



Pemodelan dan simulasi kontrol proporsional integral pada proses pembuatan pupuk kandang

Eka Zulia Agustin^{a,1}, Irianto Irianto^a, Hendik Eko Hadi^a

^aProgram Studi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

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

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 04 Juli 2020

Direvisi pada 20 Juli 2020

Disetujui pada 06 September 2020

Tersedia daring pada 15 November 2020

Kata kunci:

Kontrol proporsional integral, kotoran kambing, suhu pengeringan.

Keywords:

Proportional integral control, goat manure, drying temperature.

ABSTRAK

Dalam proses dekomposisi (pembusukan) pupuk kandang dari kotoran kambing, faktor suhu sangat berpengaruh pada tingkat kematangan pupuk kandang. Suhu untuk melakukan proses pembusukan pada kotoran kambing sebesar 50°C karena mikroorganisme yang berperan dalam proses dekomposisi dapat bekerja secara optimal. Secara konvensional, pengamatan suhu pada proses pembusukan dilakukan di bawah 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. Dengan adanya sistem pengontrol suhu dalam proses dekomposisi (pembusukan), suhu kotoran kambing akan konstan sebesar 50°C. Pada penelitian ini, teknik pengontrol suhu pada kotoran kambing dimodelkan dan disimulasikan menggunakan kontrol PI (proporsional integral). Kontrol PI dimodelkan untuk menentukan nilai Kp dan Ki serta disimulasikan untuk mengatur tegangan keluaran konverter yang mengontrol tegangan AC yang disebut dengan AC-AC voltage controller. Untuk mendapatkan nilai parameter Kp dan Ki, diperlukan pengujian *open-loop* dengan beban kotoran kambing sebesar 5000 gram sehingga mendapatkan suhu dalam kondisi *steady*. 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 0,3%. Dengan pengontrol suhu menggunakan kontrol PI ini waktu pengeringan kotoran kambing hingga menjadi pupuk kandang lebih cepat dan efisien.

ABSTRACT

In the process of manure decomposition (decay) from goat dung, the temperature factor is very influential in the maturity level of manure. The temperature for the decay process in goat dung is 50°C because micro-organisms that play a role in the decomposition process can work optimally. Conventionally, the observation of temperature in the decay process is carried out under the sunlight depending on the weather changes, so that the drying time is long and inefficient. Therefore, a temperature control system in goat dung is needed, using a heater sourced from AC-AC Voltage Controller. With the temperature control system in the process of decomposition (decay), the temperature of goat dung will be constant by 50°C. In this study, the temperature control technique of goat manure is modeled and simulated using the PI (proportional integral) controls. The PI control is modeled to determine the value of Kp and Ki and is simulated to regulate the output voltage of the converter that controls the AC voltage called the AC-AC Voltage Controller. To obtain the value of the Kp and Ki parameters, an open-loop test is required with a goat load of 5000 grams so that the temperature is in steady condition. 170 VRMS voltage used as a voltage set point in the AC-AC Voltage Controller Control 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 to reach a steady condition is 12 minutes with a steady state error of 0,3%. With this PI control, the drying time of goat dung to become manure is faster and more efficient.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.8492>



1. Pendahuluan

Secara umum proses pengomposan dibantu oleh mikroorganisme contohnya bakteri atau mikroba. Mikroorganisme dapat bekerja secara optimal pada suhu antara 45°C hingga 55°C [1]. Mikroorganisme akan mati jika suhu terlalu tinggi dan akan berhenti bekerja jika suhu terlalu rendah. Dengan demikian, dalam proses dekomposisi (pembusukan) pupuk kandang dari kotoran kambing, faktor suhu sangat berpengaruh pada tingkat kematangan pupuk kandang. Penggunaan pupuk kandang yang belum matang dapat menghalangi perkembangan tumbuhan karena kehilangan unsur nitrogen yang dibutuhkan oleh tumbuhan [2]. 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) [3].

