



Pemodelan dan Simulasi Kontrol Proporsional Integral pada Proses Pembuatan Pupuk Kandang

Eka Zulia Agustin^{a,1}, Irianto Irianto^b, Hendik E. Hadi^{a,b}

^aProgram Studi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Keputih, Kec. Sukolilo (telp: +62-31-5947280; fax: +62-31-5946114), Kota SBY, 60111, Indonesia

¹E-mail: ekazulia@pe.student.pens.ac.id

^bProgram Studi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Keputih, Kec. Sukolilo (telp: +62-31-5947280; fax: +62-31-5946114), Kota SBY, 60111, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 00 Desember 00
Direvisi pada 00 Januari 00
Disetujui pada 00 Februari 00
Tersedia daring pada 00 Maret 00

Kata kunci:

Kontrol Proporsional Integral, Kotoran Kambing, Suhu Pengeringan

Keywords:

Proportional Integral Control, Goat Manure, Drying Temperature

ABSTRAK

Dalam proses pembuatan pupuk kandang terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi tingkat kematangan pupuk diantaranya adalah faktor suhu dan kadar air. Suhu yang dianjurkan untuk melakukan proses dekomposisi (pembusukan) ialah 50°C. Pada *setting point* suhu tersebut aktifitas mikroorganisme yang membantu proses pembusukan dapat bekerja secara optimal. Secara konvensional, pemantauan suhu dan kadar air pada proses dekomposisi dilakukan secara manual dibawah sinar matahari yang bergantung dengan perubahan cuaca, sehingga waktu pengeringan lama dan tidak efisien. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengontrol suhu pada kotoran kambing menggunakan *heater* yang bersumber dari AC-AC Voltage Controller. Salah satu teknik pengontrol suhu pada kotoran kambing dapat dimodelkan dan disimulasikan menggunakan kontrol PI (Proporsional Integral). Kontrol PI dimodelkan untuk menentukan nilai Kp dan Ki serta disimulasikan untuk mengatur tegangan keluaran AC-AC Voltage Controller. AC-AC Voltage Controller diatur sudut penutupannya agar tegangan yang keluar sebesar 170 V_{RMS} sebagai *input heater*. Tegangan 170 V_{RMS} digunakan sebagai *setting point* tegangan pada simulasi kontrol AC-AC Voltage Controller karena setara dengan nilai *setting point* suhu pada proses dekomposisi pupuk kandang sebesar 50°C dengan berat 5000 gram sehingga diperoleh nilai Kp sebesar 2,9162814587 dan nilai Ki sebesar 1,7462763226. Waktu yang diperlukan respon untuk mencapai kondisi *steady* sebesar 12 menit dengan *error steady state* sebesar 0,29377203%.

ABSTRACT

In the process of making manure there are several things that can affect the maturity of fertilizers including temperature and moisture factors. The recommended temperature for the decomposition process (decay) is 50°C. In the setting point of the temperature of the activity of microorganisms that help the decay process can work optimally. Conventionally, the monitoring of temperature and water content in the decomposition process is done manually under the sunlight that relies on the changing weather, so that the drying time is old and inefficient. Therefore, a temperature control system in goat dung is needed, using a heater sourced from AC-AC Voltage Controller. One of the temperature control techniques in goat dung can be modelled and simulated using the PI (proportional Integral) control. The PI control is modeled to determine the value of Kp and Ki and is simulated to regulate the output voltage of AC-AC Voltage Controller. AC-AC Voltage Controller is set the extension angle so that the voltage is out of 170 VRMS as input heater. 170 VRMS voltage used as a voltage setting point in the AC-AC Voltage Controller simulation because of the equivalent temperature point setting value in the manure decomposition process of 50°C with a weight of 5000 grams so that the value of Kp for 2,9162814587 and Ki value amounting to 1,7462763226. The time required response to reach a steady condition of 12 minutes with a steady state error of 0.29377203%.

1. Pendahuluan

Pada umumnya proses pengomposan dilakukan oleh mikroba. Semakin banyak mikroba yang aktif semakin cepat proses pengomposan. Mikroba dapat bekerja secara optimal pada suhu antara $\pm 45^{\circ}\text{C}$ selama beberapa minggu tergantung jumlah bahan yang digunakan. Apabila suhu terlalu tinggi mikroba akan mati, sebaliknya jika suhu terlalu rendah mikroba akan berhenti bekerja. Pupuk kandang dikatakan matang sempurna saat kadar C/N rasionya mendekati nilai C/N rasio tanah yaitu berkisar antara 15-25 dan prosentase C minimal 15 sesuai yang di izinkan oleh peraturan menteri pertanian (NOMOR70/Permentan/SR.140/10/2011) [10]. Bahan untuk membuat pupuk kandang adalah kotoran kambing yang berasal dari kambing yang memakan dedaunan murni jenis PE (Peranakan Etawa), cairan EM4, tetes tebu dan air mineral [7].

