

Kontrol Pengaduk Fermentasi Anaerobik Sampah Organik Untuk Produksi Biogas Skala Rumah Tangga

Nicky Andre Prabatama, Fathoni, Tarmukan

Abstrak — Biogas merupakan gas hasil dari aktifitas fermentasi bahan organik seperti kotoran hewan, dan limbah rumah tangga. Sampah rumah tangga khususnya sampah sayuran dan sisa makanan dapat digunakan sebagai bahan fermentasi dengan ditambahkan bakteri starter. Perlakuan pengadukan dengan kecepatan yang tidak terkontrol dan tidak teramati oleh sensor menghasilkan produksi biogas yang kurang optimal pada reaktor. Pada Penelitian ini pencampuran dilakukan dengan cara mengaduk bahan fermentasi dengan kecepatan yang terkontrol dan teramati secara sistematis akan didapatkan hasil produksi biogas yang optimal. Sistem ini memiliki prinsip kerja memberikan nilai setpoint pada keypad dan nilai tersebut akan tampil pada LCD. Setelah input *setpoint* kecepatan ditentukan, maka mikrokontroler yang telah ditanamkan kontrol PID mengendalikan aktuator yaitu Motor DC Wiper 12V. Motor DC Wiper 12V tersebut berfungsi untuk mengaduk bahan fermentasi didalam biodigester. Ketika pengadukan berlangsung sensor kecepatan, sensor suhu, dan sensor PH akan mendeteksi berapa suhu dan pH bahan fermentasi serta kecepatan pengaduk yang kemudian mengirimkan data menuju mikrokontroler untuk ditampilkan secara real time di PC. Metode yang digunakan adalah metode kontrol PID. Dengan menggunakan nilai $K_p=4.2$, $K_i=1.5$, $K_d=0.53$ pada setpoint 50 rpm didapatkan respon dari kecepatan pengaduk dengan nilai *delay time* (td) sebesar 3s, *rise time* (tr) 6s, *settling time* (ts) 6s, *error setady state* 13,4% dan *maximum overshoot* sebesar 13,4%.

Kata kunci : Biogas, Motor DC, Kontrol PID

I. PENDAHULUAN

Kontrol Pengaduk pada proses fermentasi anaerobik sampah organik harus dikontrol karena menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi berlangsungnya proses produksi biogas. Daur ulang sampah organik (*biowaste*) masih tidak banyak yang menggunakan teknologi yang canggih, namun masih menggunakan cara tradisional atau dengan cara manual. Pencampuran dilakukan dengan cara mengaduk bahan fermentasi dengan kecepatan yang terkontrol dan teramati secara sistematis akan didapatkan hasil yang optimal, karena untuk membuat kontak antara mikroorganisme dan substrat dengan mencampur isi tangki pencernaan namun,

pencampuran berlebihan harus dihindari. Dari beberapa penelitian terdahulu telah dijelaskan bahwa pengadukan sangat dibutuhkan dalam proses fermentasi anaerobik sampah organik untuk produksi biogas yang lebih cepat, optimal, dan efisien. Namun pada penelitian terdahulu belum terdapat suatu penelitian yang menyebutkan berapa RPM dan Torsi motor yang dibutuhkan untuk mendapatkan proses produksi biogas yang lebih cepat, optimal, dan efisien.

Mengingat pentingnya kecepatan pengaduk dijaga pada kondisi yang stabil (konstan) maka di pada penelitian ini menggunakan metode PID untuk mengontrol kecepatan dalam proses pengadukan, dimana keuntungan menggunakan metode PID dapat lebih optimal pada saat proses steady state dan mudah dalam analisis. Metode tuning *Ziegler Nichols kedua* sangat membantu dalam pencarian parameter K_p , K_i , dan K_d untuk mendapatkan kecepatan yang stabil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah Organik

Sampah Organik adalah sampah yang masih dapat diuraikan kembali oleh suatu bakteri, secara umum pengertian dari limbah organik berasal dari berbagai macam sisa aktivitas manusia, tumbuhan, ataupun hewan. Sampah organik dapat didaur ulang menjadi berbagai macam hal seperti biogas dan pupuk cair.

2.2. Biogas

Biogas merupakan gas yang merupakan hasil dari aktifitas anaerobik dari bahan organik seperti : limbah rumah tangga seperti sayuran, serta kotoran manusia dan hewan. Seluruh jenis bahan organik bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas, namun hanya bahan organik homogen seperti kotoran dan urine hewan ternak (khususnya sapi) yang cocok diolah untuk sistem biogas sederhana.

2.3. Fermentasi Anaerobik

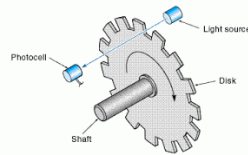
Proses dimana biogas terbentuk dapat dibagi menjadi sejumlah tahap. Tahap dekomposisi harus diselaraskan untuk memastikan bahwa proses secara keseluruhan berjalan lancar. Selama tahap pertama, yaitu tahap hidrolisis, senyawa kompleks bahan awal (seperti karbohidrat, protein dan lemak) dipecah menjadi senyawa organik sederhana (mis asam amino, gula dan asam lemak). Bakteri hidrolitik terlibat dalam tahap

Nicky andre Prabatama adalah mahasiswa D4 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang , email : nickyandreprabatama@gmail.com
Fathoni dan Tarmukan adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang

ini dan mengeluarkan enzim yang akan mendekomposisi materi dengan cara biokimia.

