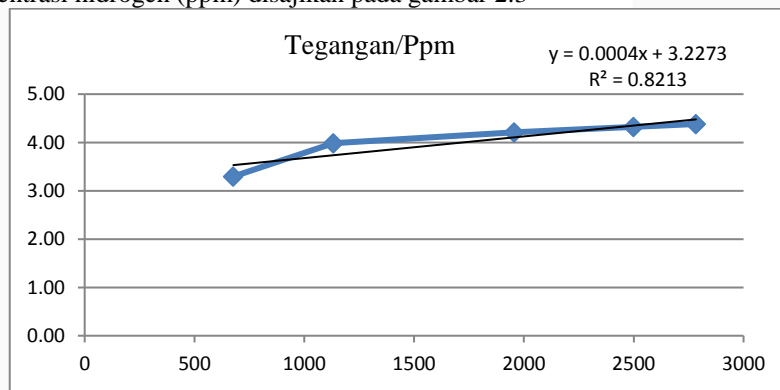
Gambar 2.1 Grafik Perubahan R_s terhadap Konsentrasi Gas

Pada Gambar 2.1, rumus untuk mencari nilai ppm diperoleh dari persamaan polinomial dengan menggunakan analisis trendline menggunakan Microsoft Excel :

$$y = 352,73x^2 - 2871,2x + 6124,1 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$R^2 = 0,9995 \dots\dots\dots(2.3)$$

Nilai dari karakteristik statik sistem instrument sensor gas hidrogen dapat disajikan dengan grafik antara tegangan keluaran (volt) terhadap konsentrasi gas hidrogen (ppm). Grafik hubungan antara tegangan keluaran sensor (volt) terhadap kadar konsentrasi hidrogen (ppm) disajikan pada gambar 2.3



Gambar 2.2 Grafik Karakteristik Sensor Gas MQ-8 [6]

Dari Gambar 2.2 yang merupakan grafik hasil dari karakteristik sistem instrument gas hidrogen mempunyai persamaan karakteristik $y = 0,0004x + 3,227$. Secara statik dapat diketahui bahwa sistem ini mempunyai zero offset pada sensor sebesar 3,227 Volt. Sensitivitas alat yang dirancang dilakukan dengan melihat perbandingan perubahan tegangan yang dihasilkan sensor terhadap perubahan konsentrasi gas hidrogen didalam tabung percobaan, sehingga hasil dari analisis regresi linier diperoleh bahwa sensitivitas sensor sebesar 0,0004 Volt/ppm [7].

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini ialah Arduino Uno. Arduino uno memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Namun pin input yang dipakai pada penelitian ini hanya pin input analog. Untuk resolusi ADC pada board Arduino Uno ialah 10 bit, yang berarti mampu memetakan hingga 1024 discrete analog level.

3. Metodologi

3.1 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini ialah dengan pendekatan pengembangan dan penelitian. Tahapan selanjutnya masih mengacu pada penelitian sebelumnya sehingga menemukan produk baru. Akan tetapi, penulis menggunakan literatur lain guna mencari referensi tambahan untuk melakukan penelitian. Pada penelitian sebelumnya telah dibuat suatu sistem alat ukur gas hidrogen (gas analyzer) menggunakan sistem minimum mikrokontroler ATMega 16 dengan catudaya 12 VDC dan arus sebesar 2.1 Ampere. Alat tersebut dapat mendeteksi hidrogen dengan proses kalibrasi perbandingan pada alat Chromatograph dengan menggunakan Reaktor TPAD. Yang dibutuhkan pada alat tersebut ialah proses kalibrasi yang dapat mengukur gas hidrogen seutuhnya sehingga diharapkan tidak ada gas hidrogen yang menguap selama proses kalibrasi. Seperti yang telah dijelaskan pada latar belakang penelitian ini adalah pengembangan yaitu dengan diaplikasikannya alat tersebut pada sistem Reaktor TPAD khususnya Reaktor ABR sebagai modelnya. Untuk bisa mengukur gas hidrogen dengan tingkat ketelitian tinggi maka dibutuhkan sistem minimum untuk memproses data keluaran gas hidrogen dengan menggunakan mikrokontroler ATMega 16.

3.2 Karakterisasi Alat Ukur

Karakterisasi alat ukur penelitian ini menggunakan datasheet dari sensor gas MQ-8. Sensor gas MQ-8 terdiri dari hambatan R_s dan R_L . Kedua hambatan tersebut berguna untuk mencari tegangan output dari sensor MQ-8. Berdasarkan grafik yang disediakan dalam datasheet MQ-8, R_s di udara bersih di bawah suhu dan kelembaban yang diberikan adalah konstan, yang merupakan resistansi dari sensor bernama R_o . R_s adalah hambatan pada sensor yang akan selalu berubah terhadap variasi konsentrasi gas, sedangkan R_o adalah nilai R_s pada kondisi udara bersih atau dengan kata lain tanpa hidrogen. Hal utama kalibrasi pada MQ-8 ini adalah menghitung R_o dengan mengambil sampel dan mengukur rata-rata bacaan saat modul diletakkan di udara bersih.

