

PENGONTROL SUHU, KELEMBABAN TANAH DAN INTENSITAS CAHAYA PADA PROTOTYPE SMART GREENHOUSE

Pradipta Megantara^{*)}, Aris Triwiyatno, dan Hadha Afrisal

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)E-mail: diptjoy@students.undip.ac.id}

Abstrak

Konsep greenhouse dianggap sebagai solusi optimal untuk produktivitas hasil panen dengan efektivitas dan efisiensi. Faktor yang dikontrol adalah suhu, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Agar mendapatkan lingkungan yang baik, diperlukan suatu sistem pengontrolan pada ruangan tersebut dengan otomatis. Dalam penelitian ini dilakukan pengontrolan suhu dengan menggunakan kontroler Proportional Integral Derivative (PID), pengontrolan intensitas cahaya dengan kontrol Proporsional Integral (PI), pengontrolan kelembaban tanah dengan kontrol on-off. Kontroler PID dan PI digunakan untuk mencapai dan mempertahankan nilai referensi parameter dengan cara mengoreksi error dan kontrol on-off digunakan untuk mencapai nilai referensi parameter yang sudah ditentukan. Dengan mikrokontroler ATmega 2560, sinyal kontrol akan diteruskan ke driver untuk mengontrol aktuator suhu, intensitas cahaya dan kelembaban tanah. Pada Kontrol PID nilai K_p 267.04, nilai K_i 20.7, dan nilai K_d 861.23 yang didapatkan dengan menggunakan tuning Ziegler Nichols metode FOPDT sementara kontrol PI nilai K_p 0.00041, K_i 0.000075 yang didapatkan dengan menggunakan tuning Ziegler Nichols dengan Metode FOPDT. Dari hasil pengujian pengontrolan suhu menggunakan metode PID memiliki error steady state rata – rata sebesar 1.52% dan nilai overshoot 75%. Kontroler PI memiliki error steady state rata – rata sebesar 2.26% dan nilai overshoot 0.02%. Kontroler on-off memiliki error steady state rata-rata sebesar 13.72% dan nilai overshoot 86%.

Kata-kunci : PID, PI, On-Off, Ziegler Nichols, FOPDT, kontrol suhu, kontrol intensitas cahaya, kontrol kelembaban tanah, error steady state, overshoot.

Abstract

The greenhouse concept is considered to be the optimal solution for yield productivity with effectiveness and efficiency. Controlled factors are temperature, soil moisture, and light intensity. In this study, temperature control was carried out using a Proportional Integral Derivative (PID) controller, controlling light intensity with Proportional Integral (PI) control, controlling soil moisture with on-off control. PID and PI controllers are used to achieve and maintain parameter reference values by correcting errors and on-off control is used to achieve predetermined parameter reference values. PID control the K_p value is 267.04, the K_i value is 20.7, and the K_d value is 861.23 which is obtained by using the Ziegler Nichols tuning FOPDT method while the PI control value is K_p 0.00041, K_i 0.000075 which is obtained using Ziegler Nichols tuning with the FOPDT method. The test results of temperature control using the PID method has an average steady state error of 1.52% and an overshoot value of 75%. PI controller has an average steady state error of 2.26% and an overshoot value of 0.02%. The on-off controller has an average steady state error of 13.72% and an overshoot value of 86%.

Keywords: PID, PI, On-Off, Ziegler Nichols, FOPDT, temperature control, light intensity control, soil moisture control, error steady state, overshoot.

1. Pendahuluan

Dengan meningkatnya jumlah penduduk di dunia, permintaan akan tanaman pangan berkualitas meningkat dari hari ke hari. Namun, luas lahan pertanian dunia semakin berkurang karena berbagai alasan seperti industrialisasi, urbanisasi yang cepat, dan polusi. Selain itu, tidak semua tanaman dapat ditanam dalam kondisi

yang sama baik di negara tropis maupun non-tropis karena kondisi iklim dan musim yang berbeda-beda. Oleh karena itu, produksi tanaman semusim dalam kondisi iklim yang terkendali atau lebih dikenal dengan konsep greenhouse dianggap sebagai alternatif terbaik untuk mendapatkan manfaat yang optimal dari lahan yang dapat diolah yang tersedia[1].

