

Rancang Bangun Sistem Pengendalian Biogas Bertekanan pada *Biogas Storage Tank System* Hasil Purifikasi dengan Metode Water Scrubber System

Arief Abdurrahman¹, Anis Wahyumulyaning Tiyas²

^{1,2} Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

^{1,2}Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

E-mail : ariefabdurrahman@gmail.com¹, tiyas.360@gmail.com²

Abstrak

Biogas merupakan salah satu energi terbarukan yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Hal ini berdasar pada peningkatan jumlah reaktor biogas skala rumah tangga. Namun jumlah reaktor biogas yang ada masih belum memiliki sistem purifikasi biogas yang terintegrasi dengan *biogas storage tank system*. Penyimpanan hasil purifikasi biogas pada tabung diperlukan sebagai upaya untuk memperluas jangkauan penggunaan biogas di beberapa wilayah yang telah menggunakan reaktor biogas sebagai sumber energi alternatif. Pada *storage tank system* ini dibutuhkan sistem pengendalian dalam tabung penyimpanan agar mekanisme penyimpanan biogas dapat sesuai dengan kapasitas maksimum tabung yang digunakan. Sistem pengendalian tekanan ini menggunakan komponen sensor MPX5700AP dan mikrokontroler Arduino, LCD *display* untuk menampilkan pembacaan tekanan, serta solenoid *valve* sebagai aktuatornya. Prinsip kerja sistem pengendalian tekanan ini yaitu sensor digunakan untuk membaca perubahan nilai tekanan pada *biogas storage tank* A dan B untuk dikirim ke Arduino dan selanjutnya diolah datanya sesuai *set point* yang ditentukan. Pengisian biogas bertekanan dilakukan secara bergantian melalui metode *ON/OFF* Selenoid *Valve* 1,2,3 dan 4 pada masing-masing *biogas storage tank*. Pada pengujian yang telah dilakukan didapat hasil respon sistem kontrol tekanan terhadap waktu pada sensor *pressure* P₂ dan P₃ yaitu nilai *rise time* (*tr*) = 15 s, *settling time* (*ts*) = 12 s, sedangkan untuk sensor *pressure* P₃ didapat nilai *rise time* (*tr*) = 14 s, *settling time* (*ts*) = 12 s. Hasil pengujian karakteristik statik sensor adalah histerisis sebesar 0,00078 % dan *error* sebesar 0,90 %.

Kata Kunci: purifikasi, biogas, *storage system*, *water scrubber*, pengendalian

Abstract

Biogas is a renewable energy potential to be developed in Indonesia. It is based on the increase in the number of household-scale biogas reactor. But the number of biogas reactors currently installed is still not equipped with biogas purification system integrated with the biogas storage tank system. Storage of purified biogas on the tube is required to extend the range of the use of biogas in some areas that have been using biogas as an alternative energy source. Storage tank systems require control systems in a storage tube that could biogas storage mechanism accordance with the maximum capacity of the tube used. This system uses a sensor components MPX5700AP and Arduino microcontroller, LCD display to display pressure readings, and solenoid valve as an actuator. The working principle of this pressure control system that is used to read the sensor value changes of pressure in the biogas storage tank A and B to be sent to the Arduino and a subsequently processed data accordance specified set point. Charging conducted alternately pressurized biogas through a method *ON / OFF* Valve Selenoid 1,2,3 and 4 on each biogas storage tanks. At the testing that was done we got the result response of pressure control system against time on pressure sensors P₂ and P₃ value rise time (*tr*) = 15 s, settling time (*ts*) = 12 s, whereas for pressure sensors P₃ obtained values rise time (*tr*) = 14 s, settling time (*ts*) = 12 s. The test results are static characteristics sensor hysteresis error of 0.00078% and 0.90%.

Keywords : purification, biogas, storage system, water scrubber, control system

I. PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan energi terbarukan telah menjadi kebutuhan dan budaya baru bagi sebagian masyarakat Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kondisi semakin menipisnya ketersediaan energi fosil yang menurun setiap tahunnya. Berdasarkan kondisi tersebut, maka

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia merencanakan pada tahun 2025 peran energi terbarukan mencapai 25% dari total bauran energi primer. Namun, sampai pada tahun 2013, pemanfaatan biomassa masih sebesar 1.644 MW, dari total potensi sumber daya energi dari biomassa yang ada di Indonesia sebesar 49.810 MW [1]. Salah satu biomassa yang digunakan sebagai

energi terbarukan di Indonesia adalah biogas skala rumah tangga. Pemanfaatan biogas yang kurang optimal di Indonesia salah satunya disebabkan oleh masih banyaknya gas polutan yang terkandung di dalam produk biogas skala rumah tangga dan kurang luasnya area penggunaan biogas yang disebabkan belum optimalnya sistem penyimpanan biogas.