Dalam proses pengomposan kotoran kambing, kematangan pupuk yang belum sempurna disebabkan oleh perubahan cuaca, terutama saat musim hujan sehingga suhu dalam proses pengomposan menjadi tidak stabil. Secara konvensional, pemantauan suhu pada proses pembusukan dilakukan di bawah sinar matahari sehingga membutuhkan waktu yang lama dan tidak efisien [4]. Dari permasalahan perubahan cuaca dan lamanya proses pengomposan, maka dalam penelitian ini diperlukan sebuah rak pengering untuk mengontrol suhu pada proses pembuatan pupuk kandang. Dengan rak pengering ini proses pengontrolan suhu kotoran kambing akan lebih cepat dibandingkan dengan proses pengeringan langsung di bawah sinar matahari dan menghasilkan pupuk kandang dengan tingkat kematangan yang lebih sempurna. 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. Pada penelitian sebelumnya waktu yang diperlukan untuk membuat pupuk kandang dari kotoran kambing selama 34 hari [4].

Didalam rak pengering terdapat sistem pengontrol suhu pada kotoran kambing menggunakan *heater* yang bersumber dari *AC-AC voltage controller*. Dengan adanya sistem pengontrol suhu dalam proses dekomposisi (pembusukan), suhu kotoran kambing akan konstan sebesar 50°C [1]. Pada penelitian ini, teknik pengontrol suhu pada kotoran kambing dimodelkan dan disimulasikan menggunakan kontrol PI (proporsional integral) dengan metode analitik. Kontrol PI dimodelkan untuk menentukan nilai K_p dan K_i serta disimulasikan untuk mengatur tegangan keluaran konverter yang mengontrol tegangan AC yang disebut dengan *AC-AC voltage controller* [5]. Untuk mendapatkan nilai parameter K_p dan K_i , diperlukan pengujian *open-loop heater* dengan beban kotoran kambing sebesar 5000 gram sehingga mendapatkan suhu dalam kondisi *steady*. Kontrol PI pada penelitian ini dimodelkan 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* [5]. *AC-AC voltage controller* diatur tegangan keluarannya dengan kontrol PI agar konstan 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 K_p sebesar 2,9162814587 dan nilai K_i sebesar 1,7462763226. Waktu yang diperlukan respon untuk mencapai kondisi *steady* sebesar 12 menit dengan *error steady state* sebesar 0,3%. Dengan pengontrol suhu menggunakan kontrol PI metode analitik ini waktu pengeringan kotoran kambing hingga menjadi pupuk kandang lebih efektif dan efisien.

2. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, kajian dilakukan dengan menggunakan pendekatan survei lapangan, pengujian *open-loop* dengan beban kotoran kambing 5000 gram, penentuan nilai K_p dan K_i , pemodelan kontrol PI serta simulasi kontrol PI pada *AC-AC voltage controller* dengan software Matlab [6]. Pendekatan survei lapangan dilakukan pada Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya dengan proses pengeringan kotoran kambing hingga menjadi pupuk kandang memakan waktu selama 2 minggu di bawah sinar matahari. Lamanya waktu pengeringan dikarenakan perubahan cuaca sehingga mengakibatkan suhu kotoran kambing tidak stabil.

2.1. Pengujian Open-Loop dengan Beban Kotoran Kambing 5000 Gram

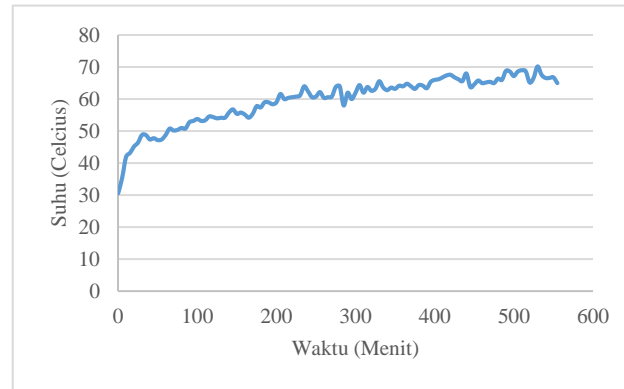
Pengujian *heater* dengan beban adalah pengujian yang digunakan untuk melihat respon suhu di dalam inkubator ruang pengering yang sudah dibebani dengan beban yang diinginkan. Beban yang digunakan dalam pengujian ini berupa kotoran kambing yang total beratnya kurang lebih 5000 gram. Untuk mengetahui respon 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 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. 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

Menit	Time (WIB)	Suhu (°C)
435	18.00	65,6
475	18.40	65
515	19.20	68,7
555	20.00	65

Dari tabel di atas dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik karakteristik seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva pengujian *open-loop* untuk menentukan nilai K_p dan K_i .