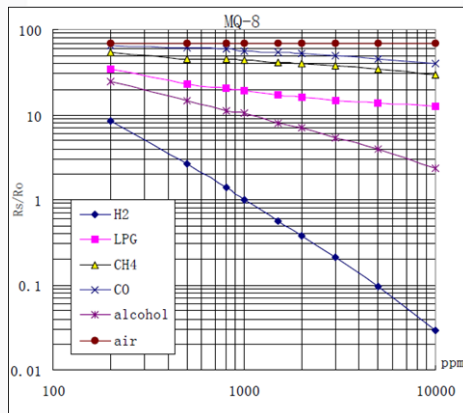
$$R_o = R_s / (\text{Clean air factor}) \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan,

R_o = Nilai R Sensor ketika sensor diukur pada udara bersih (tanpa hidrogen)

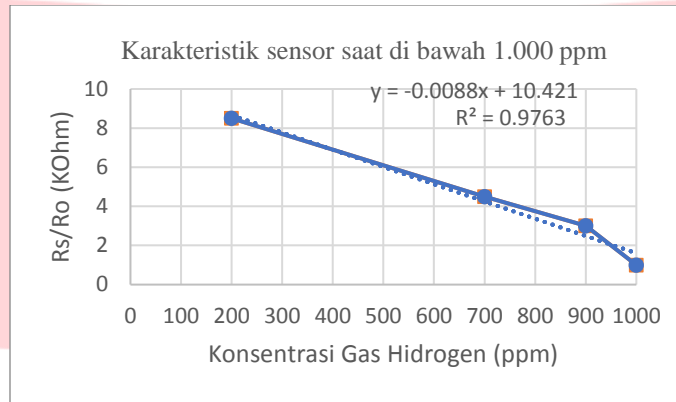
Clean air factor = factor yang mempengaruhi resistansi karna kondisi kelembapan dan temperature sebesar 9.21 (dari datasheet).

Setelah rumus R_o didapat pada persamaan 3.1, konsentrasi gas target dapat dihitung dengan menggunakan rasio R_s / R_o sebagai input. Untuk mencapai lebih akurat, tabel pencarian tersegmentasi harus digunakan. Namun, rumus linier digunakan sebagai perkiraan terhadap kurva asli. Pada datasheet sensor gas MQ-8 terdapat grafik perbandingan R_s/R_o terhadap konsentrasi gas hidrogen.



Gambar 3.1 Grafik konsentrasi MQ-8 terhadap R_s/R_o

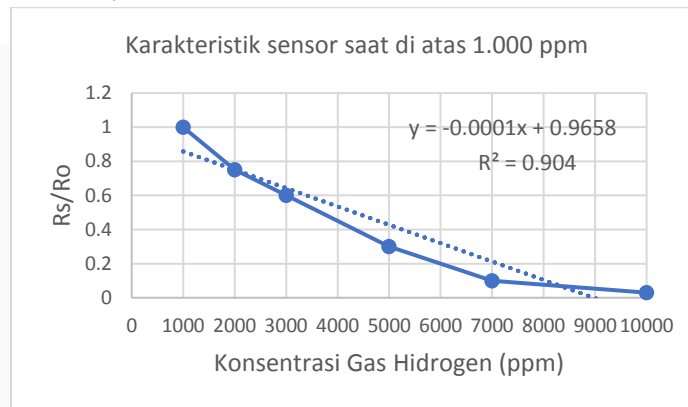
Untuk dapat mengetahui karakteristik dari sensor gas MQ-8 kita harus mengetahui batas atas dan batas bawah sebuah sensor. Dari Gambar 3.8 batas bawah sensor ialah sebesar 8,5 kOhm pada konsentrasi 200ppm dan batas atas sensor 0,03 kOhm pada konsentrasi 10000ppm dan ada beberapa titik lainnya guna membuat regresi linier lebih akurat. Data tersebut bisa digunakan sebagai data karakterisasi guna mendapatkan hubungan antara perbandingan R_s/R_o dengan konsentrasi gas hidrogen dalam bentuk ppm seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.2 Grafik Karakteristik sensor Konsentrasi Gas saat di bawah 1.000 ppm

Pada Gambar 3.2 diatas dijelaskan data antara hubungan perbandingan Rs/Ro pada sensor gas MQ-8 dengan konsentrasi gas hidrogen saat di bawah 1.000 ppm sehingga didapatkan suatu persamaan 3.7. Dari persamaan tersebut dapat dilakukan proses inialisasi guna mendapatkan keluaran berupa konsentrasi gas hidrogen dari alat ukur yang dibuat menggunakan persamaan yang telah didapat dari karakterisasi nilai perbandingan Rs/Ro pada sensor gas MQ-8 dengan nilai konsentrasi gas hidrogen.