Dalam pembuatan pupuk kompos masalah yang sering terjadi adalah tingkat kematangan pupuk yang belum sempurna [1]. Ketidaksempurnaan pematangan pupuk disebabkan oleh perubahan cuaca, terutama saat musim hujan sehingga suhu dalam proses pengomposan menjadi tidak stabil. Penggunaan pupuk kompos yang belum matang secara keseluruhan dapat menghambat pertumbuhan tanaman dikarenakan kekurangan nitrogen tersedia [2]. Secara konvensional, pemantauan suhu dan kadar air pada proses dekomposisi dilakukan secara manual mengikuti kebiasaan para petani, sehingga waktu dan kinerja pembudidayaan tidak efisien serta terpengaruh dengan cuaca yang akibatnya membutuhkan waktu yang relatif lama [1]. Penelitian yang telah dilakukan umumnya masih berupa pengintegrasian terhadap sensor-sensor yang digunakan namun aksi yang dilakukan belum dapat memberikan solusi pada permasalahan yang ada.

Dari permasalahan perubahan cuaca dan lamanya proses pengomposan, maka diperlukan sebuah rak pengering untuk mengontrol suhu dan kadar air pada pembuatan pupuk kandang. Dengan rak pengering ini proses pengeringan kotoran kambing akan lebih cepat dibandingkan dengan proses pengeringan langsung di bawah sinar matahari dan menghasilkan pupuk kandang dengan tingkat kematangan yang sempurna. Didalam rak pengering terdapat sistem pengontrol suhu pada kotoran kambing menggunakan *heater* yang bersumber dari *AC-AC Voltage Controller*. Salah satu teknik pengontrol suhu pada kotoran kambing dapat dimodelkan dan disimulasikan menggunakan kontrol PI (Proporsional Integral). Pada penelitian ini digunakan *setting point* suhu sebesar 50°C [6]. Kontrol PI pada penelitian ini dimodelkan untuk menentukan nilai K_p dan K_i agar suhu dapat mencapai *setting point* lebih cepat dan dapat menaikkan atau menurunkan tegangan *heater* jika suhu berubah-ubah akibat beban kotoran kambing berkurang atau saat proses pengadukan kotoran kambing. Kontrol PI juga disimulasikan untuk mengatur tegangan keluaran *AC-AC Voltage Controller*. *AC-AC Voltage Controller* diatur sudut penyulutannya agar tegangan yang keluar sebesar $170\text{ V}_{\text{RMS}}$ sebagai *input heater*. Tegangan $170\text{ V}_{\text{RMS}}$ digunakan sebagai *setting point* tegangan pada simulasi kontrol *AC-AC Voltage Controller* karena setara dengan nilai *setting point* suhu pada proses dekomposisi pupuk kandang sebesar 50°C dengan berat 5000 gram.

1.1. Proses Pengomposan Kotoran Kambing

Proses pengomposan adalah proses penguraian bahan organik secara biologis, khususnya oleh mikroba-mikroba yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi. Pengomposan merupakan dekomposisi biologi dan stabilisasi bahan organik pada kondisi suhu tinggi dengan produk akhir yang cukup stabil untuk penyimpanan dan memperbaiki tanah pertanian tanpa menimbulkan dampak lingkungan (Haug, 1980). Membuat kompos adalah mengatur dan mengontrol proses alami tersebut agar pupuk kandang dapat terbentuk lebih cepat. Proses ini meliputi membuat campuran bahan yang seimbang, pemberian air yang cukup, pengaturan aerasi, dan penambahan aktivator pengomposan.

Prinsip pengomposan adalah menurunkan C/N rasio bahan organik hingga sama dengan C/N tanah yaitu antara 10-20 (Epstein, 1997). Penurunan rasio ini dimaksudkan untuk memudahkan tanaman menyerap unsur hara dari kompos. Proses pengomposan akan segera berlangsung setelah bahan-bahan mentah dicampur. Nilai rasio C/N kotoran kambing umumnya diatas 30, oleh karena itu kotoran kambing harus dikomposkan terlebih dahulu sebelum digunakan ke tanaman. Prinsip pengomposan adalah untuk menurunkan rasio C/N bahan organik hingga sama dengan C/N tanah (<20) (Siboro et al., 2013) [2].

 LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA TELEPON (031)5948886, FAX: (031)5928387			
DATA ANALISA CUPLIKAN			
Pengirim	: Sdri. Eka Zulia Agustin		
Dikirim Tanggal	: 24 Juni 2019		
Sampel	: Pupuk		
Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metoda Analisis
Karbon (db)	% C	44,58	Gravimetri
Nitrogen (db)	% N	5,11	Kjeldahl
C/N ratio	-	8,72	Perhitungan
Surabaya, 03 Juli 2019 Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Kepala, Catatan : - Laporan ini dibuat untuk cuplikan yang diterima laboratorium kami - db = dry basis Prof. Dr. Ir. Nioke Karamaningroem, MSc NIP. 195501281985032001			