Biogas dihasilkan dari proses anaerobik dan terdiri dari unsur utama berupa metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dan beberapa unsur yang lain, seperti hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), hidrogen (H_2), nitrogen (N_2), karbon monoksida (CO), jenuh atau terhalogenasi karbohidrat, dan oksigen (O_2). Biogas merupakan suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen [2]. Komposisi biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik biasanya sekitar 60 - 70 % CH_4 , sekitar 30 - 40% CO_2 , kurang dari 1% N_2 , dan sekitar 10 - 2000 ppm H_2S [3]. Gas metana merupakan unsur primer dan menjadi parameter utama dalam menentukan kualitas sebuah produk biogas.

Saat ini telah ada beberapa metode untuk pemurnian biogas, seperti metode absorpsi, adsorpsi, cryogenic, membran, maupun teknologi mineralisasi karbon [4]. Metode absorpsi gas-liquid dengan metode *water scrubber system* pada umumnya menjadi prioritas utama dalam aplikasi pemurnian biogas karena bahan utamanya berupa air dapat relatif murah dan mudah didapatkan, serta ramah lingkungan [5]. Adapun beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat sistem purifikasi biogas menggunakan *water scrubber system* yang efektif, antara lain Lantella, 2011, telah melakukan purifikasi biogas dengan *flow speed* pada air sebesar 5,5 – 11 liter/menit, dan temperatur air sebesar 10 – 25 °C, telah mereduksi kandungan CO_2 dalam biogas sampai menjadi 4,5 – 8 %, dari kandungan awal sebesar 37,8 - 43,6 % [6].

Pada penelitian lain, Abdurrahman, 2014, juga menggunakan *water scrubber system* sebagai untuk mereduksi kadar CO_2 dan H_2S . Dalam penelitian tersebut digunakan 4 variasi temperatur air, antara lain 10 °C, 14 °C, 18 °C, dan temperatur air tanpa dilakukan pendinginan, yaitu sebesar 26 °C. Sedangkan variabel yang konstan adalah laju massa air sebagai *water scrubber* dan laju massa biogas yang masuk ke dalam kolom purifikasi. Hasil penelitiannya adalah nilai reduksi optimum terhadap H_2S berada pada temperatur air dalam *water scrubber* sebesar 10 °C dan 14 °C, yaitu sebesar 98,7 % Sedangkan untuk nilai reduksi optimum terhadap CO_2 berada pada temperatur air dalam *water scrubber* sebesar 10 °C dengan nilai prosentase reduksi sebesar 4,84 % [7].

Pada beberapa sistem purifikasi biogas menggunakan *water scrubber system* yang telah dilakukan tersebut belum dilengkapi dengan sistem pengendalian tekanan untuk proses penyimpanan pada tabung. Sehingga pada penelitian ini dirancang sistem pengendalian pada *storage tank system* yang bertujuan agar biogas dapat disimpan dalam tabung dan selanjutnya diharapkan dapat didistribusikan secara luas pada beberapa area penggunaan biogas.

Sistem pengendalian tekanan ini menggunakan komponen sensor MPX5700AP dan mikrokontroler

Arduino, LCD display untuk menampilkan pembacaan tekanan, serta solenoid *valve* sebagai aktuatornya. Prinsip kerja sistem pengendalian *pressure* ini yaitu sensor digunakan untuk membaca perubahan nilai tekanan pada biogas storage tank A dan B untuk dikirim ke Arduino dan selanjutnya diolah datanya sesuai set poin yang ditentukan. Pengisian biogas bertekanan dilakukan secara bergantian melalui metode *ON/OFF Solenoid Valve* 1,2,3 dan 4 pada masing-masing biogas storage tank. Selanjutnya sistem ini akan diuji karakteristik statik sensor, dihitung ketidakpastian (*uncertainty*) pada sistem, dan hasil uji respon sistem pengendalian yang telah dibuat.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Metode Purifikasi Biogas Menggunakan *Water Scrubber System*

