

Pengendalian pH pada Pengolahan Pupuk Kompos Cair Menggunakan Kendali PID

Adly Mardika, Tarmukan, Mila Fauziyah

Abstrak — Konsumsi masyarakat akan bahan makanan yang semakin meningkat mengakibatkan permasalahan baru khususnya penumpukan sampah organik di kota – kota besar. Salah satu upaya mendegradasi sampah organik ini adalah dengan mengolahnya menjadi pupuk kompos cair. Sebagian besar masyarakat masih mengandalkan metode konvensional untuk mengolah pupuk kompos cair. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan alat yang mampu mengotomatisasi pengolahan pupuk kompos cair dengan menstabilkan pH selama proses fermentasi pada *setpoint* yang diberikan sesuai standar pH yaitu 7. Alat ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai kontroler, sensor pH, dan *servo valve* sebagai aktuator. Berdasarkan pengujian menggunakan metode Ziegler – Nichols I diperoleh respons sistem yang baik pada *servo valve* dengan nilai $K_p = 8,95$; $K_i = 6,28$; $K_d = 1,57$. Waktu yang dibutuhkan pH awal cairan 5 untuk mencapai *setpoint* pH 7 adalah 11 menit dengan presentase *overshoot* 1,1% dan *error steady state* sebesar 2,57%.

Kata Kunci: pH, Pupuk Kompos Cair, *Servo Valve*, PID.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah sampah di kota – kota besar saat ini dipengaruhi banyak faktor, di antaranya yaitu pertambahan jumlah penduduk dan meningkatnya konsumsi bahan makanan masyarakat. Apabila tumpukan sampah tersebut dibiarkan maka akan menimbulkan ancaman kesehatan masyarakat dan pencemaran terhadap lingkungan ekosistem darat, udara, maupun air.

Berdasarkan data Bappeko pada tahun 2007, komposisi jenis-jenis sampah yang dihasilkan di kota Malang, antara lain: sampah dapur dan halaman 76,37%, plastik 14,35%, tekstil 3,79%, kertas 2,01%, kayu atau bambu 2,00%, kaca atau gelas 0,64%, logam 0,42%, dan lain – lain 0,42%. Berdasarkan statistik, sampah organik adalah pencemar yang dominan karena biasanya langsung dibuang ke sungai atau dibiarkan menumpuk begitu saja.

Salah satu upaya mengurangi penumpukan sampah organik adalah dengan mengolahnya menjadi pupuk cair. Pupuk organik yang dihasilkan dari sampah organik

mayoritas berbentuk padat. Jarang ditemui pupuk organik berbentuk cair, padahal dalam pemanfaatannya pupuk ini lebih praktis relatif mudah dibuat, dan biaya pembuatannya tidak mahal.

Pemanfaatan pupuk organik lebih baik daripada pupuk kimia karena sifatnya yang tidak mudah tercuci oleh air hujan dan erosi. Pupuk organik biasanya digunakan sebagai pupuk dasar yang diberikan sebelum tanam karena sifatnya yang lambat melepas unsur hara .

Kadar pH dari pupuk cair adalah salah satu faktor penentu keberhasilan pada pertumbuhan tanaman. Proses pengomposan dapat terjadi pada kisaran pH yang lebar. pH yang optimum untuk proses pengomposan berkisar antara 6,5 – 7,5 [4]. Selain itu, pupuk cair organik yang digunakan harus memenuhi persyaratan atau kriteria unsur hara yang telah ditetapkan pada persyaratan teknis minimal pupuk cair organik menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR.140/10/2011, kriterianya antara lain adalah kadar di dalam pupuk organik cair memiliki kandungan hara makro N 3 – 6%, P_2O_5 3 – 6%, K_2O 3 – 6% dan nilai pH dalam kisaran 4 – 9[5].