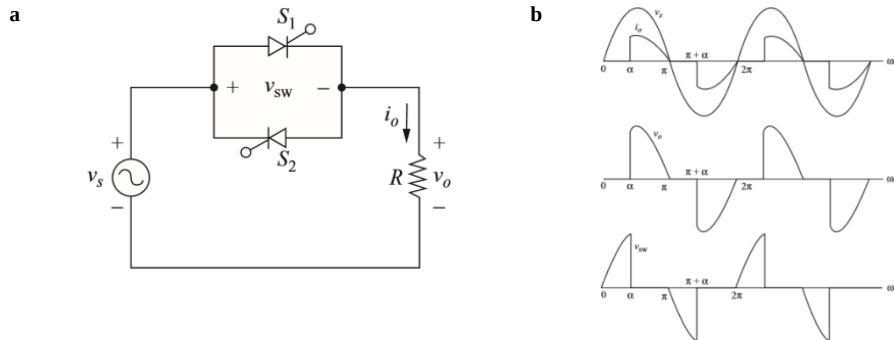
Gambar 1. Data analisa hasil pengujian kandungan pupuk kandang dari kotoran kambing jenis Peranakan Etawa

Dari data tersebut terlihat bahwa nilai C/N rasio telah turun menjadi 8,72. Menurut salah satu Dosen di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan tetapi masih belum memenuhi standar dari peraturan menteri pertanian (NOMOR70/Permentan/SR.140/10/2011).

1.2. AC-AC Voltage Controller

AC AC Voltage Controller adalah konverter yang mengontrol tegangan, arus, dan daya rata-rata yang dikirim ke beban AC dari sumber AC. Komponen utama dari AC AC Voltage Controller adalah *triac* atau *thyristor* (SCR) yang dipasang secara anti-paralel. Skema pensakelaran dari AC AC Voltage Controller ada dua, yang pertama dengan *phase control*, yaitu pensakelaran berlangsung setiap siklus sumber, dimana gelombang tegangan dari sumber ke beban akan terhapus setiap siklusnya. Skema pensakelaran yang kedua adalah dengan *integral cycle*, dimana tegangan *output* pada beban akan terhapus untuk beberapa siklus [5].

Prinsip operasi untuk *fase tunggal* tegangan AC AC Voltage Controller menggunakan kontrol *fase* sangat mirip dengan yang dikendalikan setengah gelombang *rectifier*. Di sini, arus beban berisi setengah siklus positif dan negatif. Analisis identik dengan yang dilakukan untuk yang dikendalikan setengah gelombang *rectifier* dapat dilakukan pada *halfcycle* untuk pengontrol tegangan. Kemudian, dengan simetri, hasilnya dapat diekstrapolasi untuk menggambarkan operasi untuk seluruh periode [5].



Gambar 2. – (a) Rangkaian AC – AC Voltage Controller 1 fasa dengan beban resistif; (b) Bentuk gelombang keluaran AC – AC Voltage Controller

Rangkaian AC-AC Voltage Controller digunakan untuk mengatur tegangan masukan untuk elemen pemanas. Dengan demikian suhu pemanasan dapat diatur. Pada penelitian ini digunakan rangkaian AC-AC Voltage Controller karena sesuai dengan karakteristik beban *heater* yang memiliki tegangan kerja nominal sebesar 220V, selain itu *heater* juga dapat diberi tegangan kurang dari 220 Volt untuk menghasilkan suhu yang lebih kecil dari nominal. Oleh karena itu rangkaian ini dirasa sesuai untuk mengatur tegangan *input heater* di sekitar tegangan 50-220V. Tegangan *output rms* dari AC-AC Voltage Controller dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1.

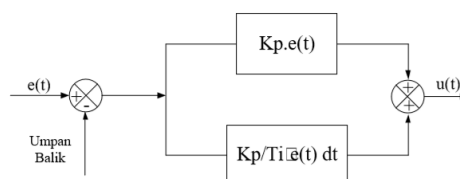
$$V_{rms} = V_s \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (1)$$

1.3. Pengendali Proporsional Integral

Pengendali PI dipilih karena sederhana dan mampu melakukan aksi kontrol dalam sistem dinamis. Lebih dari 85% sistem kontrol sistem dinamis menggunakan pengontrol PID (Paz, 2001). Kendali proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kendali proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. [3]. Kendali proportional tidak lain adalah *amplifier* dengan penguatan sebesar K_p . Kelemahan dari kendali ini adalah terdapatnya *steady state error* yaitu output mempunyai selisih terhadap *setting point* (Kundur, 1993).

Kendali integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau hanya sebuah *plant*, tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan mantapnya nol. Dengan kendali integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantap nol. Pada pengontrol ini, kecepatan perubahan sinyal kendali sebanding dengan sinyal *error*. Sinyal keluaran kendali integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak [3]. Selama sinyal *error* masih ada, maka sinyal kendali akan bereaksi terus. Ketika sinyal *error* nol, maka $u(t)$ tetap stasioner. Dengan demikian, aksi kendali integral akan menghilangkan *steady state error*. Artinya, *output* sistem akan selalu mengejar *setting point* sedekat mungkin. Aksi kendali integral sering disebut *automatic reset* kendali. Kerugian dari aksi kendali ini adalah terjadi osilasi sehingga mengurangi kestabilan sistem (Kundur, 1993).