Biogas akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam atau LNG apabila biogas dibersihkan dari pengotor secara optimal. Komponen pengotor dalam biogas berupa H_2S dan CO_2 harus dihilangkan untuk mencapai kualitas gas yang lebih baik. Secara teknis pemakaian biogas yang belum mengalami pemurnian biasanya dicampur dengan gas alam untuk meningkatkan pembakaran [8]. Banyak proses yang tersedia untuk memperbanyak komposisi gas metana dalam biogas dengan cara menghilangkan komponen pengotor berupa CO_2 dan H_2S . Proses-proses tersebut telah banyak dikembangkan untuk penggunaan gas alam, industri perminyakan dan petrokimia. Namun sebagian besar dari proses-proses tersebut tidak cocok diterapkan dalam aplikasi biogas kecuali lajur alir yang digunakan cukup tinggi. Terutama untuk penghilangan CO_2 dan H_2S . Menurut Vijay dkk., 2006, klasifikasi proses-proses tersebut antara lain : absorpsi ke dalam cairan (fisika / kimia), adsorpsi melalui permukaan padatan, pemisahan melalui membran, pemisahan kriogenik. perubahan kimia menjadi senyawa lain. Pada penelitian ini digunakan proses absorpsi dengan metode *water scrubber system* (jenis *wet scrubber*) [9].

Efisiensi pengumpulan partikel pada *Wet Scrubber* lebih baik dibandingkan *Dry Scrubber*, karena *Wet Scrubber* mampu menangkap partikel dengan ukuran yang lebih kecil serta mampu mengikat emisi dalam bentuk gas. Pada *Wet Scrubber* prinsip kerjanya adalah dengan mengalirkan fluida cair pada aliran gas, sehingga gas yang mengalir akan difiltrasi oleh fluida cair tersebut. Beberapa cara yang ada pada *Wet Scrubber* untuk sistem distribusi fluida cair diantaranya adalah dengan proses *atomizing*, proses ini mengatomisasi fluida cair menjadi partikel-partikel yang didistribusikan dalam jumlah banyak sehingga sistem filtrasi terjadi secara merata.

2.2. Sistem Pengendalian

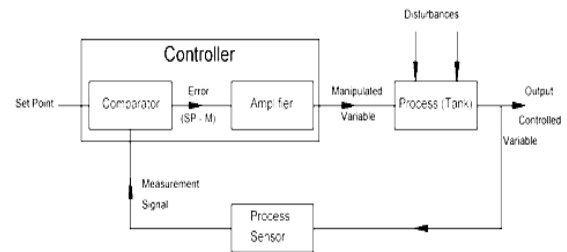
Pengontrolan dalam instrumentasi industri diartikan sebagai upaya untuk mengkondisikan suatu zat atau besaran agar sesuai dengan yang diinginkan. Secara sederhana terdapat dua teknik pengontrolan, yaitu : (a) Pengontrolan manual, dimana sistem pengontrolan dijalankan langsung oleh operator sehingga sistem ini sangat tergantung pada operatornya. (b) Pengontrolan

otomatis, dimana setiap elemen pengontrolan bekerja dengan sendirinya untuk menjaga kestabilan dari kondisi besaran proses agar sesuai dengan kondisi yang dikehendaki. Dalam ilmu pengontrolan proses dikenal empat tahapan kegiatan yang merupakan dasar dari sistem pengontrolan proses itu sendiri. Empat tahapan dasar itu lebih dikenal sebagai *four basic function*, yaitu *Measurement, Comparison, Judgement, dan Correction*.

Tahapan kegiatan pertama adalah pengukuran (*Measurement*). Pada pengontrolan manual kegiatan ini dikerjakan oleh operator dengan mengamati kondisi besaran proses. Pada pengontrolan otomatis dikerjakan oleh alat ukur yang terangkum dalam sistem pengukuran. Kegiatan kedua adalah perbandingan (*Comparison*) adalah kegiatan membandingkan harga besaran yang terukur dengan harga besaran yang dikehendaki (*desired value/set point*). Tahapan kegiatan ketiga adalah perhitungan (*Judgement*), adalah kegiatan mengkalkulasi perbandingan antara harga yang diinginkan dengan harga besaran yang terukur. Kegiatan perbandingan dan perhitungan pada pengontrolan manual dikerjakan di dalam otak operator, sedang pada pengontrolan otomatis dikerjakan oleh kontroler. Tahapan kegiatan keempat adalah koreksi (*Correction*), adalah aksi untuk mengontrol besaran proses agar tetap sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