Proses pengolahan pupuk kompos cair sebagian besar masih menggunakan tenaga manusia. Untuk mengotomatisasi alat maka diperlukan penambahan kontroler pada sistem kerja alat. Kontroler PID dipilih karena memiliki respon yang cepat dan kestabilan yang baik terhadap sistem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nilai pH

pH pada dasarnya adalah salah satu cara untuk menyatakan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan asam dan larutan basa pada 25°C.

$$pH = -\log[H_3O^+] \text{ atau } pH = -\log[H^+]$$

Berdasarkan nilai pH-nya dapat dilakukan identifikasi sebagai berikut:

Larutan asam : $[H^+] > 1,0 \times 10^{-7} M$, $pH < 7,00$

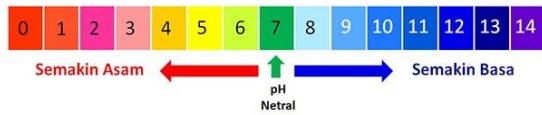
Larutan basa : $[H^+] < 1,0 \times 10^{-7} M$, $pH > 7,00$

Larutan netral : $[H^+] = 1,0 \times 10^{-7} M$, $pH = 7,00$

Nilai pH meningkat seiring dengan menurunnya $[H^+]$.

Adly Mardika adalah mahasiswa D4 Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, e-mail: adlymardika01@gmail.com

Tarmukan dan Mila Fauziyah adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang



Gambar 1 Indikator pH

Di laboratorium, pH larutan diukur dengan pH meter. Pada tabel berikut memuat sejumlah larutan / cairan dan gas yang umum ditemukan.

Tabel 1 Fluida Umum dan Kandungan pH

Nilai pH	Jenis Fluida
1,0 - 2,0	Cairan getah lambung
2,4	Jus limau
3,0	Cuka
3,2	Jus grapefruit
3,5	Jus orange
4,8 - 7,5	Urine
5,5	Air yang terpapar ke udara (H ₂ CO ₃)
6,4 - 6,9	Ludah
6,5	Susu
7,0	Air murni
7,35 - 7,45	Darah
7,4	Air mata
10,6	Bubur Magnesia
11,5	Amonia rumah tangga

2.2 PupukKomposCair

Pupuk kompos cair adalah ekstrak dari hasil pembusukan / fermentasi bahan – bahan organik. Bahan – bahan organik yang digunakan bisa berasal dari sisa tanaman, kotoran hewan dan manusia yang mengandung lebih dari satu unsur hara. Dengan mengekstrak sampah organik tersebut, seluruh nutrisi yang terkandung di dalamnya dapat diambil dan mikroorganisme seperti, bakteri, fungi, protozoa dan nematoda mampu diserap.

Pupuk kompos cair kaya akan nutrisi organik dan anorganik yang dibutuhkan oleh tanaman. Pemanfaatannya untuk mengendalikan hama pada daun dan mempercepat pertumbuhan tanaman. Pupuk organik cair ini memiliki kelebihan yaitu mudah diserap dan cepat mengatasi defisiensi hara dan mampu menyediakan unsur hara secara cepat. Keunggulan lain dari pupuk organik yang berbentuk cair adalah tidak merusak tanah dan tanaman meskipun rutin diberikan.



Gambar 2 Pupuk Kompos Cair

2.3 Sensor pH

Untuk mengukur pH biasanya menggunakan sensor pH. Sensor ini terbuat dari elektroda yang sensitif terhadap ion atau sering disebut elektroda gelas. Penyusun utamanya adalah batang elektroda, membran gelas, dan di tengah – tengah terdapat elemen sensor pengukur pH yang dilindungi oleh larutan perak – perak klorida (Ag – AgCl). Kontak ionik dari larutan perak – perak klorida terhadap sampel melalui penghubung keramik kemudian menyeleksi dan hanya meloloskan arus – arus ionik tertentu. Hasil atau keluaran yang diperoleh berupa impedansi yang sangat tinggi berkisar 50 – 500MΩ. Oleh karena itu, impedansi pada masukan juga memerlukan nilai yang besar.