2.4. Sensor Kecepatan

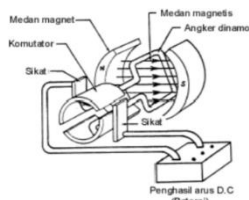
Sensor Kecepatan menggunakan sensor *rotary encoder* tipe U sebagai pengukur kecepatan putaran motor DC. Penempatan sensor ini sejajar dengan piringan berlubang yang dipasang pada motor dc dimana piringan akan berada diantara receiver dan transmitter dari sensor kecepatan. Setiap perubahan kecepatan motor DC juga akan mempengaruhi jumlah pulsa yang didapatkan.



Gambar 1. Sensor Kecepatan

2.5. Motor DC

Motor DC merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar).



Gambar 2. Motor DC Sederhana

2.6. Sensor pH

Derajat keasaman atau pH adalah konsentrasi ion hidrogen yang sangat kecil. pH meter adalah alat ukur yang dapat memberikan informasi mengenai derajat keasaman suatu larutan. Alat ukur ini menggunakan sebuah probe yang terbuat dari silinder kaca nonkonduktor yang berfungsi sebagai sensornya. Tipe sensor pH yang digunakan adalah tipe FT0348.



Gambar 3. Sensor pH

2.7. Sensor Suhu LM35

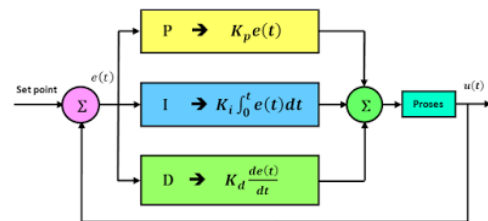
Sensor Suhu LM35 yang dipakai dalam penelitian ini berupa komponen elektronika elektronika yang diproduksi oleh National Semiconductor. LM35 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, LM35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan. Dengan tegangan keluaran yang terskala linear dengan suhu terukur, yakni 10 milivolt per 1 derajat celsius.



Gambar 4. Sensor Suhu LM35

2.8. Kontroler PID

Teknik kendali PID adalah pengendali yang merupakan gabungan antara aksi kendali proporsional, integral, dan ditambah aksi kendali derivatif/turunan. [6] Setiap Kendali memiliki kekurangan masing masing kombinasi ketiga jenis aksi kendali ini memiliki tujuan untuk saling melengkapi kelemahan dari masing masing aksi kendali.



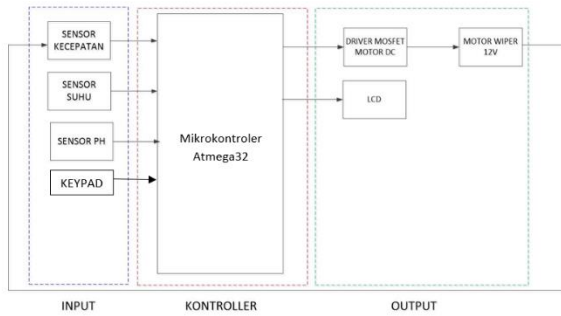
Gambar 5. Diagram Blok Kontroler PID

Dalam kendali PID, terdapat beberapa parameter yang dapat dimanipulasi agar menghasilkan respon kendali yang paling baik dalam pengaplikasiannya. Parameter ini dinamakan dengan manipulated Variable MV(t).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan steady state dimana output berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika outputnya berosilasi terus menerus ‘ketika diberi gangguan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Blok Sistem

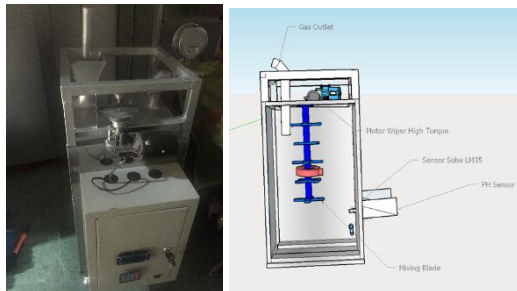


Gambar 6. Diagram Blok Sistem

Diagram blok terdiri dari 3 bagian, yaitu input, proses, dan output. Input dari sistem produksi biogas skala rumah tangga meliputi sensor kecepatan, sensor suhu, sensor PH, dan Keypad. Bagian proses meliputi sistem kontrol PID yang tertanam pada mikrokontroler Atmega32, dan Output dari sistem terdiri dari LCD, dan Motor DC Wiper 12V. Prinsip kerja dari sistem ini adalah memasukkan nilai setpoint kecepatan yang diinginkan menggunakan keypad yang telah dipasang. Setelah input setpoint kecepatan ditentukan, maka mikrokontroler yang telah ditanamkan kontrol PID mengendalikan aktuatur yaitu Motor DC Wiper 12V. Motor DC Wiper 12V tersebut berfungsi untuk mengaduk bahan fermentasi didalam biodigester. Ketika pengadukan berlangsung sensor suhu, dan sensor PH akan mendeteksi berapa suhu dan ph dari bahan fermentasi yang kemudian mengirimkan data kecepatan pengaduk menuju mikrokontroler untuk ditampilkan secara real time di PC.

3.2. Perancangan Mekanik

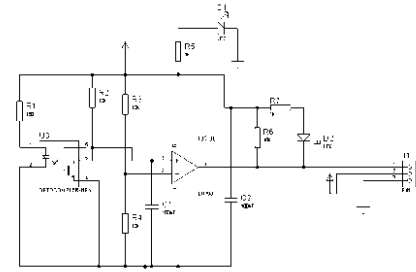
Digester skala rumah tangga ini terdapat panel box dan juga reaktor yang terbuat dari stainless steel. Serta penyangga/rangka yang terbuat dari besi berwarna biru. Untuk kapasitas reaktor adalah ± 24 kg. Seperti dalam Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Mekanik Mesin

1.3 Perancangan Sensor Kecepatan

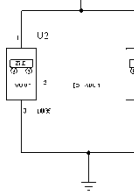
Untuk sistem digester skala rumah tangga menggunakan range kecepatan 0 rpm hingga 80 rpm. Dalam Gambar 8 merupakan rangkaian sensor kecepatan rotary encoder.