Adapun Suatu sistem pengontrolan otomatis loop tertutup yang menggunakan strategi umpan balik secara umum terdiri dari elemen-elemen dasar seperti yang diungkapkan oleh Nise pada tahun 2004 sebagai berikut: (a) Proses, yaitu gabungan peristiwa yang terjadi di dalam dan oleh peralatan dimana suatu besaran di kontrol. Besaran atau keadaan yang harus di kontrol disebut variable terkontrol (*Controlled Variable*), misalnya tekanan, temperatur, tinggi permukaan, aliran, derajat keasaman, dan lain-lain. Besaran atau keadaan yang dipengaruhi oleh kontroler dan mempengaruhi variable terkontrol disebut variabel termanipulasi (*Manipulated Variable*)[10].

Selanjutnya adalah (b) Alat ukur atau biasa disebut transmitter, yaitu instrumen untuk mendeteksi kondisi besaran proses yang dikontrol dan memberikan informasi tentang besaran yang dikontrol berupa sinyal yang bisa diamati dan dimengerti oleh kontroler. (c) Kontroler, yaitu alat yang menghasilkan sinyal pengontrolan sebagai fungsi dari input sinyal kesalahan (*error*). Sinyal kesalahan adalah selisih dari harga yang diinginkan dengan sinyal hasil pengukuran dari transmitter. (d) Elemen akhir (*Final Control Element*), yaitu alat yang melakukan aksi pengontrolan berdasarkan perintah dari kontroler. Alat ini bisa berupa kontrol *valve*, damper, pompa motor dan lain-lain[10].



Gambar 1. Elemen proses kontrol

2.3. Karakteristik Statik Sistem Instrumentasi

Karakteristik statik instrumen merupakan karakter yang menggambarkan parameter dari sebuah instrumen pada saat keadaan *steady*. Karakteristik ini tidak bergantung pada waktu. Yang termasuk dalam karakteristik statik adalah : (a) Range, menyatakan jangkauan pengukuran sebuah alat ukur. Range input atau output sebuah elemen ditentukan dengan nilai minimum dan nilai maksimum dari input (I) atau output (O). Biasanya dituliskan Imin hingga Imax atau Omin hingga Omax; (b) Span, merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum, menyatakan lebar daerah pengukuran; (c) Sensitivitas, merupakan karakteristik yang menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas juga bisa diartikan sebagai perubahan output alat dibandingkan perubahan input dalam satu satuan. Sensitivitas diperoleh dari $\Delta O / \Delta I$, dimana O adalah output dan I adalah input. Persamaan sensitivitas adalah sebagai berikut :

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (2.1)$$

2.4. Ketidakpastian Pengukuran

Ketidakpastian pengukuran merupakan tingkat seberapa besar ketidakpastian yang dihasilkan oleh suatu alat ukur. Dalam menghitung ketidakpastian pengukuran ada beberapa langkah yang harus dihitung, antara lain:

(a) Standard deviasi

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (D_i - D_i')^2}}{n-1} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- D_i = koreksi alat ukur
- D_i' = rata-rata koreksi
- n = Banyak range pengukuran

(b) Analisa Type A (U_a)

Pada analisa tipe A ini hasilnya diperoleh dari data pengukuran. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$U_{a1} = \frac{\sigma_{maks}}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- σ = Standart deviasi koreksi
- n = Jumlah data

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

SSR (*Sum Square Residual*) = $\sum SR$ (*Square Residual*)

SR = R^2 (*Residu*)

$$Y_i (\text{Nilai koreksi}) = t_i - x_i \quad (2.5)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (2.6)$$

$$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i) \quad (2.7)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (2.8)$$

Keterangan :

t_i = Pembacaan standar

x_i = Pembacaan alat

y_i = Nilai koreksi

(c) Analisa Type B (U_b)

Analisa tipe B ini diperoleh berdasarkan sertifikat kalibrasi atau spesifikasi dari alat ukur. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$U_{b1} = \frac{\text{Resolusi}/2}{\sqrt{3}} \quad (2.9)$$

$$U_{b2} = \frac{a}{k} \quad (2.10)$$

(d) Ketidakpastian Kombinasi (U_c)

U_c merupakan ketidakpastian kombinasi dari ketidakpastian tipe A dan ketidakpastian tipe B. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$U_c = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{a2}^2 + U_{b1}^2 + U_{b2}^2} \quad (2.11)$$

Keterangan :

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

U_{a1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

U_{a2} = Nilai ketidakpastian regresi

U_{b1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{b2} = Nilai ketidakpastian kalibrator

(e) V efektif

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \quad (2.12)$$

Keterangan :

V_{eff} = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

v_i = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke-i

U_i = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

Setelah ditentukan nilai derajat kebebasan efektif, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan, dimana faktor cakupan (k) didapat dari tabel *T-students*.