Gambar 3 Sensor pH

2.4 Motor Servo

Motor servo memiliki tiga posisi utama, yaitu 0°, 90°, dan 180°. Untuk mengatur motor servo pada posisi – posisi tersebut diberikan pulsa digital dengan lebar yang berbeda – beda. Apabila pulsa dengan lebar 1.5ms diberikan maka motor servo akan berputar 90°. Bila menginginkan posisi motor servo pada 180°, maka diberikan pulsa dengan lebar 1.75ms, sedangkan pulsa dengan lebar 1.25ms akan membuat motor servo bergerak menuju posisi 0°. Terdapat pula motor servo *continuous* yang porosnya mampu bekerja hingga 360°. Apabila pulsa yang diberikan adalah 1.25ms, motor servo akan berputar searah jarum jam dan berputar melawan arah jarum jam bila diberi pulsa 1.75ms. Bila diberi 1,5ms motor servo akan diam tidak bergerak.



Gambar 4 Motor Servo

2.5 KontrolerPID

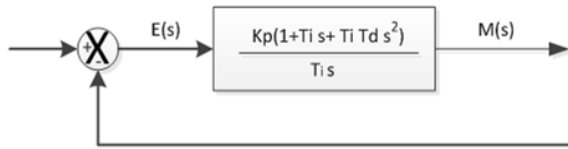
Aksi kontrol ini memiliki keunggulan lebih baik dibandingkan dengan masing – masing tiga aksi kontrol yang menyusunnya. Berikut adalah persamaan dari gabungan ketiga kontroler yakni, proporsional, integral, dan turunan / diferensial.

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int_0^t e(t) dt. \tag{1}$$

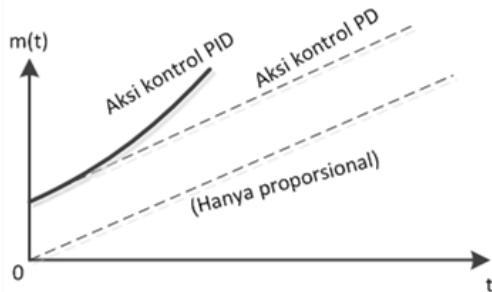
Atau fungsi alihnya adalah

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2)$$

Dimana K_p menyatakan kepekaan proporsional, T_d menyatakan waktu turunan, dan T_i menyatakan waktu integral. Diagram blok kontroler PID ditunjukkan pada **Gambar 5** dan keluaran kontroler akan menjadi seperti pada **Gambar 6**.



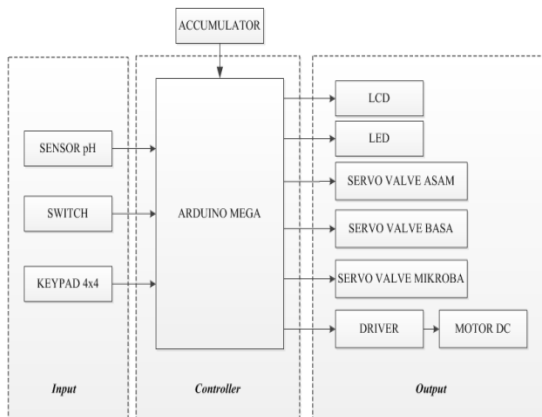
Gambar 5 Diagram Blok Kontroler PID



Gambar 6 Keluaran Kontroler PID

III. METODOLOGI

3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 7 Diagram Blok Sistem

3.2 Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari alat pengendali pH pada pengolahan pupuk kompos cair ini diawali dengan menekan *switch* untuk mengaktifkan sistem kemudian mendeteksi pH cairan yang masuk kedalam tabung. Hasil pendeteksian sensor pH akan mempengaruhi debit *servo valve* sehingga pemberian cairan tambahan disesuaikan dengan pH hasil ekstraksi yang masuk kedalam tabung. Pemberian *setpoint* dilakukan dengan