Gambar 8. Sensor Kecepatan

1.4 Perancangan Sensor Suhu

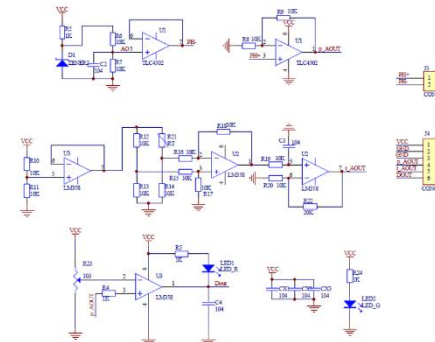
Untuk sistem digester skala rumah tangga menggunakan range suhu antara 25°C hingga 45°C untuk kedua sensor suhu yang akan dibaca oleh ADC mikrokontroler atmega32. Dalam Gambar 9 merupakan rangkaian sensor suhu LM35 waterproof.



Gambar 9. Sensor Suhu

1.5 Perancangan Rangkaian Sensor pH

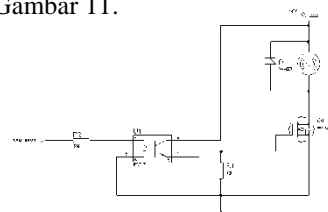
Untuk sistem digester skala rumah tangga menggunakan range pH antara 6.0 hingga 8.0. Dalam Gambar 10 merupakan rangkaian sensor pH.



Gambar 10. Sensor pH

1.6 Rangkaian Driver Motor DC

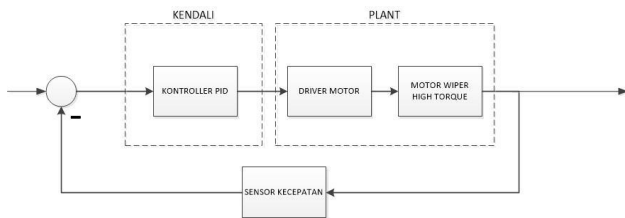
Untuk menggerakkan motor DC yang memerlukan tegangan sebesar 12 Volt DC sedangkan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh atmega32 sangat kecil, sehingga dibutuhkan driver motor yang sesuai untuk menggerakkan motor DC yaitu menggunakan Mosfet IRF 3205. Gambar rangkaian driver motor DC seperti dalam Gambar 11.



Gambar 11. Driver Motor DC

1.7 Perancangan PID

Pada perancangan kontrol PID yang akan dihitung menggunakan rumus dibutuhkan umpan balik dari pembacaan kecepatan yang diperoleh dari pembacaan sensor kecepatan .



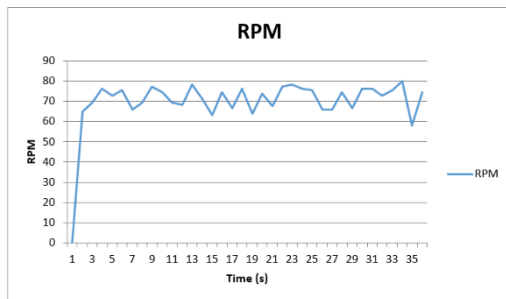
Gambar 12. Blok Kontrol PID

Dalam menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d terdapat berbagai macam metode, tetapi pada perancangan ini metode yang digunakan untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d adalah metode *Ziegler-Nichols 2* atau disebut sebagai metode osilasi *Ziegler-Nichols*.

Metode *Ziegler Nichols* dipilih karena metode ini sesuai untuk sistem yang memungkinkan memiliki respon berosilasi terus menerus dan hal ini dialami sistem yang telah dibuat. Metode ini dilakukan pada kondisi plant closed loop seperti gambar blok kontrol diatas. Pertama tama parameter integrator diatur tak terhingga dan parameter diferensial diatur 0 ($K_i = \infty$ dan $K_d = 0$). Setelah itu parameter proporsional dinaikkan secara bertahap dimulai dari nol sampai mencapai suatu nilai yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan tetap (*sustain oscillation*).

Berikut ini merupakan gambar grafik hasil pembacaan sensor *rotary encoder* dengan setpoint 70 rpm tanpa beban. Percobaan dilakukan untuk mencari nilai K_r sampai hasil grafiknya berosilasi setelah didapatkan grafik yang berosilasi bisa didapatkan P_{cr} atau periode osilasi. Dimana K_r dan P_{cr} akan digunakan untuk menghitung nilai K_p , K_i , dan K_d sistem.

1. Grafik Kecepatan Motor Tanpa Kontrol dan Tanpa Beban



Gambar 13. Grafik Respon Tanpa Kontrol

Gambar 13 menggambarkan respon kecepatan motor ketika tanpa beban dan tanpa kontrol. Setelah mendapatkan respon dari kecepatan motor tanpa beban dan tanpa kontrol, diperlukan perhitungan selanjutnya yaitu untuk *Ziegler Nichols* dengan metode ke 2 yaitu osilasi. Untuk mendapatkan nilai dari K_p , T_i , dan T_d dapat menggunakan perhitungan seperti yang ditunjukkan tabel 1.