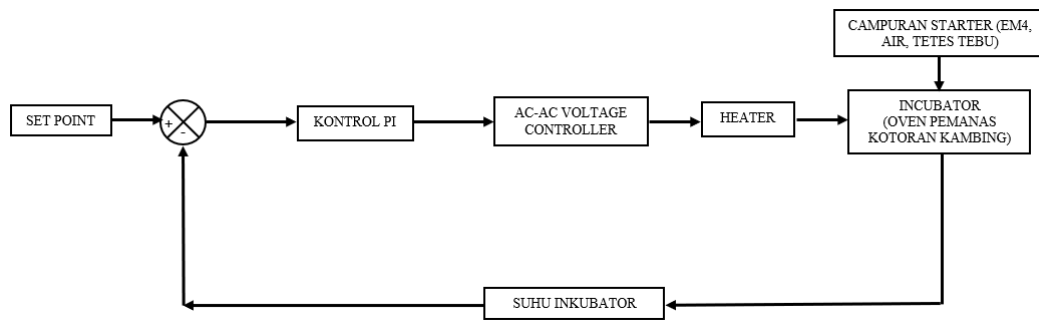
Kendali Integral memiliki karakteristik mengurangi *rise time*, menambah *overshoot* dan *settling time*, serta menghilangkan *steady state error*. Kendali P dan I memiliki karakteristik yang sama dalam hal *rise time* dan *overshoot*. Oleh karena itu, nilai K_p harus dikurangi untuk menghindari *overshoot* yang berlebihan [3]. Kontrol PI pada penelitian ini dimodelkan untuk menentukan nilai K_p dan K_i agar suhu dapat mencapai *setting point* lebih cepat dan dapat menaikkan atau menurunkan tegangan *heater* jika suhu berubah-ubah akibat beban kotoran kambing berkurang atau saat proses pengadukan kotoran kambing. Kontrol PI juga disimulasikan untuk mengatur tegangan keluaran AC-AC Voltage Controller agar sesuai dengan *setting point* tegangan sebesar 170 V_{RMS} . Blok diagram kendali PI ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram kendali PI

K_p adalah *gain proportional* dan T_i adalah *integral time*. *Integral time* mengatur aksi kendali integral sedangkan K_p akan mempengaruhi baik bagian integral maupun *proportional*. Kebalikan dari T_i disebut *reset rate* yang artinya jumlah waktu per menit dimana bagian *proportional* dari aksi kendali diduplikasi (Paz, 2001).[4]

2. Metodologi



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Kontrol suhu pada proses pembuatan pupuk kandang menggunakan kontrol Proportional Integral (PI) dimana metode yang digunakan menggunakan metode analitik, dimana penentuan nilai K_p dan K_i bergantung pada nilai L (*delay transportation*) dan t_s (*time settling*). Untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut harus dilakukan pengujian *open loop* untuk melihat karakteristik suhu yang dikeluarkan *heater* yang digunakan terlebih dahulu. Berdasarkan pengujian *open loop*, *heater* yang digunakan sebesar 750 Watt. Pada pengujian *open loop* ini kondisi ruang inkubator terbebani kotoran kambing 5000 gram dan belum terkontrol akan memakan waktu sekitar 500 menit menuju *steady state* atau suhu maksimal yaitu 65°C. Dari hasil pengujian *heater open loop* dengan beban kotoran kambing 5000 gram dapat direpresentasikan kedalam bentuk grafik karakteristik seperti pada Gambar 6.

Berdasarkan grafik pada Gambar 7 dapat diperoleh data sebagai berikut:

Suhu Awal (X_{ss}) = 30°C setara dengan 102 Volt
 Suhu Max (Y_{ss}) = 65°C setara dengan 220 Volt
 Setpoint yang Diinginkan = 50°C setara dengan 170 Volt
 T_s (time settling) = 500 menit

Mencari Nilai Konstanta k

$$k = \frac{Y_{ss} - X_{ss}}{X_{ss} - Y_{ss}} = \frac{220 - 102}{170 - 102} = \frac{118}{68} = 1,7352941176 \quad (2)$$

Time Konstant

$$\tau = \frac{1}{5} \times t_s = \frac{1}{5} \times 500 = 100 \text{ menit} = 1,67 \text{ jam} \quad (3)$$

OLTF (*Open Loop Transfer Function*)

$$\frac{k}{\tau s + 1} = \frac{1,7352941176}{1,67s + 1} \quad (4)$$

Perhitungan Time Konstant Baru

$$t_s^* = 5\tau^* \quad (5)$$

$$t_s^* = 100 \text{ menit (Desain/Bebas)}$$

$$\tau^* = \frac{t_s^*}{5} = \frac{100}{5} = 20 \text{ menit} = 0,33 \text{ jam} \quad (6)$$