menekan tombol pada *keypad* sesuai pH yang diinginkan. Kontroler selanjutnya akan membuka *servo valve* dengan debit tertentu untuk mengalirkan cairan tambahan berupa cairan EM – 4, larutan kapur, dan larutan asam nitrat. Setelah itu motor DC akan berputar dan mengaduk hingga larutan memiliki pH sesuai dengan *setpoint* yang diberikan, setelah itu pengadukan larutan dilakukan setiap 5 jam selama proses fermentasi. Pada *box* kontroler terdapat dua LED yang digunakan sebagai indikator, yaitu warna merah dan hijau, dimana LED merah menyala apabila nilai pH belum mencapai *setpoint* dan LED hijau akan menyala bila nilai pH sudah mencapai *setpoint*.

3.3 Spesifikasi Alat

Pada alat pengendali pH pengolahan pupuk kompos cair ini memiliki bentuk fisik dan ukuran sebagai berikut :

- a. Tabung
 - Tinggi : 80 cm
 - Diameter : 48 cm
- b. Box Kontroler
 - Panjang : 30 cm
 - Lebar : 20 cm
 - Tinggi : 30 cm
- c. Pengaduk

Pengaduk cairan di dalam tabung menggunakan bahan *stainless steel* sedangkan tabung dan box kontroler menggunakan bahan plat besi.

IV. HASIL DAN ANALISA

4.1. Pengujian Sensor pH

Sensor pH yang digunakan adalah tipe E201 – C – 9. Pengujian dilakukan dengan mengukur pH larutan menggunakan kertas pH lalu menyesuaikan nilai pH dengan tabel warna. Larutan yang digunakan adalah air murni, pH buffer 7, pH buffer 4, asam nitrat, dan NaOH. Pembacaan sensor pH menunjukkan nilai ADC untuk masing-masing pH.

Tabel 2 Hasil Pengujian Sensor pH

Nilai pH	Pembacaan ADC Sensor pH
2	804
3	794
4	733
5	713
6	663
7	627
8	558
9	490
10	447
11	434
12	420
13	414
14	408

Dari hasil pengujian sensor pH maka sensor dapat digunakan dan data ADC dapat digunakan sebagai pembacaan pH cairan pada alat penelitian.

4.2. Pengujian Keypad 4x4

Keypad pada sistem ini digunakan untuk memasukkan nilai *setpoint* dan parameter kontroler PID. Pengujian *keypad* untuk memastikan kondisi normal saat digunakan.

Tabel 3 Tombol Keypad beserta Fungsinya

Tombol	Fungsi
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Untuk memasukkan nilai <i>setpoint</i> dan parameter PID
A	Untuk memilih Menu ke atas
B	Untuk memilih Menu ke bawah
C	Untuk kembali ke Menu awal dan <i>System Stop</i>
D	Untuk mengiyakan perintah atau "OK"
*	Sebagai penanda koma
#	Untuk menjalankan sistem atau "RUN" setelah parameter dan <i>setpoint</i> diatur

Dari hasil pengujian, *keypad* telah terprogram dengan baik dan mampu untuk digunakan sebagai *input device*.

4.3. Pengujian Motor DC dan Driver Relay

Pengujian motor DC ini dilakukan untuk memastikan perangkat dapat digunakan dengan baik. Sumber tegangan yang digunakan adalah Accumulator. Pengujian driver relay juga dilakukan dengan memberikan logika "HIGH" dan "LOW" pada pin 7 Arduino Mega melalui program.

Tabel 4 Hasil Pengujian Motor DC

Input	Status	RPMTachometer
0	OFF	0
255	ON	54,1

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil bahwa rangkaian driver relay mampu dan layak digunakan untuk menggerakkan motor DC.

4.4. Pengujian LCD 16x2

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan LCD untuk menampilkan karakter sesuai dengan program yang ditanamkan pada Arduino Mega. Pada alat ini, LCD digunakan sebagai *display* menu, pH aktual, dan *setpoint* sistem maupun.