Namun terdapat beberapa kelemahan dari greenhouse konvensional yaitu membutuhkan pemantauan, pemeliharaan dan perawatan yang konstan. Hujan yang turun tidak menyentuh tanaman yang berada di dalam greenhouse maka diperlukan banyak perhatian pada tingkat kelembaban tanah. Oleh karena itu, penting untuk terus memantau penyiraman ke tanaman di greenhouse yang dapat memakan waktu dan bahkan biaya tambahan. Selain itu, suhu greenhouse juga harus dipantau karena nilainya bervariasi seiring waktu dalam setahun. Kontrol suhu dan ventilasi yang tidak tepat dapat menyebabkan tanaman layu atau mati. Jika kondisi lingkungan di dalam greenhouse dapat dikontrol secara otomatis, banyak uang dan waktu yang dapat dihemat. Konsep Smart Greenhouse dapat dianggap sebagai solusi untuk masalah ini [2]. Dengan menggunakan sistem ini, faktor lingkungan penting seperti suhu, kelembaban tanah, dll. Di dalam greenhouse dapat dipantau dan dikontrol secara terus menerus. Selanjutnya, pengguna dapat memprediksi kebutuhan tanaman untuk panen berikutnya dengan mempelajari data pemantauan dan pengendalian panen saat ini.

Telah diidentifikasi bahwa laju fotosintesis bergantung pada jumlah energi cahaya yang jatuh ke daun karena intensitas cahaya mengurangi laju fotosintesis berkurang dan laju respirasi meningkat oleh karena itu untuk mendapatkan hasil maksimal dari produksi pangan tanaman laju fotosintesis perlu dipertahankan tinggi di siang hari tetapi tidak mungkin untuk mengontrol jika tanaman ditanam di luar rumah kaca. Suhu atmosfer dapat turun ke nilai di bawah suhu optimal dan mengurangi tingkat respirasi dan fotosintesis tanaman dan ketika suhu dijaga pada nilai yang turun dari nilai optimal, hasil akan berkurang jika tanaman mengalami kondisi lingkungan alami. Ini harus dipahami sebagai istilah fotosintesis dan respirasi. Fotosintesis adalah proses dimana makanan dibuat oleh tumbuhan. Fotosintesis adalah proses dimana makanan dibuat oleh tumbuhan. Mereka menyerap CO₂ dan H₂O dari atmosfer dan menggunakan energi cahaya untuk mengubahnya menjadi molekul glukosa dan menyimpannya sebagai glikogen. Oksigen dibentuk sebagai produk sampingan dalam proses ini. Respirasi adalah proses di mana makanan (molekul organik) dipecah untuk melepaskan CO₂, H₂O dan energi. Proses ini bergantung pada penggunaan enzim untuk operasi dan enzim bergantung pada suhu. Pada suhu tinggi sekitar 50°C, enzim mengalami perubahan sifat dan pada suhu rendah enzim menjadi tidak aktif [3]. Oleh karena itu pengontrolan suhu merupakan kebutuhan esensial dalam rumah kaca. Karena proses-proses yang disebutkan di atas di dalam suatu greenhouse diperlukan suatu suhu yang terkontrol, intensitas cahaya dan tingkat kelembaban tanah yang diperlukan dan itu harus dilakukan dengan sistem otomatis.

Selain suhu, intensitas cahaya menjadi salah satu besaran yang dikontrol keluarannya. Pada penelitian sebelumnya,

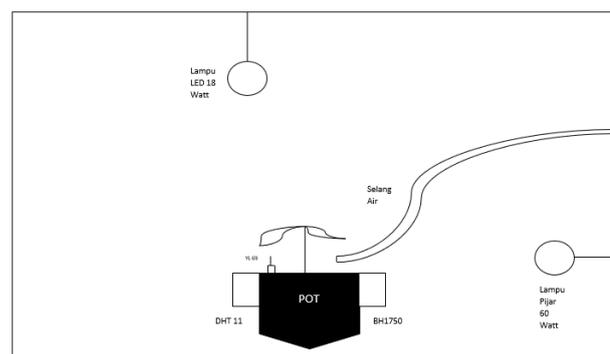
suhu dan intensitas cahaya dikontrol hanya menggunakan relay saja yang cenderung kurang efektif untuk mengatur keluaran [4]. Pada penelitian ini digunakan metode kontrol PID Kontrol PID. Dengan metode kontrol ini, besar parameter PID yang digunakan oleh modul kontrol dijadwal berdasarkan titik kerja atau kondisi operasi yang dihadapi