Tabel 1. Rumus Mencari Nilai K_p , K_i , dan K_d

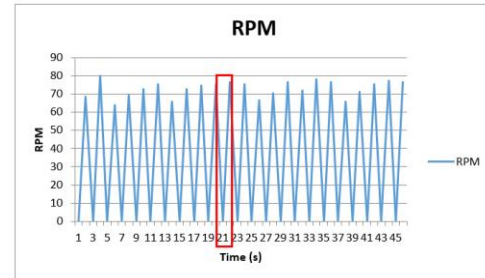
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	0,5 K_{cr}		
PI	0,45 K_{cr}	1/2 P_{cr}	
PID	0,6 K_{cr}	0,5 P_{cr}	0,125 P_{cr}

Pada sistem kendali PID harus dirancang secara paralel yaitu K_p , K_i , K_d , maka T_i dan T_d dikonversikan sehingga didapatkan nilai K_i dan K_d dengan rumus :

$$K_i = K_p / T_i$$

$$K_d = K_p \times T_d$$

2. Grafik respon osilasi pada Kondisi tanpa beban dengan $K_r = 3.5$



Gambar 14. Grafik Respon Sistem Osilasi $K_r = 3.5$

Berdasarkan hasil percobaan hasil percobaan dengan nilai $K_r = 3.5$ didapatkan suatu respon yang berosilasi. Sesuai dengan aturan tuning PID menggunakan metode osilasi *Ziegler Nichols* didapatkan perhitungan untuk menentukan nilai P_{cr} . Berikut adalah perhitungan nilai P_{cr} :

$$P_{cr} = 21,7 - 19,3$$

$$P_{cr} = 2,4$$

Sehingga didapatkan nilai $K_r = 3.5$ dan nilai $P_{cr} = 7$.

Untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d menggunakan perhitungan berdasarkan rumus tuning PID *Ziegler Nichols* metode osilasi. Berikut adalah perhitungan K_p , K_i , dan K_d .

$$\begin{aligned}
 Kp &= 0.45 \times Kcr \\
 &= 0.45 \times 3.5 \\
 &= 1.575 \\
 Ki &= \frac{Kp}{Ti} \\
 &= \frac{1.575}{2.1} \\
 &= 0.75 \\
 Ti &= \frac{1}{2} \times Pcr \\
 &= \frac{1}{2} \times 2.4 \\
 &= 1.2 \\
 Kd &= 0
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan dan respon dari plant diatas maka didapatkan nilai $Kp=1.575$, $Ki = 0.75$, dan $Kd = 0$.

IV. HASIL DAN ANALISA

4.1. Pengujian Pin Mikrokontroler Atmega32

Mikrokontroler Atmega32 memiliki empat port dengan fungsinya masing masing. Keempat port tersebut yaitu PA0-PA7, PB0-PB7,dan PC0-PC7 yang dapat digunakan sebagai I/O yang dapat mengeluarkan logika *high* atau *low*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tiap tiap pin pada Atmega32 dapat digunakan sebagai I/O atau tidak. Tabel 4.1 adalah hasil pengukuran setiap pin Atmega32 sebagai output saat diberi logika “1” atau “HIGH”.

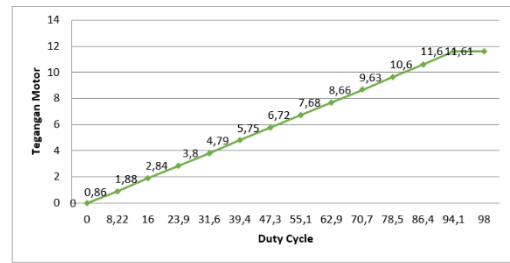
Tabel 2. Hasil Pengukuran Pin sebagai Output dan Input

PIN	TEGANGAN	PIN	TEGANGAN	PIN	TEGANGAN	PIN	TEGANGAN
PA0	4,95 V	PB0	4,95 V	PC0	4,95 V	PD0	4,95 V
PA1	4,95 V	PB1	4,95 V	PC1	4,95 V	PD1	4,95 V
PA2	4,95 V	PB2	4,95 V	PC2	4,95 V	PD2	4,95 V
PA3	4,95 V	PB3	4,95 V	PC3	4,95 V	PD3	4,95 V
PA4	4,95 V	PB4	4,95 V	PC4	4,95 V	PD4	4,95 V
PA5	4,95 V	PB5	4,95 V	PC5	4,95 V	PD5	4,95 V
PA6	4,95 V	PB6	4,95 V	PC6	4,95 V	PD6	4,95 V
PA7	4,95 V	PB7	4,95 V	PC7	4,95 V	PD7	4,95 V

Berdasarkan tabel 2 hasil pengukuran port mikrokontroler Atmega32 sebagai output jika diberi logika 1 atau high adalah sebesar 5 Volt dan jika diberi logika 0 atau low tegangan keluaran sebesar 0 Volt. Dapat dilihat bahwa seluruh port dari Atmega32 berfungsi dengan baik dan dapat digunakan. Maka Atmega32 tersebut dapat digunakan pada penelitian ini karena tegangan keluaran menunjukkan 5 Volt ketika diberi Logika 1 atau high dan bekerja sesuai fungsinya.

3.2. Pengujian Driver Motor

Pengujian rangkaian driver motor DC ini dilakukan dengan memberikan input PWM (*Pulse Width Modulation*) yang diberikan oleh mikrokontroler. Nilai PWM akan diubah ubah mulai dari range 0 – 255. Port yang digunakan PWM adalah Port D7 dengan menggunakan register OCR2. Motor DC diberi tegangan sumber dengan arus maksimal 10 A. Perubahan nilai masukan PWM dari mikrokontroler akan mempengaruhi tegangan yang disupply ke motor, kecepatan motor dan *duty cycle* dari motor.