(f) Ketidakpastian Diperluas

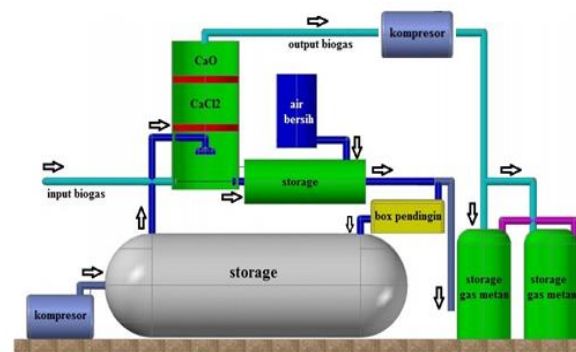
Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan adalah tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran. Persamaan U_{expand} adalah:

$$U_{expand} = k \cdot U_c \quad (2.13)$$

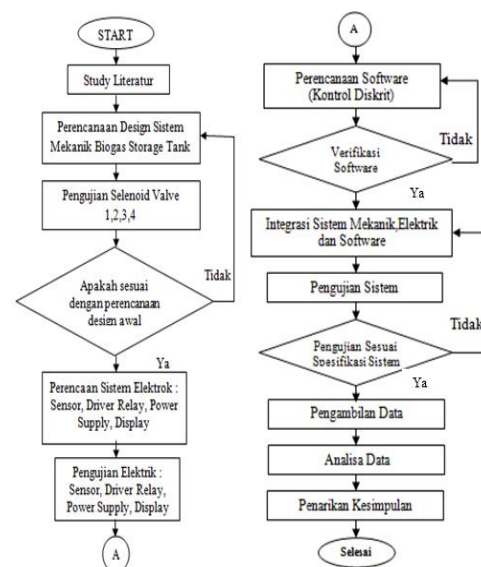
Untuk mencari nilai k , maka melihat table *T student* sesuai dengan *confidence level* 95%.

III. METODE

Sistem pengendalian tekanan yang dirancang ini telah diintegrasikan dengan sistem purifikasi biogas yang menggunakan *water scrubber system* seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Sistem Purifikasi Biogas Terintegrasi

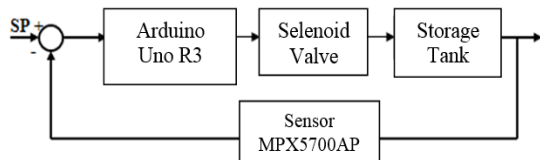


Gambar 3. Flowchart Sistem Pengendalian Tekanan

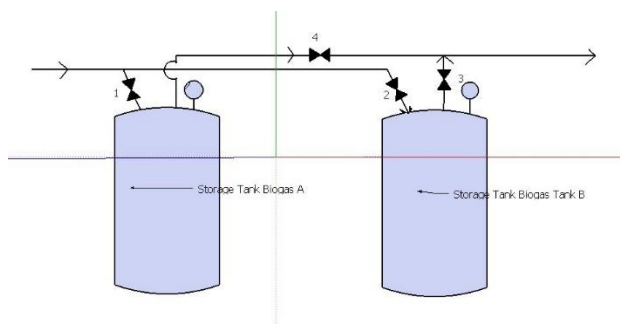
Adapun konsep dasar pada perencanaan dan pembuatan sistem pengendalian tekanan pada hasil purifikasi biogas dilakukan dengan tahap-tahap seperti flowchart pada gambar 3.