2.2. Penentuan Nilai K_p dan K_i

Kontrol suhu pada proses pembuatan pupuk kandang menggunakan kontrol proporsional integral (PI) dengan metode analitik, dimana penentuan nilai K_p dan K_i bergantung pada nilai t_s (*time settling*) [7]. Nilai K_p dan K_i berlaku sebagai *gain* (penguat) tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler untuk memperbaiki respon *transient* khususnya *rise time* dan *settling time*. Pengendali PI dipilih karena sederhana dan mampu melakukan aksi *control* dalam sistem dinamis. Pengontrol PID digunakan oleh lebih dari 85% sistem kontrol dari sistem dinamis (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 [8]. 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 [9].

Nilai 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 [7].

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 1.

Berdasarkan grafik pada Gambar 1 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
Set point yang diinginkan	= 50°C setara dengan 170 Volt
t_s (<i>time settling</i>)	= 500 menit

Mencari nilai konstanta k

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

Time konstan

$$\tau = \frac{1}{5} \times t_s = \frac{1}{5} \times 500 = 100 \text{ menit} = 1,67 \text{ jam} \quad (2)$$

OLTF (*open-loop transfer function*)

$$\frac{k}{\tau_s + 1} = \frac{1,7352941176}{1,67s + 1} \quad (3)$$

Perhitungan *time* konstant baru

$$t_s^* = 5\tau^* \quad (4)$$

$$t_s^* = 100 \text{ menit (desain/bebas)}$$

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

Maka *close-loop transfer function* baru

$$\frac{1}{\tau_s + 1} = \frac{1}{0,33s + 1} \quad (6)$$

Sehingga nilai K_p dan K_i dapat dicari melalui

$$K_p = \frac{\tau}{k \times \tau^*} = \frac{1,67}{1,7352941176 \times 0,33} = 2,9162814587 \quad (7)$$

$$K_i = \frac{K_p}{\tau} = \frac{2,8194805194}{1,67} = 1,7462763226 \quad (8)$$

3. Pengujian dan Simulasi

3.1. Pengujian AC-AC Voltage Controller dengan Penyulutan Sudut

Pada Tabel 2 memuat hasil pengujian *hardware AC-AC voltage controller* 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 220 Volt [10]. Rangkaian TCA785 ini dapat dikontrol secara manual (menggunakan *trimpod* 10k) atau dapat juga menggunakan mikrokontroler. Pada keadaan umum semakin besar sudut penyulutan pada *AC-AC voltage controller* maka akan semakin kecil tegangan keluaran yang dikeluarkan oleh *AC-AC voltage controller* [11].

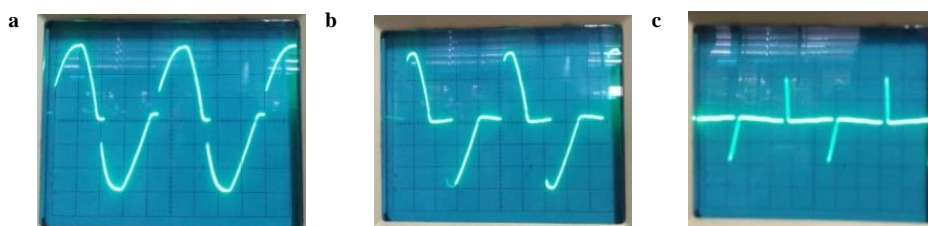
AC-AC voltage controller adalah konverter yang mengontrol tegangan, arus, dan daya rata-rata yang dikirim ke beban AC dari sumber AC. Komponen utama dari *AC-AC voltage controller* adalah *triac* atau *thyristor* (SCR) yang dipasang secara anti-paralel. Skema pengaturan sakelar dari *AC-AC voltage controller* ada dua, yang pertama dengan *phase control*, yaitu pengaturan sakelar berlangsung setiap siklus sumber, dimana gelombang tegangan dari sumber ke beban akan terhapus setiap siklusnya [12]. Skema pengaturan sakelar yang kedua adalah dengan *integral cycle*, dimana tegangan *output* pada beban akan terhapus untuk beberapa siklus [13].