Maka *Close Loop Transfer Function* baru

$$\frac{1}{\tau_s + 1} = \frac{1}{0,33s + 1} \quad (7)$$

Sehingga Nilai K_p dan K_i dapat dicari melalui

$$K_p = \frac{\tau}{k \times \tau^*} = \frac{1,67}{1,7352941176 \times 0,33} = 2,9162814587 \quad (8)$$

$$K_i = \frac{K_p}{\tau} = \frac{2,9162814587}{1,67} = 1,7462763226 \quad (9)$$

3. Pengujian dan Simulasi

3.1. Pengujian AC-AC Voltage Controller dengan Penyulutan Sudut

Pada Tabel 1. adalah hasil pengujian *hardware AC-AC voltage controller* secara *open loop* dengan penyulutan sudut IC TCA 785. Rangkaian kontrol TCA785 digunakan untuk mengontrol sudut penyulutan pada rangkaian AC-AC voltage controller, antara 0°-180° pada sumber tegangan AC 220Volt. Rangkaian TCA785 ini dapat di kontrol secara manual (menggunakan *trimpod* 10k) atau dapat juga menggunakan mikrokontroler. Pada umumnya semakin besar sudut penyulutan pada AC-AC voltage controller maka akan semakin kecil tegangan keluaran yang dikeluarkan oleh AC-AC voltage controller maka semakin kecil pula tegangan *input* pada *heater* dan semakin lama pula kenaikan suhu pada *heater*.

Tabel 1. Hasil pengujian AC-AC Voltage Controller dengan Penyulutan.

Alfa (derajat)	V_o rms teori (V)	V_o rms praktik (V)	Error (%)
18	219,2945	219,5	0,093723
25	218,1323	218,0	0,060637

Alfa (derajat)	Vo rms teori (V)	Vo rms praktik (V)	Error (%)
44	210,4072	210,2	0,098488
57	200,2849	200,1	0,092310
74	180,5168	179,7	0,452476
81	170,2985	169,9	0,234030
87	160,6620	160,2	0,287541
93	150,2922	149,9	0,260928
109	119,7756	120,8	0,855231
123	91,0273	90,2	0,908828
143	50,4028	50,01	0,779256
167	10,8179	10,53	2,661070
172	5,1742	5,04	2,535491

Untuk gelombang pada beberapa penyulutan sudut pada keluaran AC-AC voltage controller yang dilihat melalui *oscilloscope* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengujian AC-AC Voltage Controller (a) Penyulutan 25° (b) Penyulutan 81° (c) Penyulutan 167°

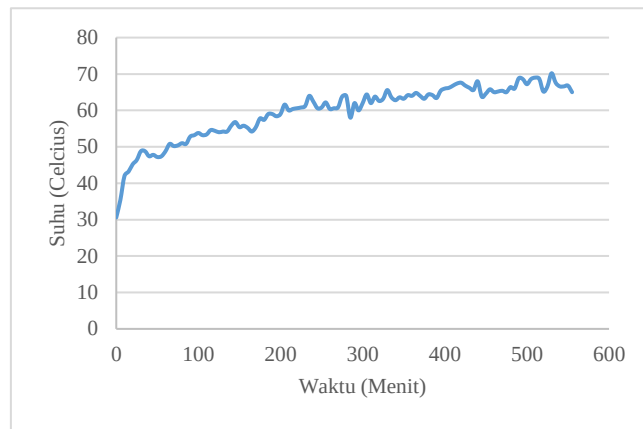
3.2. Pengujian Open Loop dengan Beban Kotoran Kambing 5000 Gram

Pengujian heater dengan beban adalah pengujian yang digunakan untuk melihat respon suhu didalam casing/inkubator ruang pengering yang sudah di bebani dengan beban yang diinginkan. Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah berupa kotoran kambing yang yang total beratnya adalah kurang lebih 5000 gram. Pengujian heater dengan beban lebih lama dibandingkan pengujian heater tanpa beban, dikarenakan adanya panas/kalor dari udara yang diserap oleh kotoran kambing. Untuk mengetahui respon suhu *steady state* dalam inkubator maka pengujian dilakukan sampai suhu konstan selama beberapa jam dan diperoleh waktu total sekitar 500 menit. Tabel dan grafik hasil dari data pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Tabel 2. Hasil pengujian *heater open loop* dengan beban kotoran kambing 5000 gram

Menit	Time (WIB)	Suhu (°C)
0	10.45	30,6
35	11.20	48,8
75	12.00	50,4
115	12.40	54,6
155	13.20	55,8
195	14.00	58,4
235	14.40	64
275	15.20	63,8
315	16.00	63,8
355	16.40	64,2
395	17.20	65,4
435	18.00	65,6
475	18.40	65
515	19.20	68,7
555	20.00	65