$$y = -0,0088x + 10,421 \dots\dots\dots(3.2)$$



Gambar 3.3 Grafik Karakteristik Sensor pada saat Konsentrasi Gas di atas 1.000 ppm

Pada Gambar 3.3 diatas dijelaskan data antara hubungan perbandingan Rs/Ro pada sensor gas MQ-8 dengan konsentrasi gas hidrogen saat di atas 1.000 ppm sehingga didapatkan suatu persamaan 3.8. Dari persamaan tersebut dapat dilakukan proses inialisasi guna mendapatkan keluaran berupa konsentrasi gas hidrogen dari alat ukur yang dibuat menggunakan persamaan yang telah didapat dari karakterisasi nilai perbandingan Rs/Ro pada sensor gas MQ-8 dengan nilai konsentrasi gas hidrogen.

$$y = -0,0001x + 0,9658 \dots\dots\dots(3.3)$$

4. Pengolahan Analisis Data

4.1 Kalibrasi Alat Ukur

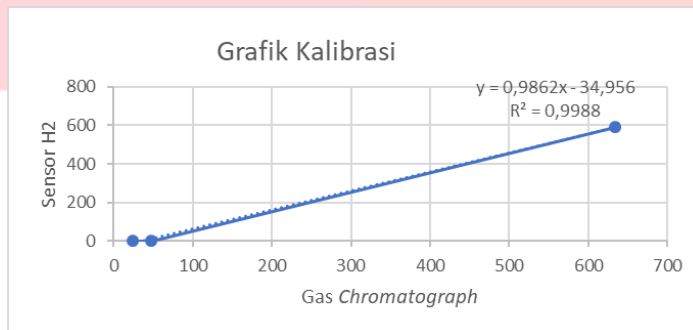
Kalibrasi bertujuan untuk mengetahui nilai error pada instrument alat ukur konsentrasi gas hidrogen setelah melakukan karakterisasi dengan melihat datasheet dari sensor tersebut. Ketika alat ukur konsentrasi gas hidrogen sudah dilakukan karakterisasi maka langkah selanjutnya ialah kalibrasi. Berikut ialah data pengujian alat ukur konsentrasi gas hidrogen yang dibandingkan dengan kalibrator gas chromatograph.

Hari ke-	Kalibrator (ppm)	Sensor H2(ppm)				
		1	2	3	4	5
1	590,4718	694,557222	639,2278	630,6361	612,8056	591,2781
2	45,176	52,0102778	49,38861	47,69972	44,92194	44,21867

3	10,876	19,9330556	21,49917	23,98194	26,19167	26,9975
---	--------	------------	----------	----------	----------	---------

Tabel 4.1 Data Kalibrasi

Pada Tabel 4.1, Pengujian ini dibuat dalam tiga tahap yaitu hari ke 1, ke 2, dan ke 3 selama 5 hari rentang waktu biogas tanpa pengkondisian pH. Diukur setiap jam selama lima jam total waktu pengukuran konsentrasi gas hidrogen. Alat ukur konsentrasi gas hidrogen menggunakan satuan PPM (part per million) sedangkan kalibrator menggunakan satuan persentase (%). Dari data kalibrasi diatas dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi alat ukur berupa PPM dan konsentrasi kalibrator berupa persentase.



Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi Sensor H2 terhadap Gas Chromatograph

Pada Gambar 4.1 Kalibrasi alat ukur konsentrasi gas hidrogen menggunakan kalibrator gas chromatograph GC 8A yang menghasilkan data kalibrasi sehingga alat ukur konsentrasi gas hidrogen yang terdapat pada reaktor dapat digunakan dalam penelitian ini.

4.2 Error Alat Ukur

Error alat ukur bisa diketahui ketika kita sudah melakukan tahap kalibrasi. Karakteristik error guna menentukan seberapa dekat nilai konsentrasi gas hidrogen alat ukur yang dibuat dengan nilai konsentrasi gas hidrogen dari kalibrator dalam bentuk persentase. Dari data kalibrasi yang sudah didapatkan, menghasilkan nilai simpangan baku dan error sebagai berikut.