Prinsip operasi untuk *fase tunggal* tegangan *AC AC voltage controller* menggunakan kontrol *fase* sangat mirip dengan yang dikendalikan setengah gelombang *rectifier*. Pada keadaan tersebut, 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 menggunakan simetri hasil tersebut dapat diekstrapolasi untuk menggambarkan operasi untuk seluruh periode [14].

Tabel 2. 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
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

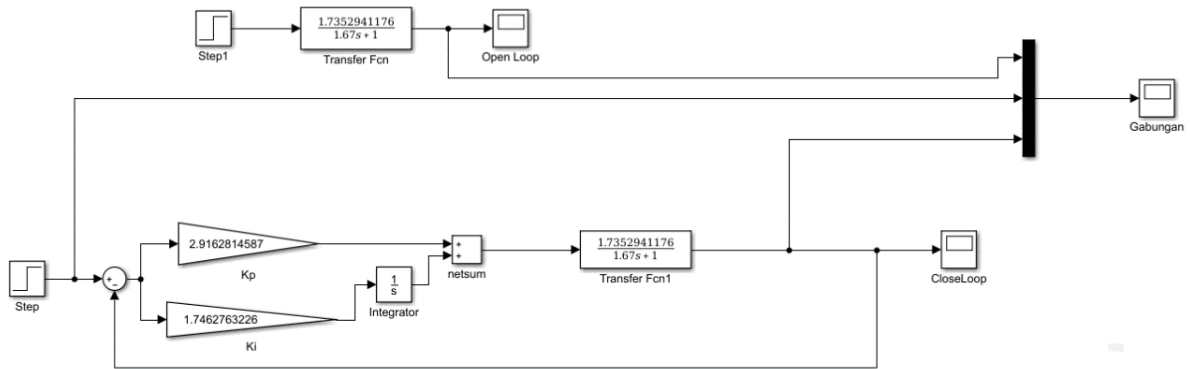
Gelombang pada beberapa penyulutan sudut pada keluaran *AC-AC voltage controller* yang dilihat melalui *oscilloscope* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil pengujian *AC-AC voltage controller* (a) Penyulutan 25° , (b) Penyulutan 81° , dan (c) Penyulutan 167° .

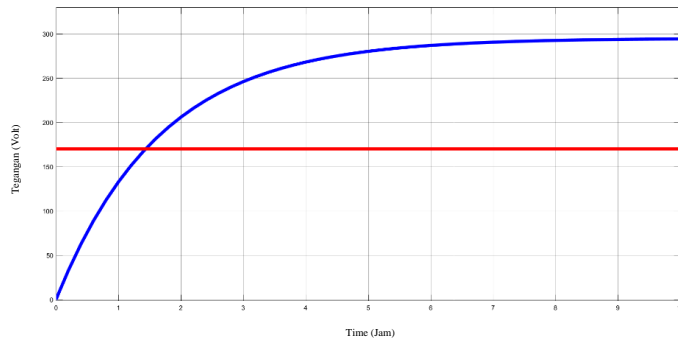
3.2. *Pemodelan Kontrol PI*

Berdasarkan perhitungan nilai K_p dan K_i pada persamaan (7) dan (8) dapat dimodelkan pada *software* Matlab yang dapat dilihat pada Gambar 3.



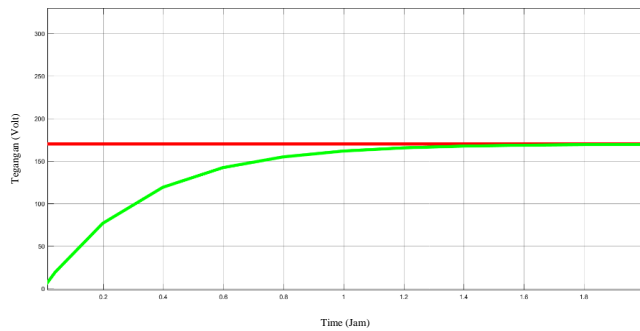
Gambar 3. Blok diagram simulasi kontrol PI.