Mikrokontroler Arduino Mega 2560 [5] digunakan sebagai pusat pengontrolan, sinyal kontrol akan dikirimkan melalui modul driver Motor L298N [6] untuk kelembaban tanah dan modul driver Robotdyn Light Dimmer [7] untuk intensitas cahaya dan suhu. Aktuator yang digunakan berupa lampu pijar 60 Watt untuk suhu, lampu LED 18 Watt untuk intensitas cahaya dan pompa air DC 12 volt untuk kelembaban tanah. Sensor yang digunakan meliputi sensor suhu DHT11 [8], sensor intensitas cahaya BH-1750 [9], dan sensor kelembaban tanah YL69 [10].

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras ini mikrokontroler ATmega 2560 digunakan sebagai pusat pengaturan seluruh kerja sistem [11]. Mikrokontroler ini membaca masukan sensor suhu (DHT11), intensitas cahaya (BH1750), kelembaban tanah (YL69) lalu mengolah data hasil pembacaan untuk mengatur parameter agar sesuai set point melalui pengaturan aktuator berupa pompa air DC 12 volt untuk pengaturan kelembaban tanah yang dikendalikan oleh modul driver PWM L920N dan pengaturan aktuator lampu pijar yang memanfaatkan panas untuk pengaturan suhu dengan lampu LED untuk pengaturan intensitas cahaya yang dikendalikan oleh modul driver PWM AC Robotdyn Light Dimmer [12].



Gambar 1. Blok Diagram Perangkat keras

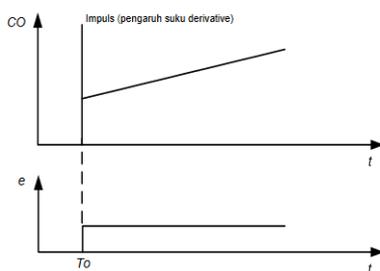
Mikrokontroler STM32F103C8T6 menerima data analog dari 2 transducer suhu dan 2 transducer cahaya. Kemudian mikrokontroler akan mengendalikan kipas pendingin dan lampu dengan cara memberikan sinyal pulsa kepada driver PWM masing – masing aktuator berdasarkan masukan yang diterima dari mikrokontroler.

2.2. Penalaan Kontrol

Pada tugas akhir ini menggunakan metode kontrol PID untuk mengontrol suhu, metode kontrol PI untuk mengontrol intensitas cahaya dan metode kontrol *On-Off* untuk mengontrol kelembaban tanah.

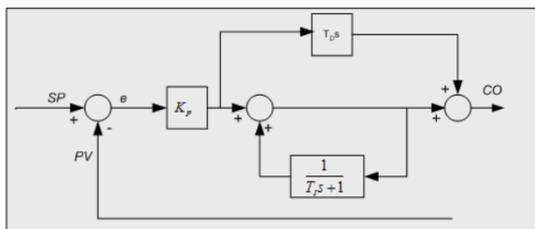
A) Penalaan Kontrol PID

Semua komponen pada controller PID jenis ideal ini bekerja pada *masukan error* penggerak. Hubungan antara masukan *error* penggerak dengan *output* controller PID tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Aksi kontrol PID [13]

Kontrol PID ideal juga dapat *direalisasikan* dengan mengacu pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Diagram blok *alternative* kontrol PID [13]

Terkait dengan nilai parameter controller yang harus dipilih, tabel 1 dibawah memperlihatkan metode tuning empiris yang dapat *digunakan* pada pengontrolan model proses FOPDT.