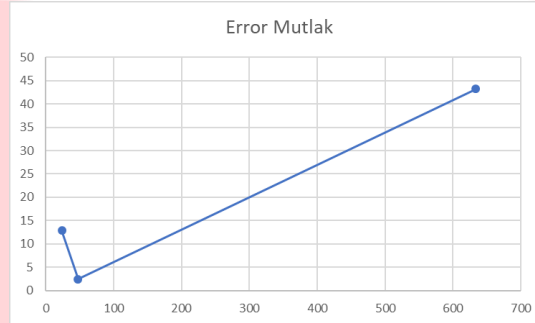
ΣXi	$\Sigma (Xi^2)$	$(\Sigma Xi)^2$	S	ΔX	Kesalahan	
					Absolut	Relatif
3168,504799	2013864,271	10039422,7	38,937	43,22916	43,22916	0,073211
238,2392274	11392,83944	56757,9295	6,06	2,471845	2,471845	0,054716
118,6033333	2849,54294	14066,7507	3,008	12,84467	12,84467	0,18101

Tabel 4.2 Data Error Alat Ukur

Dari Tabel 4.2 diatas nilai simpangan baku alat ukur dihari pertama sebesar 38,937, dihari kedua nilai simpangan baku alat ukur sebesar 6,06, dan di hari ketiga nilai simpangan baku alat ukur sebesar 3,008.

4.3.1 Error Mutlak

Error mutlak alat ukur konsentrasi gas hidrogen didapatkan dari perhitungan berdasarkan data kalibrasi. Adapun grafik error mutlak yang didapatkan dari hasil pengukuran sebagai berikut.

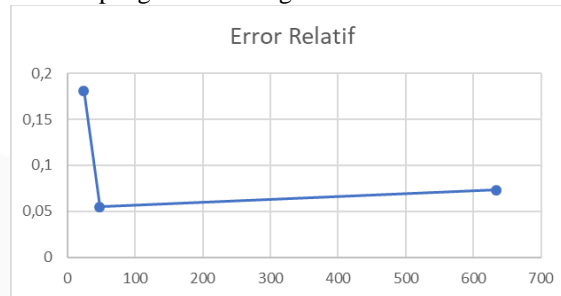


Gambar 4.3 Grafik Error Mutlak

Pada Gambar 4.3 Terlihat kesalahan mutlak terkecil adalah 23,72067 pada hari ketiga dan kesalahan mutlak terbesar adalah 47,64785 pada hari kedua. Nilai kesalahan mutlak rata-rata adalah 38,19923. Ini berarti ketelitian instrumen $\pm 38,19923$ PPM.

4.3.2 Error Relatif

Error relatif alat ukur konsentrasi gas hidrogen didapatkan dari perhitungan berdasarkan data kalibrasi. Adapun grafik error mutlak yang didapatkan dari hasil pengukuran sebagai berikut.



Gambar 4.4 Grafik Error Relatif

Pada Gambar 4.4 Terlihat kesalahan relatif tertinggi adalah 0,073211 pada hari pertama sedangkan pada hari kedua dan ketiga tidak bisa dicari nilai kesalahan relatifnya dikarenakan tidak adanya nilai gas hidrogen pada kalibrator.

5 Simpulan

1. Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa gas hidrogen dapat dihasilkan dari proses biogas anaerobic digester, hal tersebut dapat diketahui dari alat ukur konsentrasi gas hidrogen yang dapat mengukur gas hidrogen keluaran di reaktor tersebut. Di hari pertama reaktor menghasilkan gas hidrogen sebesar 633,701 PPM, di hari kedua menghasilkan gas hidrogen sebesar 47,64785 PPM, dan di hari ketiga menghasilkan gas hidrogen sebesar 23,72067 PPM tanpa pengondisian pH.
2. Didapatkan nilai error mutlak alat ukur rata-rata sebesar 38,19923 PPM dan nilai error relative alat ukur terbesar sebesar 0,102979 pada hari pertama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rusdiyono, A. P. (2017). Pengukuran Konsentrasi Gas Metana dari Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Semi-Kontinyu dengan Substrat Susu Basi.
- [2] Silmi, F. R. (2017). Analisis Pengaruh Pengontrolan Tekanan Terhadap Produksi Gas Hidrogen pada Reaktor Temperature-Phased Anaerobik Digester (TPAD) Fase Asidogenesis
- [3] Krisdiana, E. (2015). Kontrol pH pada Reaktor TPAD (Temperature Phased Anaerobic Digester) Bagian Reaktor Hidrogen Termofilik.
- [4] Santi, B. M. (2014). Analisis Produksi Hidrogen Secara Fermentasi Anaerobik dengan Limbah Makanan Menggunakan Digester Anaerob.
- [5] Khanal, S. (2008). Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Manoa: Willey-Blackwell.
- [6] McDowall, P. E. (2012). A Review of Hydrogen Production Technologies for Energy System Models. London.
- [7] Muchtar, L. R. (2014). Perancangan Instrument untuk Deteksi Gas Hidrogen Berbasis Mikrokontroler ATMega16.
- [8] Farlianto, A. (2016). Analisis Eksergi Pada Proses Biogas Menggunakan ABR (Anaerobic Baffled Reactor) dengan Substrat Nasi Basi.