Adapun respon *steady state* dan respon *close-loop* dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



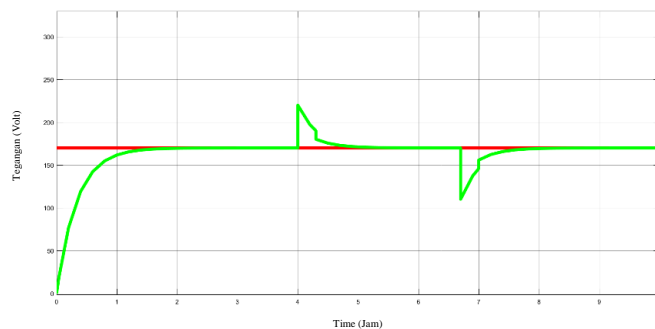
Gambar 4. Respon *steady state*.

Gambar 4 adalah grafik respon *steady state* yaitu respon dalam kondisi tetap atau stabil. Respon warna biru merupakan respon suhu pada kondisi *steady* dalam menit ke 500 yaitu dengan suhu *steady* sebesar 65°C. Respon warna merah merupakan respon suhu pada *setting point* 50°C yang setara dengan tegangan konstan sebesar 170 V_{RMS} .



Gambar 5. Respon *close-loop* sistem.

Gambar 5 adalah grafik respon *close-loop* sistem atau respon sistem aliran tertutup. Respon warna hijau merupakan respon suhu pada *close-loop* sistem yang telah terkontrol dalam menit ke 100 telah mencapai suhu *setting point* sebesar 50°C dengan menggunakan metode analitik. Respon warna merah merupakan respon suhu pada *setting point* 50°C yang setara dengan tegangan konstan sebesar 170 V_{RMS} .

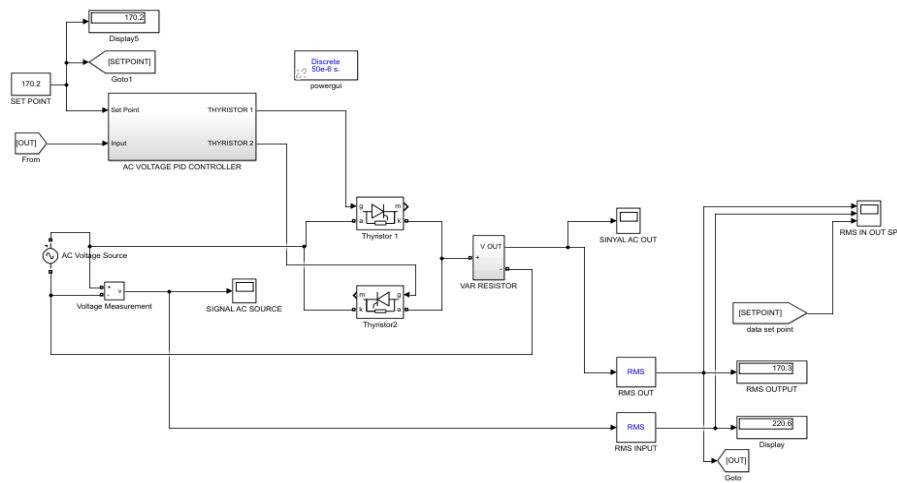


Gambar 6. Respon *close-loop* sistem dengan *disturbance*.