Tabel 1. Metode *tuning* kontrol PID ideal untuk proses FOPDT [13]

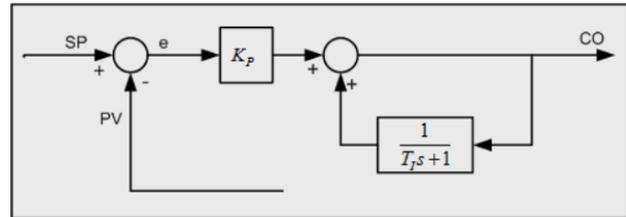
Metode	K_p	T_i	T_D	Keterangan
Ziegler-Nichols I	$\frac{1.2T}{KL}$	$2.L$	$0.5L$	Quarter decay ratio

B) Penalaan Kontrol PI

Penambahan blok integrator di dalam controller pada dasarnya dimaksudkan untuk menggantikan sinyal bias manual (atau manual *reset*) yang berfungsi menghilangkan *error steady*. Selama masih terdapat selisih atau *error*

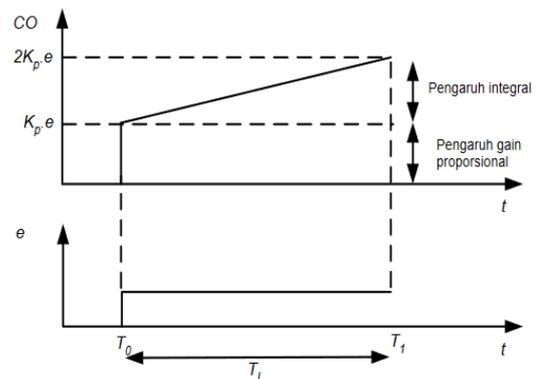
antara *Setpoint* dengan variabel proses maka output controller PI akan selalu membesar atau mengecil.

Kontrol PI dapat juga direalisasikan dalam bentuk diagram blok seperti nampak pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok *alternative* kontrol PI [13]

Salah satu kelebihan struktur PI alternatif pada gambar 4 tersebut adalah dapat disisipkannya model saturasi dalam controller yang berfungsi sebagai *antiwindup*

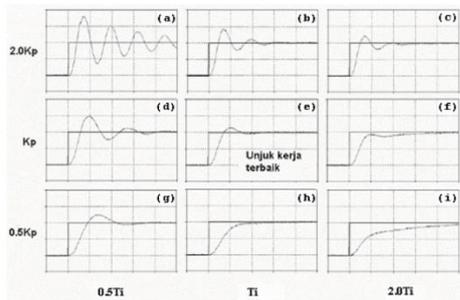


Gambar 5. Aksi Kontrol *Proportional Integral* (PI) [13]

Untuk nilai K_p dan T_i yang dipilih, kontribusi suku *integral* akan sama nilainya dengan pengaruh kontrol *proporsional* setelah selang waktu T_i (lihat gambar 5). Seperti halnya dengan *gain Proporsional*, pemilihan parameter waktu (atau *gain*) *integral* pada kontrol PI secara praktis akan sangat mempengaruhi dinamika keluaran variabel *output* proses yang sedang dikontrol. Jika kedua parameter kontrol (K_p dan T_i) ini dipilih secara tepat, maka respon yang didapat akan optimal (sesuai harapan). Pembesaran atau pengecilan nilai K_p dan T_i dari nilai optimalnya dapat menyebabkan respon menjadi terlalu lambat atau terlalu beresilasi. Gambar 6 dibawah memperlihatkan pengaruh pembesaran (pengecilan) K_p dan T_i dari nilai optimalnya terhadap dinamika *output* [13].

Berdasarkan ilustrasi gambar 6 tersebut, dapat dilihat bahwa untuk nilai K_p yang tetap, pengecilan nilai T_i (atau pembesaran K_i) dari nilai optimalnya akan menyebabkan respon proses semakin beresilasi dengan perioda osilasi yang *relative* lama, sedangkan jika nilai T_i tersebut diperbesar (atau nilai K_i diperkecil) dari nilai optimalnya, maka hal tersebut akan menyebabkan respon proses akan

semakin lambat (*sluggish*) dalam menanggapi perubahan *SetPoint* (atau merespon gangguan).