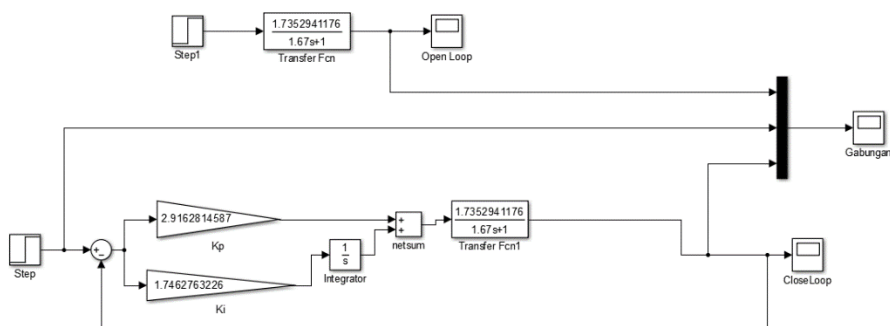
Dari tabel diatas dapat di representasikan dalam bentuk grafik karakteristik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva pengujian *open loop* untuk menentukan nilai KP dan KI

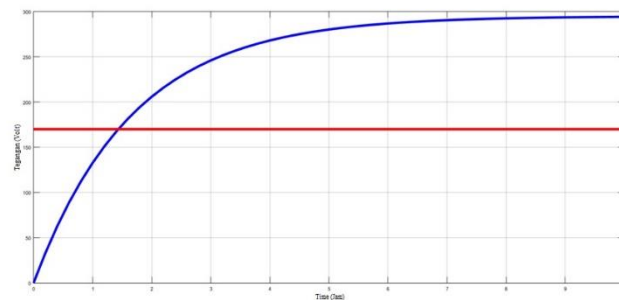
3.3. Pemodelan Kontrol PI

Berdasarkan perhitungan nilai Kp dan Ki pada persamaan 8 dan 9 dapat dimodelkan pada *software* matlab yang dapat dilihat pada Gambar 7.

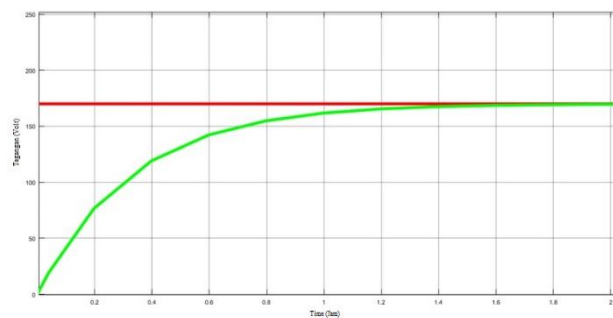


Gambar 7. Blok Diagram Simulasi Kontrol PI

Adapun respon *steady state* dan respon *close loop* dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

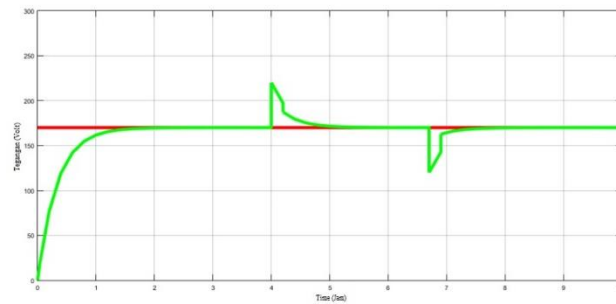


Gambar 8. Respon *steady state*



Gambar 9. Respon *close loop* sistem

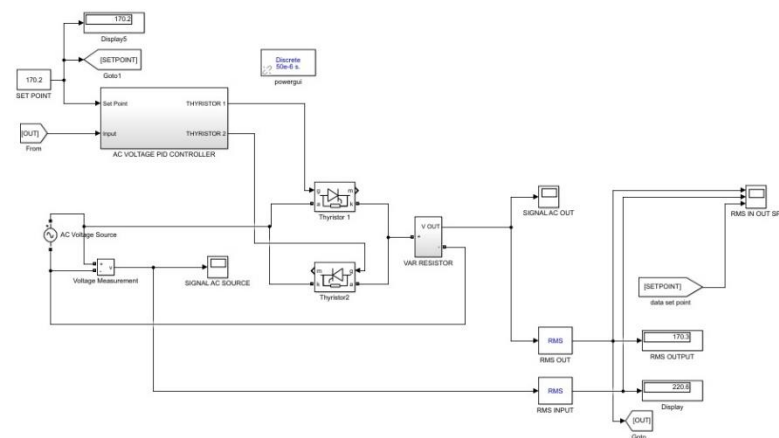
Untuk membuktikan bahwa kontrol PI dapat bekerja, maka kontrol PI harus diberikan *disturbance* atau gangguan sinyal masukan. Jika respon sistem *close loop* akan kembali pada *setting point* maka kontrol dapat dikatakan bekerja. Pada Gambar 10 adalah desain Kontrol PI dengan *disturbance* atau gangguan.