Perancangan sistem pengendalian tekanan pada tangki penampung biogas menggunakan input berupa

nilai tekanan udara di dalam tangki yang kemudian data tersebut akan dimasukkan kedalam *controller*. *Controller* yang digunakan Arduino Uno R3. *Controller* mengirimkan sinyal pada *actuator* yang berupa solenoid valve dan selanjutnya digunakan untuk mengalirkan biogas bertekanan dari kompresor ke *biogas storage tank*. Dalam sistem pengendalian ini menggunakan sensor tekanan MPX5700AP yang berfungsi untuk mengetahui nilai tekanan dalam tangki. Proses ini dapat dilihat dalam diagram blok pada gambar 4 :



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Pengendalian Tekanan



Gambar 5. Biogas Storage Tank

Biogas hasil purifikasi yang mengalir kedalam biogas *storage tank* tekanannya akan dideteksi oleh sensor tekanan, selanjutnya sensor tekanan akan mengirimkan sinyal dari V_{out} sensor ke mikrokontroler dan diolah kembali oleh mikrokontroler. Selanjutnya mikrokontroler akan mengirimkan data dan menampilkannya ke LCD. Untuk menyalakan atau mematikan solenoid valve disini digunakan *set point* sebesar 25 psi untuk menyalakan solenoid, kemudian solenoid valve akan mati ketika tekanan sebesar 0 psi. Proses pengisian *biogas storage tank* dilakukan secara bergantian yaitu pada *biogas storage tank* A dan B. Jika *biogas storage tank* A penuh, maka proses pengisian bergantian pada *biogas storage tank* B, dan terus melakukan proses *looping* sampai pada proses selanjutnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Pengujian Sistem Local Control Unit

Pada pengujian sistem *Local Control Unit* (LCU) *pressure* ini dilakukan dengan cara memberikan sinyal *input* yang berupa *Prosses Variable* (PV). Selanjutnya menentukan nilai *set point* sebesar 25 Psi, kemudian *biogas storage tank* akan diisi gas metan dari kompresor hingga *pressure* dalam *storage tank* A mencapai 25 Psi setelah sensor mengukur sampai *setpoint* selanjutnya maka solenoid valve 1 dan 4 akan menutup dan solenoid valve 2 dan 3 akan membuka sehingga pengisian akan

berlanjut pada *storage tank biogas B* sampai 25 Psi. Ini menunjukkan tekanan dalam tabung akan sesuai dengan *set point*. Dan apabila tekanan sama dengan 25 Psi maka *solenoid valve* akan membuka lagi dan begitu seterusnya.

Tabel 1. Data Pengujian Uji Input dan Output Biogas Storage Tank A

No.	Tekanan (Psi)	Tampilan LCD (Psi)	V out (Volt)	Aktuator (Solenoid Valve)			
				1	2	3	4
1	0	0	0.84	ON	OFF	OFF	ON
2	5	6	1.11	ON	OFF	OFF	ON
3	10	10	1.27	ON	OFF	OFF	ON
4	15	15	1.47	ON	OFF	OFF	ON
5	20	21	1.69	ON	OFF	OFF	ON
6	25	25	1.9	OFF	ON	ON	OFF

Tabel 2. Data Pengujian Uji Input dan Output Biogas Storage Tank B

No.	Tekanan (Psi)	Tampilan LCD (Psi)	V out (Volt)	Aktuator (Solenoid Valve)			
				1	2	3	4
1	0	0	0.84	OFF	ON	OFF	OFF
2	5	5	1.11	OFF	ON	OFF	OFF
3	10	10	1.27	OFF	ON	OFF	OFF
4	15	15	1.47	OFF	ON	OFF	OFF
5	20	20	1.69	OFF	ON	OFF	OFF
6	25	25	1.9	ON	OFF	ON	ON

Tabel 1 dan tabel 2 merupakan uji input dan output *Storage Tank Biogas* A dan B dengan nilai *setpoint* tekanan mencapai 25 Psi. Kondisi yang diinginkan yaitu saat pengisian dimulai (0 Psi) pada *Biogas Storage Tank* A maka Solenoid Valve 1 dan 4 dalam keadaan aktif atau membuka sampai tekanan mencapai 25 psi. Setelah tekanan mencapai 25 psi pada *Biogas Storage Tank* A maka Solenoid Valve 1 akan menutup atau mati sedangkan Solenoid Valve 2 dan 3 akan aktif atau membuka untuk pengisian *Biogas Storage Tank* B.