Gambar 6. Pengaruh pembesaran (pengecilan) K_p dan T_i terhadap respon output proses. [13]

Hal yang *relative* sama terjadi pada kasus pembesaran *gain proporsional* dari nilai optimalnya (hanya saja perioda osilasi yang dihasilkan *relative* lebih cepat). Berdasarkan gambar 6 diatas, dapat dilihat juga respon *output* proses jika kedua parameter kontroler tersebut diubah secara simultan.

Seperti pada kasus kontrol *Proporsional*, nilai parameter PI yang optimal itu sendiri pada dasarnya sangat tergantung dari model dan nilai parameter proses yang dikontrol [13]. Tabel 2 memperlihatkan sejumlah metode yang dapat digunakan sebagai tuning awal nilai parameter kontrol PI untuk model proses FOPDT.

Tabel 2. Metode tuning kontrol Proporsional Integral untuk proses FOPDT [13]

Metode	K_p	T_i	Keterangan
Ziegler Nichols	$\frac{0.9T}{K.L}$	3.33L	Quarter decay ratio $\frac{L}{T} \leq 1$

C) Penalaran Kontrol On-Off

Pada kontrol *on-off*, elemen penggerak hanya mempunyai dua posisi yaitu “on” dan “off”. Kontrol *on-off* memiliki karakter sinyal keluaran dan kontroler $m(t)$ tetap pada salah satu nilai maksimum atau minimum bergantung pada sinyal kesalahan penggerak, positif atau negatif [14]. Secara matematis kontrol *on-off* membentuk persamaan.

$$m(t) = M1 \text{ jika } e(t) > 0$$

$$m(t) = M2 \text{ jika } e(t) < 0$$

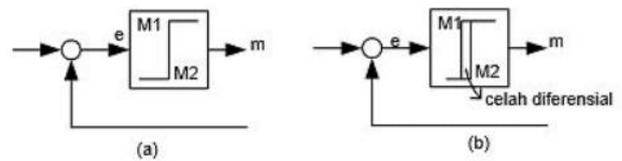
dimana:

- $m(t)$ = sinyal keluaran kontroler
- $e(t)$ = sinyal kesalahan penggerak
- $M1$ = nilaimaksimum dari $m(t)$ (ON)
- $M2$ = nilaiminimum dari $m(t)$ (OFF)

Nilai minimum $M2$ biasanya nol atau $-M2$. Kontroler dua posisi biasanya berupa perangkat listrik; salah satu contoh yang digunakan secara luas adalah katup dengan penggerak selenoid listrik. Kontroler proporsional

pneumatik dengan penguatan yang sangat tinggi bekerja sebagai kontroler dua posisi dan sering disebut kontroler dua posisi pneumatik [14].

Diagram blok kontroler dua posisi “on” dan “off” ditunjukkan seperti pada Gambar 2.13 Pada kontrol *on-off* terdapat daerah nilaisinyal kesalahan penggerak atau posisi “on” dan “off” yang disebut celah differensial (*differential gap*). Suatu celah differensial ditunjukkan pada Gambar 2.13(b). Celah differensial ini menyebabkan keluaran kontroler $m(t)$ tetap pada nilai actual sampai sinyal kesalahan penggerak bergeser sedikit dari nilai nol [14]. Pada beberapa kasus, celah differensial ini disebabkan oleh gesekan yang tidak diinginkan dan kelambanan gerak. Namun celah differensial ini terkadang diinginkan untuk mencegah operasi mekanisme “*on-off*” yang terlalu sering.



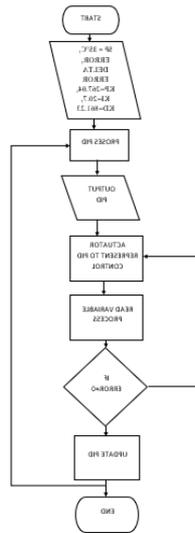
Gambar 7. (a) Diagram blok kontroler “on-off” (b) Diagram blok kontroler “on-off” celah differensial [14]

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada penelitian dibagi menjadi 3, perancangan untuk pengaturan suhu, perancangan untuk pengaturan intensitas cahaya, perancangan untuk pengaturan kelembaban tanah [15].