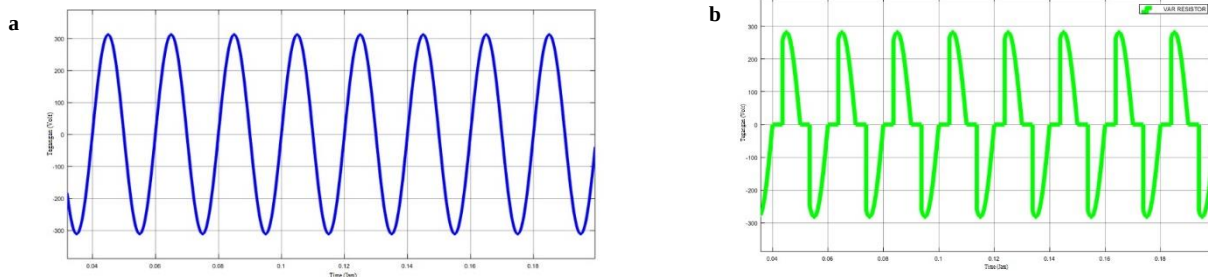
Gambar 10. Respon *close loop* sistem dengan *disturbance*

3.4. Simulasi AC-AC Voltage Controller dengan Kontrol PI

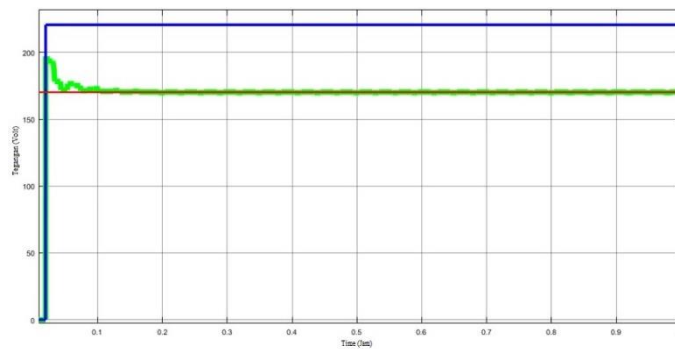
Kontrol PI pada *hardware AC-AC voltage controller* digunakan agar suhu dapat mencapai *setting point* lebih cepat dan dapat menaikkan atau menurunkan tegangan *heater* jika suhu berubah-ubah akibat beban kotoran kambing berkurang atau saat proses pengadukan kotoran kambing. Pada simulasi *close loop* kontrol PI pada *AC-AC voltage controller* ini dilakukan pada *software* Matlab. Kontrol PI dalam simulasi *AC-AC voltage controller* ini berfungsi untuk mempercepat nilai *settling time*, *ts*, yaitu waktu yang diperlukan respon untuk mencapai kondisi *steady* pada pembangkitan *voltage output AC-AC voltage controller*. Pada simulasi ini menggunakan tegangan *input AC* sebesar 220 V_{RMS} dan *thyristor* yang dipasang antiparalel sebagai penyulutannya. Pada rangkaian ini menggunakan *variable resistor*. Adapun *setting point* dari tegangan sebesar 170 V_{RMS} . Rangkaian *AC-AC voltage controller* dengan kontrol PI dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Simulasi *AC-AC voltage controller* dengan Kontrol PI

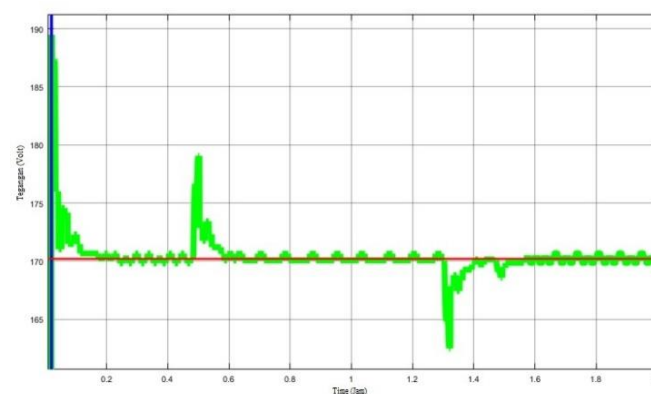


Gambar 12. - (a) Tegangan *input AC-AC voltage controller* (b) Tegangan *output AC-AC voltage controller*



Gambar 13. Respon tegangan AC-AC voltage controller dengan Kontrol PI

Berdasarkan simulasi kontrol PI pada AC-AC voltage controller, waktu yang diperlukan respon untuk mencapai kondisi *steady* pada hasil simulasi sebesar 12 menit dengan *error steady state* sebesar 0,29377203%. Untuk membuktikan agar kontrol PI dapat berjalan sesuai fungsinya, maka diberikan *disturbance* atau gangguan berupa beban yang berubah atau variasi resistansi beban. Pada Gambar 14 merupakan simulasi sistem *close loop* AC-AC voltage controller dengan variasi resistansi beban.