4.2. Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Statik Sensor

Karakteristik statik adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila sensor digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah pada waktu yang relatif lambat sehingga dapat diabaikan perubahannya. Sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sensor MPX5700AP antara lain :

- a. Sensitivitas

$$\frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{36}{35} = 1.028571$$

- b. Akurasi

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| = 1 - \left| \frac{17.5 - 18.125}{17.5} \right| = -0.04285714$$

Keterangan :

Y_n = Rata-rata pembacaan standar (I)

X_n = Rata-rata pembacaan alat (O)

c. Error

$$e = 1 + 0.04285714 = 1.04285714$$

d. Histerisis

$$\hat{H} = \frac{O_{i\downarrow} - O_{i\uparrow}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{\hat{H}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{0.027778}{36 - 0} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = 0.00078 \%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh nilai karakteristik statik dari sensor MPX5700AP antara lain :

- Range : 0 Psi – 25Psi
- Span : 25 Psi
- Resolusi : 1
- Histerisis : 0,00078%
- Akurasi : 0,093 Psi
- Error : 0,907

4.3. Analisis Ketidakpastian Pengukuran Sistem

Perhitungan ketidakpastian dalam pengukuran dibutuhkan untuk menganalisis kesesuaian nilai output pada sensor yang digunakan dibandingkan dengan alat ukur standar, yang biasa disebut sebagai kalibrator. Pada penelitian ini kalibrator yang digunakan adalah *Pressure Gauge* yang terkalibrasi. Hasil pengujian ini merupakan kalibrasi dari sensor tekanan MPX5700AP dengan range tekanan 0 - 35 psi.

(a) Standard Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

$$= 0.515301576$$

Keterangan :

y_i : Koreksi ke-i

n : Banyaknya data

Dari persamaan tersebut diketahui bahwa nilai dari standard deviasi sebesar 0.515301576

(b) Sehingga untuk menghitung nilai ketidakpastian pendekatan regresi (U_{a2}) dengan mengetahui persamaan regresi ($Y_{reg} = a + bx$) dan *sum square residual* (SSR), maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i \cdot y_i - \sum y_i \cdot \sum t_i}{(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2}$$

$$= \frac{10(-98.5) - (-4.3)(140)}{(3500) - (12250000)}$$

$$= -0.022142857$$

Keterangan :

x_i : Pembacaan standard ke-i

y_i : Koreksi ke-i

n : Banyak data

$$a = Y' - bx'$$

$$= (-0.5375) - (-0.02487013)(17.5)$$

$$= -0.15$$

Keterangan :

Y' : Rata-rata koreksi

X' : Rata-rata pembacaan standard

(c) SSR (*Sum Square Residual*)

$$SSR = \sum (y_i - Y_{reg})^2$$

$$= 1.343928571$$

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.515301576}{\sqrt{8}} = 0.182186619$$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} = \sqrt{\frac{1.343928571}{6}} = 0.473273806$$

(d) Ketidakpastian Tipe B

$$U_{b1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} = 0.288675135$$

$$U_{b2} = \frac{a}{k} = -0.066312997$$

(e) V_{eff} (Derajat Kebebasan Efektif)

$$V_{eff} = \frac{Uc^4}{\frac{U_{a1}^4}{V_1} + \frac{U_{a2}^4}{V_2} + \frac{U_{b1}^4}{V_3} + \frac{U_{b2}^4}{V_4}}$$

$$= 9$$

(f) Faktor Cakupan (k)

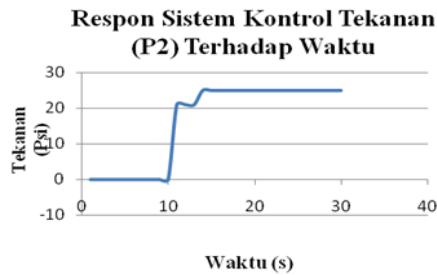
$$V_{eff} = 9 \rightarrow k = 2.262 \text{ (dari tabel T-Student)}$$

(g) Ketidakpastian Diperluas (U_{exp})

$$U_{exp} = k \cdot U_c = 2.262 \times 0.511446452 = 1.156891874$$

4.4. Analisis Uji Respon Sistem Pengendalian

Pada analisis ini dihitung rata-rata kenaikan tekanan yang dihasilkan berdasarkan waktu. Data yang diambil berdasarkan waktu pembacaan kontroler pada *serial monitor* di *software Arduino* pada setiap *set point* 25 Psi. Berikut merupakan grafik pengambilan data dan rata-rata kenaikan berdasarkan waktu pada sensor *Pressure P₂* dan *P₃*.