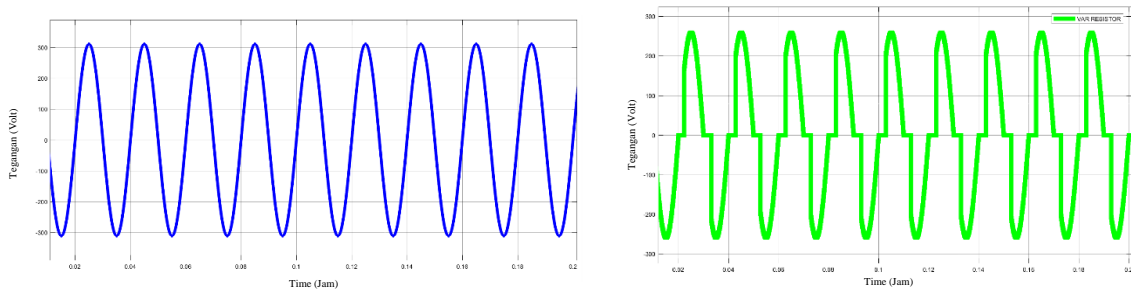
Gambar 6 adalah grafik respon *close-loop* sistem dengan *disturbance*. Untuk membuktikan bahwa kontrol PI dapat bekerja, maka kontrol PI harus diberikan *disturbance* atau gangguan sinyal masukan. Respon warna hijau merupakan respon *close-loop* sistem dengan *disturbance*. Respon warna merah merupakan respon suhu pada *setting point* 50°C yang setara dengan tegangan konstan sebesar 170 V_{RMS}. Pada saat menit ke-240 diberikan gangguan berupa suhu tinggi, kemudian sistem kontrol PI akan bekerja untuk mengembalikannya pada *setting point* pada menit ke-300. Pada saat menit ke-402 diberikan gangguan berupa suhu rendah. Sistem kontrol PI akan bekerja untuk mengembalikannya pada *setting point* pada menit ke-450. Jika respon sistem *close-loop* saat diberi *disturbance* akan kembali pada *setting point* maka kontrol dapat dikatakan bekerja.

3.3. Simulasi AC-AC Voltage Controller dengan Kontrol PI

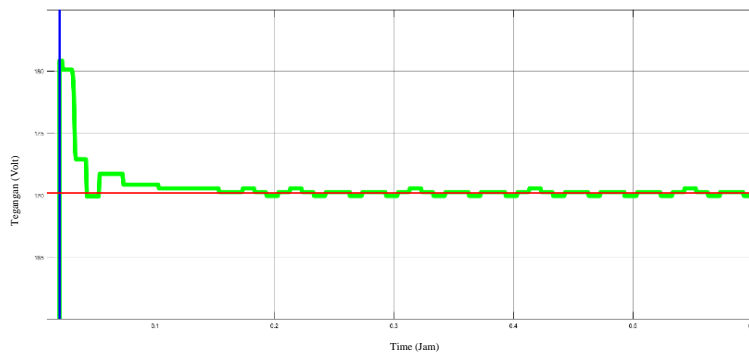
Kontrol PI pada *hardware AC-AC voltage controller* digunakan agar suhu dapat mencapai *setting point* lebih cepat dan dapat menaikkan atau menurunkan tegangan *heater* jika suhu berubah-ubah akibat beban kotoran kambing berkurang atau saat proses pengadukan kotoran kambing. Pada simulasi *close-loop* kontrol PI pada *AC-AC voltage controller* ini dilakukan pada *software* Matlab [6]. 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 dan hasil dari *AC-AC voltage controller* dengan kontrol PI dapat dilihat pada Gambar 7 - Gambar 9.



Gambar 7. Simulasi AC-AC voltage controller dengan kontrol PI.



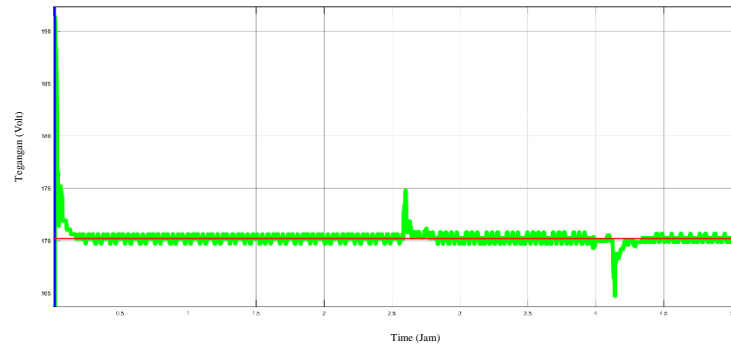
Gambar 8. Gelombang tegangan (a) Input AC-AC voltage controller; (b) Output AC-AC voltage controller