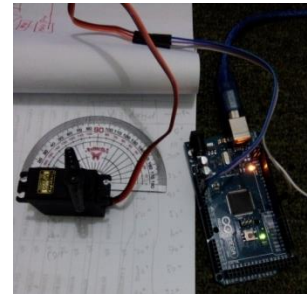


Gambar 8 Pengujian LCD 16x2

Dari pengujian yang telah dilakukan, LCD mampu menampilkan karakter sesuai dengan program yang ditanamkan. Maka, LCD dapat digunakan sebagai *display* dalam system pengendalian pH.

4.5. Pengujian Motor Servo

Pengujian motor servo dilakukan untuk memastikan bahwa motor servo yang digunakan dalam keadaan normal dan mampu bekerja optimal sebelum dan saat dipasang pada kran untuk mengatur debit keluarnya cairan.



Gambar 9 Pengujian Motor Servo

Tabel 5 Hasil Pengujian Motor Servo

Sudut yang Diukur	Sudut yang Terukur	Error (%)
0	0	0
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	51	1,9
60	62	3,2
70	70	0
80	80	0
90	92	2,1
100	100	0
110	112	1,7
120	120	0
130	133	2,2
140	142	1,4
150	150	0
160	160	0
170	172	1,1
180	180	0
Rata – rata Error (%)		0,71

$$\%Error = \frac{sudut\ diukur - sudut\ terukur}{sudut\ diukur} \times 100\%$$

Dari hasil pengujian motor servo didapatkan rata – rata *error* yang terbilang rendah yaitu sebesar 0,71%. *Error* dari motor servo disebabkan oleh beberapa kemungkinan diantaranya faktor produksi pabrik, kurang akuratnya pembacaan sudut saat pengujian, atau perubahan tegangan *supply*. Data tabel di atas menunjukkan bahwa *error* dari motor servo dalam kondisi baik dan layak untuk digunakan.

4.6. Pengujian Analisa Kontroler PID

Pengujian kontroler PID ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan respon dari dua aktuator berupa motor servo untuk mengendalikan pH pada alat pengolah pupuk kompos cair. Motor servo pada alat ini digunakan untuk menggerakkan kran yang berfungsi sebagai *servo valve* untuk mengalirkan cairan basa dan asam.

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan menerapkan nilai parameter PID untuk *servo valve* yaitu $K_p = 8,95$; $K_i = 6,28$; $K_d = 1,57$.

Dengan mengaplikasikan nilai parameter PID yang telah diperoleh, respon sistem mampu menaikkan pH dan menjaga cairan yang memiliki pH rata – rata awal 5 stabil pada *setpoint* 7. Berikut adalah analisa yang diperoleh.

1. *Rise time* (tr) adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 90% *setpoint* nilai pH.
2. $d = 90\% \times (\text{setpoint} - \text{pH awal})$
 $= 90\% \times (7 - 5)$
 $= 1,8$

Sistem mencapai kondisi 90% dari *setpoint* adalah ketika nilai pH awal mengalami perubahan sebesar 1,8 sehingga menjadi 6,8 dicapai pada detik ke – 61 dengan *time sampling* 10 *second*. Dapat dikatakan juga bahwa *rise time* (tr) terjadi pada menit ke – 10.

3. *Peak time* (tp) adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai puncak pertama kali. Sistem mencapai nilai puncak pertama kali pada menit ke – 13.
4. *Maximum overshoot* (mp) adalah persentase *overshoot* yang terjadi pada sistem atau biasa dinyatakan juga sebagai PO. *Percent Overshoot* (PO) yang dihasilkan oleh sistem diketahui melalui perhitungan berikut.