Gambar 14. Respon *close loop* sistem dengan *disturbance*

4. Kesimpulan

Pada kondisi ruang inkubator terbebani kotoran kambing 5000 gram dan belum terkontrol akan memakan waktu sekitar 500 menit menuju *steady state* atau suhu maksimal yaitu 65°C. Nilai Kp dan Ki yang digunakan dalam sistem adalah Kp sebesar 2,9162814587 dan nilai Ki sebesar 1,7462763226. Dari percobaan *trial and error* untuk *setting point* sebesar 50°C dalam *plant* kotoran kambing setara dengan ± 170 Volt, yaitu dengan sudut penyulutan sebesar 81°. Adapun waktu yang diperlukan respon untuk mencapai kondisi *steady* sebesar 12 menit dengan *error steady state* sebesar 0,29377203%.

Ucapan terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, keluarga dan teman-teman penulis yang selalu memberi motivasi dan dukungan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Diza dan Zulhelmi, "Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan Mikrokontroler ATmega328 pada Proses Dekomposisi Pupuk Kompos" in *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, 2017, e-ISSN: 2252-7036.
- [2] L. Trivana dan A. Y. Pradhana, "Time Optimization of the Composting and Quality of Organic Fertilizer Based on Goat Manure and Coconut Coir Dust using PROMI and Orgadec Bio-Activator" in *Jurnal Sains Veteriner*, 2017, e-ISSN: 2407-3733.
- [3] A. A. Alam dan S. N. Taryana, "Pemodelan dan Simulasi Automatic Voltage Regulator untuk Generator Sinkron 3 kVA Berbasis Propotional Integral" in *Jurnal Reka Elkomika*, 2015, 03(02): 97-110.
- [4] B. Rudyanto dan A. Susanto, "Aplikasi Kontrol PI (Proportional Integral) pada Katup Ekspansi Mesin Pendingin" in *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 2016, e-ISSN: 2528-2654.
- [5] Hart, Daniel W., "Power Electronics". New York : The McGraw-Hill Companies, 2010.
- [6] Marsono, Paulus Sigit, "Pupuk Akar Jenis dan Aplikasi". Jakarta : PT Penebar Swadaya, 2001.
- [7] Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya [Offline]. 2019.
- [8] Peraturan menteri pertanian NOMOR70/Permentan/SR.140/10/2011.
- [9] Sreeraj P V., "Design and Implementation of PID Controller with Lead Compensator for Thermal Process" in *International Journal of Computer Applications*, 2013, 0975-8887.
- [10] A. R. Pathiran, "Improving the Regulatory Response of PID Controller Using Internal Model Control Principles" in *International Journal of Control Science and Engineering*, 2019, e-ISSN: 2168-4960.
- [11] Nasrul Z.A dan Y. P. Roja, "Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas 100.000 Ton/Tahun" in *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2018, 07(02): 135-152.

-
- [12] U. K. Kalla, P. Kumar, R. Suthar and T. Bhardwaj, "Power Quality Analysis of Single Phase Conventional AC Chopper Based Small Power Heating Oven Systems", 2018 in 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE), 2018, pp. 1-6.
 - [13] P. S. Kumar, B. Mahendar, and M. Shruthi, "Design and Implementation of AC Chopper" in International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, April 2014, vol. 2, pp. 36-41.
 - [14] K. Chaturvedi, A. Mahor, and A. D. Dwivedi, "Analysis of impact of triggering angle on an AC chopper in terms of Harmonic Distortion & Power factor," in International Journal of Scientific Engineering and Technology, April 2012, vol. 1, pp. 118-122.
 - [15] V. Thanyaphirak et al, "PWM AC chopper control schemes for energy saving of single-phase induction motors," in 10th International Power & Energy Conference (IPEC), 2012, pp. 82-87.
 - [16] I Wayan Lastera, "Pemanfaatan Rangkaian Adapter untuk Meningkatkan Rentang Tegangan Uji AC Osiloskop pada Pengujian AC Kontroler Satu Phase di Laboratorium Elektronika Daya", in Jurnal Teknologi dan Manajemen Pengelolaan Laboratorium (Temapela), 2019, ISSN 2621-0878.
 - [17] M. Resit dan Hakan, "Design and Implementation of Single-Phase AC Voltage Controller with Phase Trigerring Control" in 3rd Internasional Conference on Advanced Engineering Technologies, 2019, pp 491-497.
 - [18] U. Arifoglu, "Mathlab 7.14 Simulink ve Muhendislik Uygulamari" in Intanbul Alfa Basim Yayim Dagitim Turkey, 2012.
 - [19] M. H. Rashid, "Power Electronics Devices, Circuits, and Applications", London Pearson Education, UK, 2014.
 - [20] K. Chaturvedi dan A. Mahor, "Analysis of impact of triggering angle on an AC chopper", in Internasional Journal of Scientific Engineering and Technology, April 2012, vol. 1, pp 118-112.