Gambar 15. Grafik *Duty Cycle* Terhadap Tegangan Motor

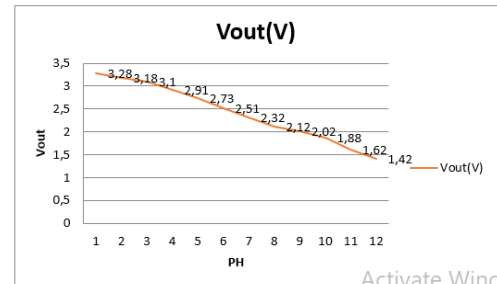
Dari hasil pengujian diatas, dapat dilihat bahwa perubahan dari *duty cycle* PWM yang diberikan pada rangkaian driver motor DC akan berpengaruh pada tegangan yang diberikan driver pada motor, selain itu juga berpengaruh pada kecepatan dari motor.

1.8 Pengujian Sensor pH

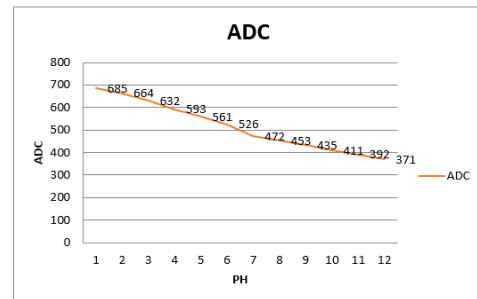
Pengujian dilakukan dengan mengukur pH larutan menggunakan buffer pH, yaitu dari range 1 sampai dengan 12. Pembacaan sensor pH menunjukkan nilai ADC dan tegangan keluaran untuk masing masing nilai pH.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor pH

Nilai PH	Vout (V)	ADC
1	3,28	685
2	3,18	664
3	3,10	632
4	2,91	593
5	2,73	561
6	2,51	526
7	2,32	472
8	2,12	453
9	2,02	435
10	1,88	411
11	1,62	392
12	1,42	371



Gambar 16. Grafik Voutput terhadap pH



Gambar 17. Grafik ADC terhadap pH

Dari hasil pengujian diatas, dapat dilihat bahwa perubahan dari pH larutan yang akan berpengaruh pada tegangan keluaran dan ADC yang dikeluarkan oleh driver

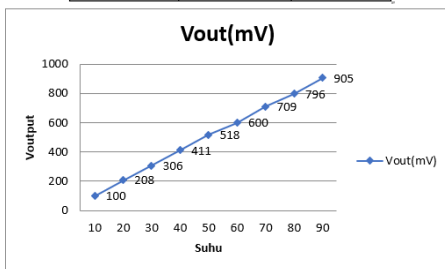
sensor pH. Semakin besar nilai pH dari larutan maka akan semakin kecil output dan ADC dari output driver sensor pH. Selain itu bekerja juga sebaliknya semakin kecil nilai pH dari larutan maka akan semakin besar tegangan output dan ADC dari driver sensor pH. Hal ini menunjukkan sensor pH sudah bekerja sesuai dengan perancangan.

1.9 Pengujian Sensor Suhu

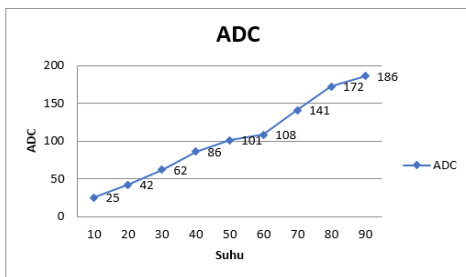
Pengujian sensor suhu dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan 2 sensor suhu LM35 waterproof yang terukur telah bekerja dengan baik atau belum. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan air panas serta pemberian air dingin atau air es secara bertahap kemudian sensor suhu dimasukkan pada air tersebut. Berikut adalah gambar, data pengujian, dan grafik hasil pengujian sensor suhu.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Suhu 1

Suhu1	Vout (mV)	ADC
10	100	25
20	208	42
30	306	62
40	411	86
50	518	101
60	600	108
70	709	141
80	796	172
90	905	186



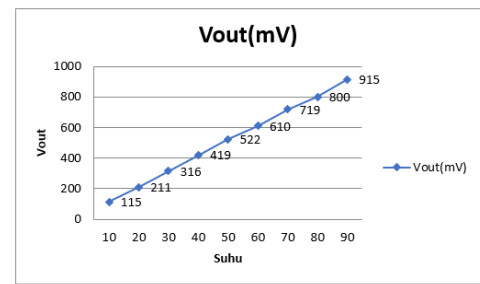
Gambar 18. Grafik Suhu terhadap Vout Sensor Suhu 1



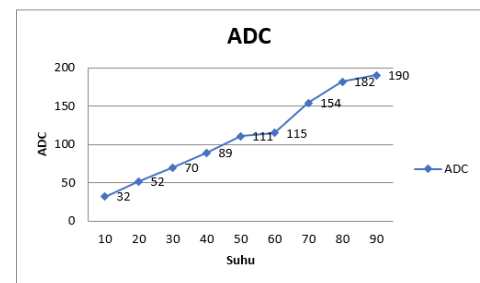
Gambar 19. Grafik Suhu terhadap ADC Sensor Suhu 1

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Suhu 2

Suhu2	Vout (mV)	ADC
10	115	32
20	211	52
30	316	70
40	419	89
50	522	111
60	610	115
70	719	154
80	800	182
90	915	190



Gambar 20. Grafik Vout terhadap Suhu Sensor Suhu 2



Gambar 21. Grafik ADC terhadap Suhu Sensor Suhu 2

Berdasarkan hasil tabel serta grafik pengujian sensor suhu pertama dan kedua diketahui bahwa semakin tinggi suhu yang terdeteksi maka akan semakin tinggi Voutput dan ADC dari sensor suhu. Berlaku pula sebaliknya semakin rendah suhu yang terdeteksi maka akan semakin rendah Voutput dan ADC dari sensor suhu. Dari data serta grafik pengujian yang didapatkan sensor suhu pertama dan kedua telah bekerja dengan baik ditunjukkan dengan perubahan nilai Voutput yang nilainya tidak jauh dengan Voutput yang seharusnya dikeluarkan oleh sensor suhu LM35 yaitu setiap 1°C memberikan Voutput sebesar 10mV.