Gambar 9. 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 0,3%. Untuk membuktikan agar kontrol PI dapat berjalan sesuai fungsinya, maka diberikan *disturbance* atau gangguan berupa beban yang berubah atau variasi resistansi beban. Pada penelitian sebelumnya waktu yang diperlukan untuk membuat pupuk kandang dari kotoran kambing selama 34 hari. Setelah disimulasikan dalam penelitian ini, waktu yang diperlukan respon untuk mencapai kondisi *steady* pada hasil

simulasi sebesar 12 menit. Sehingga waktu yang diperlukan untuk membuat pupuk kandang kurang dari 34 hari. Pada Gambar 10 merupakan simulasi sistem *close-loop AC-AC voltage controller* dengan variasi resistansi beban.



Gambar 10. 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 0,3%. Sehingga dalam penerapan dengan pengontrol suhu menggunakan kontrol PI ini waktu pengeringan kotoran kambing hingga menjadi pupuk kandang lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan cara konvensional di bawah sinar matahari yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca yang sewaktu-waktu dapat berubah. Dalam penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian integrasi secara *close-loop AC-AC voltage controller* sebagai pengontrol tegangan AC untuk menstabilkan suhu pada proses pembuatan pupuk kandang.

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] Marsono, & Sigit, P. (2001). *Pupuk Akar Jenis dan Aplikasi*. Jakarta: PT Penebar Swadaya.
- [2] Trivana, L., & Pradhana, A. Y. (2017). Optimalisasi waktu pengomposan dan kualitas pupuk kandang dari kotoran kambing dan debu sabut kelapa dengan bioaktivator PROMI dan Orgadec. *Jurnal Sains Veteriner*, vol. 35, no. 1, pp. 136-144.
- [3] Peraturan Menteri Pertanian NOMOR 70/Permentan/SR.140/10/2011.
- [4] Kharis, V. D., Zulhelmi, & Syaryadhi, M. (2017). Monitoring suhu dan kelembaban menggunakan mikrokontroler ATmega328 pada proses dekomposisi pupuk kompos. *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 91-98.
- [5] Kalla, U. K., Kumar, P., Suthar, R. & Bhardwaj, T. (2018). Power quality analysis of single phase conventional AC chopper based small power heating oven systems. *8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, pp. 1-6.
- [6] Arifoglu, U. (2012). *Matlab 7.14 Simulink & Muhendislik Uygulamari*. Turkey: Alfa Yayınları.
- [7] Sreeraj P V. (2013). Design and implementation of PID controller with lead compensator for thermal process. *International Journal of Computer Applications*, vol. 67, no. 1, pp. 0975–8887.
- [8] Alam, A. A., Syahrial, & Taryana, N. (2015). Pemodelan dan simulasi *automatic voltage regulator* untuk generator sinkron 3 KVA berbasis propositional integral. *Jurnal Reka Elkomika*, vol. 3, no. 02, pp. 97-110.
- [9] Rudyanto, B., Susanto, A., & Sasmiati, Y. (2016). Aplikasi kontrol PI (*proportional integral*) pada katup ekspansi mesin pendingin. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, vol. 9, no. 2, pp. 89-105.
- [10] Lastera, I. W. (2019). Pemanfaatan rangkaian adapter untuk meningkatkan rentang tegangan uji AC *osiloskop* pada pengujian AC *kontroler* satu phase di Laboratorium Elektronika Daya. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Pengelolaan Laboratorium (Temapela)*, vol. 2, no. 1, pp. 11-16.
- [11] Corapsiz, M. R., Kahveci, H., & Corapsiz, M. F. (2019). Design and implementation of single-phase AC voltage controller with phase triggering control. *3rd Internasional Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET)*, pp 491-497.
- [12] Chaturvedi, K. Mahor, D. A. & Dwivedi, A. (2012). Analysis of impact of triggering angle on an AC chopper in terms of harmonic distortion & power factor. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 118-122.
- [13] Hart, D. W. (2010). *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill Education.
- [14] Rashid, M. H. (2014). *Power Electronics Devices, Circuits, and Applications Fourth Edition*. London: Pearson Education Limited.