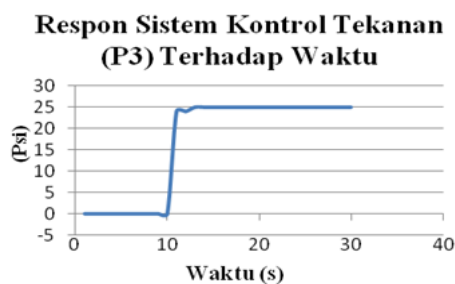
Gambar 6. Grafik Respon Sistem Kontrol Tekanan P2 terhadap Waktu

Range kenaikan tekanan = 0 – 25 Psi

Span kenaikan tekanan = 25 Psi

Dari grafik diatas dapat diketahui :

1. Rise Time (t_r) = 15 s.
2. Settling Time (t_s) = untuk mencapai set point membutuhkan waktu 10 – 12 s.



Gambar 7. Grafik Respon Sistem Kontrol Tekanan P3 terhadap Waktu

Range kenaikan tekanan = 0 – 25 Psi

Span kenaikan tekanan = 25 Psi

Dari grafik diatas dapat diketahui :

1. Rise Time (t_r) = 14 s.
2. Settling Time (t_s) = 8 – 12 s

Pengujian pada rangkaian sensor adalah mengukur tegangan keluaran dari rangkaian yang masuk pada pin *Analog in A0* yang sudah tersedia di dalam rangkaian rangkaian Mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan *respon time* 0.005 s.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain : (a) Telah dibuat sistem pengendalian *pressure biogas storage tank* pada *purification gas system* dengan MPX5700AP sebagai sensor, Arduino Uno R3 sebagai Mikrokontroler dan Selenoid Valve sebagai Aktuator; (b) Pada pengendalian ini dapat diketahui *range* 0 – 25 psi pada *biogas storage tank* dan nilai *set point* 25 psi akan menutup bukaan solenoid valve 1 dan 4 dan pada solenoid valve 2 dan 3 akan membuka (*redundant*); (c) Dari data respon sistem kontrol Tekanan pada sensor *pressure P₂* didapat nilai *rise time* (t_r) = 15 s, *settling time* (t_s) = 10-12

s. Sedangkan untuk sensor *pressure P₃* didapat nilai *rise time* (t_r) = 14 s, *settling time* (t_s) = 8-12 s.

5.2 Saran

Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam kelanjutan penelitian pada *biogas storage tank system* ini antara lain : (a) Sistem ini dapat disempurnakan dengan menambahkan *Safety Instrumented System* (SIS) agar plant lebih terproteksi keamanannya karena plant ini merupakan plant penghasil tekanan; (b) Analisis kekuatan material dan pengaruh jenis material tabung perlu dikaji lebih komprehensif.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM, "Indonesia Energy Outlook 2013", Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian ESDM. Jakarta, 2013.
- [2] Prihandana R., Hendroko, dan M. Nuramin, "Menghasilkan Biodiesel Murah", PT. Agromedia Pustaka. Jakarta, Indonesia, 2008.
- [3] Osorio, F. & Torres, J.C., "Biogas Purification From Anaerobic Digestion In A Waste Water Treatment Plant for Biofuel Production", *Renewable Energy*, 34, 2164-2171, 2009.
- [4] Beil M, Beyrich W, "Biogas upgrading to biomethane", *The Biogas Handbook*. Woodhead Publishing, p. 342-77, 2013.
- [5] Budzianowski, W., M., et al, "Power requirements of biogas upgrading by water scrubbing and biomethane compression : comparative analysis of various plant configurations", *Elsevier Energy Conversion and Management*, 2016.
- [6] Lantella, J., et al., "Landfill Gas Upgrading with Pilot Scale Water Scrubber : Performance Assessment with Absorption Water Recycling", *Applied Energy Journal*. Elsevier Publisher, 2011.
- [7] Abdurrahman, A., Soehartanto, T., "Analisis Karakterisasi Water Scrubber pada Alat Purifikasi Biogas Tipe Kombinasi Spray Tower dan Tray Tower", *Seminar Nasional Teknologi Terapan*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [8] Kusrijadi, A., Triyono, B., dan Riswanda, "Proses Brazing Cu-Aq Berbahan Bakar Biogas Termurnikan", *Jurnal Pengajaran MIPA*. 14, (2), 105-120, 2009.
- [9] Vijay, V. K., Chandra, R., Subbarao, P. M.V. and Kapdi, S.S, "Biogas purification and bottling into CNG cylinders: Producing Bio-CNG from biomass for rural automotive applications", *The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)"* 21-23 November 2006, Bangkok, Thailand, 2006.
- [10] Nise, Norman S., "Control System Engineering 4th Edition", John Wiley & Sons Publisher, United State of America, 2004.