1.10 Pengujian LCD 2x16

Pengujian ini digunakan untuk menampilkan data berupa karakter dalam bentuk tulisan. Pengujian ini dilakukan dengan menyambungkan mikrokontroler Atmega16 dengan rangkaian LCD. Karakter yang ditampilkan dihasilkan dari program yang dijalankan melalui mikrokontroler. Berikut adalah tampilan karakter yang akan muncul pada LCD.



Gambar 22. Hasil Pengujian LCD

Berdasarkan Gambar 22 yaitu pengujian LCD menunjukkan bahwa rangkaian LCD dan program yang digunakan untuk menampilkan karakter pada LCD sudah bekerja dengan baik. Pada LCD dipasang resistor variabel dengan nilai 2KΩ. Hasil pengujian brightness menunjukkan 90% dapat melihat tulisan pada LCD, hal

ini menunjukkan bahwa resistor sebesar 2KΩ adalah nilai resistor yang baik untuk brightness pada LCD.

1.11 Pengujian Keypad

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keypad sudah bekerja dengan baik sesuai dengan tombol keypad yang ditekan. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan Mikrokontroler Atmega32 dengan keypad. Berikut adalah tampilan karakter yang akan muncul pada LCD saat ditekan angka (12345678).



Gambar 23. Hasil Pengujian Keypad

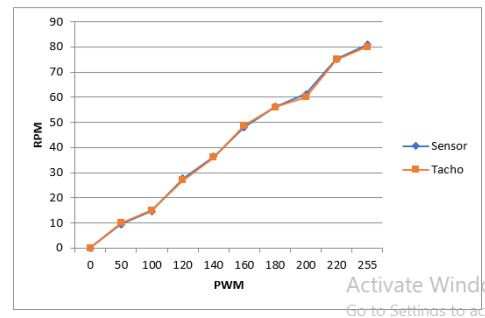
Dari hasil pengujian keypad dengan program mikrokontroler Atmega16 sudah sesuai. Saat keypad ditekan angka “1” maka nilai yang tertampilkan pada layar LCD menunjukkan angka “1” begitu juga seterusnya. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa rangkaian LCD dan program sudah berjalan dengan baik.

1.12 Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian sensor rotary encoder dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor yang ditampilkan pada LCD dengan alat ukur Tachometer. Sehingga dapat diketahui apakah hasil pembacaan sensor kecepatan terhadap putaran motor DC sudah baik atau belum. Alat ukur Tachometer digunakan sebagai pembanding terhadap pembacaan sensor kecepatan, sehingga dapat diketahui error pembacaan dari sensor. Terdapat 4 buah pin dari sensor rotary encoder yaitu pin Analog Output, Digital Output, Vcc, dan Ground. Pin Digital Output dari sensor dihubungkan dengan port PD2 atau INT0 pada mikrokontroler.

Tabel 6. Hasil Pengujian sensor Kecepatan

No	PWM	RPM	Tachometer	Error%	Voutput Driver(V)
1	0	0	0	0	0
2	50	9,4	9,5	1,05	0,45
3	100	14,6	14,8	1,35	1,25
4	120	27,7	27,6	0,35	2,1
5	140	36,4	36,5	0,27	6,91
6	160	48,4	48,6	0,41	7,5
7	180	56,2	56	0,35	9,4
8	200	61,4	61	0,65	10,1
9	220	75,1	75	0,13	11,2
10	255	81	81,3	0,36	11,8
Error rata – rata					0,492



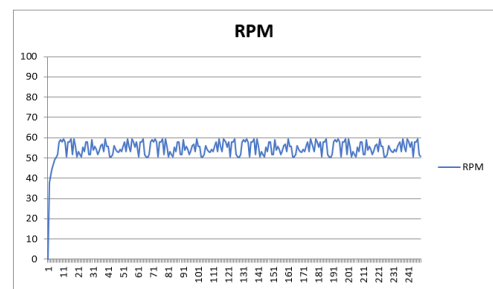
Gambar 24. Grafik Sensor Kecepatan

Dari data hasil pengujian yang didapatkan pada tabel 6 dapat dilihat bahwa ketika PWM dinaikkan maka rpm akan naik sedikit demi sedikit dan Vout juga akan naik pula namun tidak dapat mencapai nilai tegangan maksimumnya yaitu 12V hanya sampai 11,8V. PWM dinaikkan setiap kelipatan 20 RPM naik sedikit demi sedikit sebagai contoh dari 9,5 menjadi 14,6 rpm dan Voutput pun ikut naik dari 0,45V menjadi 1,25V. Pada pengujian ini digunakan pada dua sensor yaitu rotary encoder dan tachometer dari keseluruhan pengujian didapatkan error pada range 0,13 – 1,35% dengan error rata rata sekitar 0,49%.

1.13 Pengujian Kontrol PI

Pengujian kontrol PID dilakukan dengan menganalisa grafik respon PID berdasarkan nilai Kp, Ki, dan Kd yang telah dirancang menggunakan metode osilasi Ziegler Nichols. Respon PID akan menunjukkan apakah nilai Kp, Ki, dan Kd yang telah dirancang mampu menghasilkan output yang sesuai dengan setpoint yang diberikan. Time sampling yang digunakan adalah 1 second atau 1000 ms.