$$PO = \frac{\text{Maximum peak} - \text{Setpoint}}{\text{Setpoint}} \times 100\%$$

$$= \frac{7,08-7}{7} \times 100\%$$

$$= 1,1\%$$

5. *Error steady state* (ess) selisih *steady state* sistem dengan *setpoint* yang diberikan. Untuk mengetahui *error steady state*, terlebih dahulu harus diketahui nilai *steady state* pada sistem. Nilai *steady state* diperoleh melalui penjumlahan nilai pH pada setiap *time sampling* lalu dibagi sejumlah data yang dijumlahkan. Berikut adalah perhitungan *error steady state*.

$$ESS = \left| \frac{\text{Steady state} - \text{Setpoint}}{\text{Setpoint}} \times 100\% \right|$$

$$= \left| \frac{6,82-7}{7} \times 100\% \right|$$

$$= 2,57\%$$

6. *Setling time* (ts) adalah setting waktu yang dibutuhkan tanggapan untuk mencapai batas tertentu disekitar tanggapan akhir antara 2% dan 5%. Pada sistem ini diketahui ts = 14 menit.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai *setpoint* 7 adalah 11 menit. Respon kontroler PID pada sistem tidak selalu berada pada titik *setpoint* dikarenakan perubahan debit masing – masing *servo valve* dan toleransi pembacaan sensor pH.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem berjalan dengan baik dan alat dapat merespon *setpoint* yang diberikan dengan cepat dan stabil. Berikut adalah kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini :

1. Alat pengolah pupuk kompos cair dapat merespon dengan tepat dan mampu mengendalikan nilai pH stabil pada *setpoint* menggunakan kontrol PID.
2. Penentuan nilai parameter PID untuk mencapai sistem yang stabil dilakukan dengan menggunakan metode Ziegler – Nichols 1 dan diperoleh nilai parameter untuk *servo valve* yaitu $K_p = 8,95$; $K_i = 6,28$; $K_d = 1,57$.
3. Waktu yang dibutuhkan pH awal cairan 5 untuk mencapai *setpoint* pH 7 adalah 11 menit dengan presentase *overshoot* 1,1% dan *error steady state* sebesar 2,57%.

5.2. Saran

Pada waktu mendatang, diharapkan adanya perbaikan dan penyempurnaan agar alat ini dapat bekerja lebih optimal. Berikut beberapa hal yang disarankan untuk pengembangan penelitian ini selanjutnya :

1. Untuk menghasilkan respon sistem yang lebih baik disarankan untuk menggunakan sensor pH tipe lain yang memiliki tingkat keakuratan dan sensitifitas lebih baik.
2. Penambahan cairan mikroba dapat diotomatisasi sesuai dengan level cairan yang berada di dalam drum.
3. Diperlukan perancangan mekanik yang lebih baik untuk mengoptimalkan kinerja alat.
4. Penelitian ini selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan metode PI atau *Fuzzy Logic Controller*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Coughlin, F. (1994). *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*. Jakarta : Erlangga.
- [2] Hadisuwito, Sukamto. (2007). *Membuat Pupuk Kompos Cair*. Jakarta : Agro Media.
- [3] Isnaini, M. (2006). *Pertanian Organik*. Yogyakarta : Kreasi Warna.
- [4] Nugroho, Panji. (2014). *Panduan Membuat Pupuk Kompos Cair*. Yogyakarta : Pustaka Baru Press.
- [5] Ogata, Katsuhiko & Leksono, Edi. (1995). *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid I*. Jakarta : Erlangga.
- [6] Permentan. (2011). *Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR.140/10/2011*. Jakarta : Permentan.
- [7] Petrucci, Ralph H. & Suminar. (1985). *Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern Edisi Keempat – Jilid 2*. Bogor : PT Midas Surya Grafindo.
- [8] Sufianto. (2014). *Analisis Mikroba pada Cairan Sebagai Pupuk Cair Limbah Organik dan Aplikasinya Terhadap Tanaman Pakcoy (Brassica Chinensis L.)*. Malang : JURNAL GAMMA Vol.9, No. 2 : 77 – 94.
- [9] Syahrul. (2014). *Pemrograman Mikrokontroler AVR*. Bandung : Informatika.