- Pengujian Tanpa Beban dengan Setpoint = 50



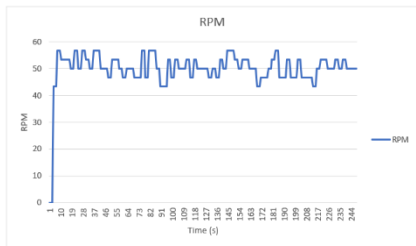
Gambar 25. Respon Sistem tanpa beban setpoint 50 rpm

Tabel 7. Data Performa respon kurva sp 50 rpm

No	Performa Respon Kurva	Hasil
1	<i>Delay Time</i>	2 detik
2	<i>Settling Time</i>	13 detik
3	<i>Rise Time</i>	5 detik
4	Max Overshoot	15,8 %
5	Error Steady state (atas)	18,4 %
6	Error Steady state (bawah)	-0,8 %

Dari hasil pengujian kontrol PID tanpa beban, dengan setpoint 50 rpm. Dapat dilihat bahwa besarnya kecepatan motor DC sangat berpengaruh pada waktu dan overshoot yang terjadi pada respon sistem. Pada setpoint ini menunjukkan bahwa nilai maksimum overshoot 15,8 % *delay time* yaitu 2 detik, *Settling time* 13 detik, dan *Rise Time* 5 detik.

- Pengujian dengan Beban 7kg dengan Setpoint = 50



Gambar 26. Grafik Respon Sistem SP 50 rpm

Tabel 8. Data performa respon kurva sp 50 rpm dengan beban 7 kg

No	Performa Respon Kurva	Hasil
1	<i>Delay Time</i>	3 detik
2	<i>Settling Time</i>	18 detik
3	<i>Rise Time</i>	6 detik
4	Max Overshoot	13,4 %
5	Error Steady state (atas)	13,4 %
6	Error Steady state (bawah)	-6,6 %

Dari hasil pengujian kontrol PID dengan beban 7kg, dengan setpoint 50 rpm. Dapat dilihat bahwa besarnya kecepatan motor DC sangat berpengaruh pada waktu dan overshoot yang terjadi pada respon sistem. Pada setpoint ini menunjukkan bahwa nilai maksimum overshoot 13,4 % *delay time* yaitu 3 detik, *Settling time* 18 detik, dan *Rise Time* 6 detik.

4.9 Pengujian Sistem

Berdasarkan hasil pengambilan data yang telah dilakukan dengan setpoint 70 Rpm dengan beban 3kg, serta 60 rpm dan 50 rpm dengan beban 7kg dapat dilihat bahwa dengan adanya beban tersebut akan mempengaruhi respon putaran dari motor DC. Putaran motor DC akan menurun bila beban

semakin berat. Bahan fermentasi yang masuk kedalam digester akan mempengaruhi kecepatan motor DC saat beban yang masuk bertambah banyak maka motor akan berputar semakin pelan kemudian kontroler akan bekerja dan kecepatan motor akan kembali menuju setpoint.




Berdasarkan grafik pada setiap pengujian menggunakan beban yang berbeda dan setpoint yang berbeda respon sudah mendekati setpoint dan cukup bisa menjaga setpoint yang telah ditentukan. Pada kecepatan 50 rpm hasil produksi biogas dapat dikatakan sedikit meningkat terlihat dari tekanan gas yang tampil pada pressure gauge. Dari data yang didapatkan dapat dianalisa pula bahwa pengadukan akan mempengaruhi suhu dari bahan fermentasi dimana suhu bahan fermentasi akan rata pada seluruh digester hal ini dapat dilihat ketika sebelum dilakukan pengadukan terlihat bahwa perbedaan suhu pada kedua sensor cukup jauh namun setelah dilakukan pengadukan suhu dari kedua sensor hampir memiliki nilai yang sama. Berikut adalah gambar bahan sebelum fermentasi.



Gambar 27. Grafik bahan sebelum difermentasi

Gambar 27 merupakan gambar bahan sebelum difermentasi dimana bahan tersebut terdiri dari bahan utama yaitu sampah organik dengan berat sekitar 8kg serta bahan tambahan yaitu bakteri starter dan air dengan komposisi 1:1 antara sampah organik dan air dengan ditambahkan 15ml bakteri starter biogas kascing. Seluruh bahan dicampur kemudian diaduk selama kurang lebih selama 10 menit. Kemudian bahan fermentasi tersebut dimasukkan ke dalam tangki fermentasi dan proses fermentasi akan berlangsung. Pada penelitian ini untuk menghasilkan biogas fermentasi terjadi selama kurang lebih 6 minggu. Dimana setiap dua hari sekali dilakukan pengadukan dengan kecepatan yang terkontrol dengan kurun waktu pengadukan selama 5 menit. Dari penelitian ini dilakukan pengadukan pada tiga setpoint kecepatan yaitu pada kecepatan 70 rpm, 60 rpm, dan 50 rpm. Dari hasil penelitian ini dapat dianalisa bahwa dengan kecepatan yang berbeda beda akan menyebabkan suhu, dan pH bahan fermentasi berubah rubah serta tekanan gas yang dihasilkan oleh alat ini juga berbeda beda dimana tekanan ini dapat dilihat dari pressure gauge yang telah dipasang pada mesin. Berikut adalah data hasil pengamatan Suhu, pH, dan tekanan gas dengan kecepatan pengadukan tertentu.

Tabel 9. Data Suhu, pH, dan Tekanan Gas pada kecepatan tertentu

Kecepatan	Suhu1 (°C)	Suhu2 (°C)	pH	Tekanan (psi)	Foto Biogas
70 RPM	28,1	30,8	7,18	32	
60 rpm	22,5	26	7,7	57	
50	24,5	28	7,35	86	

Dari data hasil pengamatan suhu, pH, dan tekanan dapat dilihat bahwa dengan kecepatan pengaduk tertentu maka suhu dan pH cenderung fluktuatif dimana naik turun kemudian naik. Tekanan tertinggi yang terukur pada pressure gauge terjadi pada saat kecepatan setpoint 50 rpm yaitu pada 86 psi ketika kecepatan dinaikkan tekanan biogas cenderung turun dan tidak optimal. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa kecepatan 50 rpm merupakan kecepatan terbaik untuk pengadukan karena akan meratakan aktivitas mikroorganisme serta meningkatkan produksi biogas. Untuk mempercepat proses fermentasi dapat dilakukan dengan cara mengontrol suhu dan pH didalam biodigester. Biogas yang dihasilkan pada penelitian ini ditampung di dalam ban sepeda motor kemudian di uji coba untuk dialirkan menuju ke kompor dimana dengan tekanan sebesar 86 psi dapat menyalakan kompor dengan nyala api kecil dalam kurun waktu nyala selama 1 menit 2 detik kemudian mati. Maka dapat dianalisa bahwa biogas hasil dari mesin ini masih memerlukan tekanan yang lebih tinggi lagi untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar memasak. Berikut adalah data pH dari cairan hasil fermentasi.

Tabel 10. Data Suhu, pH, dan Tekanan Gas pada kecepatan tertentu

pH Cairan hasil fermentasi	pH pupuk cair di pasaran dengan merk GDM		
	Spesialis Perkebunan	Spesialis Tanaman Sayur	Spesialis Buah Buah
7,2	8,6	6,9	7,6

Berdasarkan data pH yang telah diambil dengan menggunakan digital pH meter didapatkan bahwa pH cairan hasil fermentasi adalah sekitar 7,2. Berdasarkan peraturan menteri No.70/Pert./SR. 140/10/2011, kadar total didalam pupuk cair memiliki nilai pH yang berkisar 4-9 (Peraturan Menteri Pertanian, 2012), maka dari itu dapat dianalisa bahwa

pH cairan hasil fermentasi masih dalam range tersebut namun perlu diteliti lebih lanjut tentang kandungannya. Selain itu berdasarkan data referensi dari sebuah produk pupuk cair dengan merk GDM pupuk cair memiliki nilai pH tersendiri untuk berbagai macam kegunaan. Pada produk GDM pH untuk pupuk cair spesialis tanaman sayur adalah 6,9 dan untuk spesialis buah buahan adalah 7,6 sedangkan pH dari cairan hasil fermentasi adalah 7,2. Maka dapat dianalisa bahwa pH cairan hasil fermentasi mendekati pH dari produk pupuk cair GDM dengan spesialis tanaman dan buah buahan namun kandungan di dalam pupuk cair perlu diteliti lebih lanjut untuk menentukan bahwa cairan hasil fermentasi ini dapat di gunakan ebagai pupuk cair atau tidak. Berikut adalah gambar cairan hasil fermentasi.



Gambar 28. Gambar Cairan Hasil Fermentasi

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pembacaan Sensor kecepatan rotary encoder dengan tachometer menunjukkan bahwa pembacaan sensor kecepatan rotary encoder dapat dikatakan baik karena memiliki rata rata *error* 0,45%. Error yang dihasilkan menunjukkan bahwa sensor kecepatan cukup akurat dan presisi sehingga mampu menampilkan kinerja yang baik pada sistem.
2. Sampah Organik berfungsi sebagai gangguan pada sebuah kontrol. Jumlah beban sampah organik di dalam reaktor akan mempengaruhi karakteristik sistem, yaitu mempengaruhi kecepatan motor DC. Sistem yang sesuai pada plant ini menggunakan metode PID.
3. Pada proses pengadukan menggunakan metode PID menggunakan nilai $K_p = 2.5$, $K_i = 0.5$, dan $K_d = 0$ dengan pengujian menggunakan bahan fermentasi seberat 7kg dan 50rpm hasil grafik respon sistem menunjukkan nilai *delay time* (td) 3s, *rise time* (tr) 6s, *settling time* (ts) 18 s, *error steady state* 13.4% dan maksimal *overshoot* yang terjadi sebesar 13.4%. Berikut adalah gambar sebelum difermentasi, bahan setelah difermentasi, dan biogas yang dihasilkan pada gambar 10.

5.2 Saran

1. Untuk melakukan pengembangan pada alat ini, sebaiknya menggunakan penerapan kontrol suhu serta pH. Diharapkan agar dapat memaksimalkan proses fermentasi anaerobik di dalam digester.

2. Pada skripsi selanjutnya, di sarankan untuk melakukan penelitian pengaruh suhu dan pH terhadap proses fermentasi anaerobik dalam digester.
3. Melakukan penelitian terhadap kandungan cairan hasil fermentasi seperti kandungan unsur hara.
4. Menggunakan spesifikasi motor DC yang berbeda.
5. Melakukan pemilihan bakteri starter terbaik untuk mendapatkan proses fermentasi yang cepat dan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmad R. 2017. Pengaruh Pengenceran dan Pengadukan terhadap produksi biogas pada anaerobic digestion dengan menggunakan ekstrak rumen sapi sebagai starter dan limbah dapur sebagai substrat. Skripsi Universitas Diponegoro.
- [2] Marfuatun .2013. Potensi Pemanfaatan Sampah Organik. Pengabdian Masyarakat Universitas Negeri Yogyakarta
- [3] Wahyuni, Sri. 2012. Panduan Praktis Biogas. Penebar Swadaya
- [4] Zuhail. 2010. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya
- [5] LM35 Datasheet (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>)
- [6] Katsuhiko, Ogata. 1997. Teknik Kontrol Automatik. Penerbit Erlangga.
- [7] <http://home.roboticlab.eu/en/avr/adc> Accessed on 08 August 2018