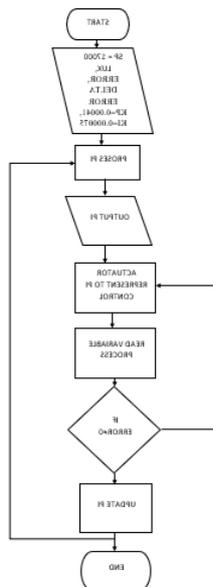
Perancangan program pengaturan suhu dapat direpresentasikan ke dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Berikut adalah algoritma dari program pengaturan suhu :

1. Program Mulai
2. Masukan kontrol PID, SP = 35°C
3. Komputasi kontrol PID
4. Keluaran PWM
5. Akhir Program



Gambar 8. Flowchart program pengaturan suhu

Perancangan program pengaturan intensitas cahaya dapat direpresentasikan dalam bentuk *flow chart* seperti Gambar 8.

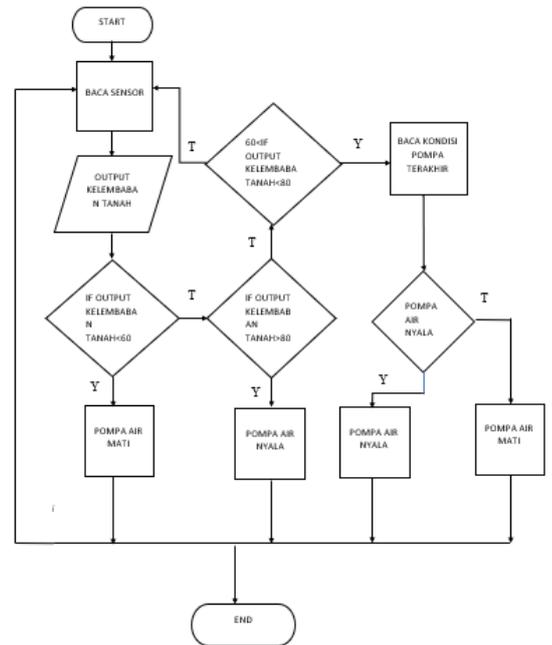


Gambar 9. Flowchart program pengaturan intensitas cahaya

Berikut adalah algoritma dari program pengaturan intensitas cahaya :

1. Program Mulai
2. Masukan kontrol PI, SP = 17000 lux
3. Komputasi kontrol PI
4. Keluaran PWM
5. Akhir Program

Perancangan program pengaturan kelembaban tanah dapat direpresentasikan dalam bentuk *flow chart* seperti gambar 3.10.



Gambar 10. Flowchart program pengaturan kelembaban tanah

3. Hasil dan Analisis

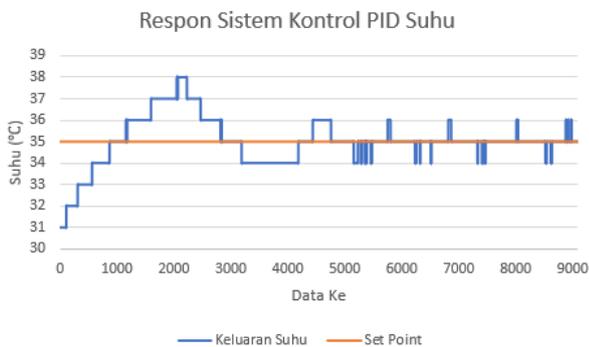
3.1. Pengujian Respon Sistem

Pengujian respon sistem dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem terhadap referensi suhu. Pengujian respon sistem pada penelitian ini meliputi pengujian respon sistem kontrol proportional integral derivative untuk suhu, pengujian respon sistem kontrol proportional integral untuk intensitas cahaya, dan pengujian respon sistem kontrol on-off untuk kelembaban tanah. Pada pengujian respon sistem kontrol proportional integral derivative dan respon sistem kontrol proportional integral diuji dengan gangguan untuk mengetahui respon sistem dalam mencapai referensi suhu dan intensitas cahaya yang diinginkan dan menanggapi gangguan yang terjadi.

A) Pengujian Pengaturan Suhu

Pengujian kontrol proportional integral derivative dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari kontrol proportional integral derivative dalam mencapai referensi suhu dan dalam menanggapi gangguan yang diberikan, yaitu berupa membuka atap box *prototype*. Pengujian kontrol proportional integral derivative dapat dibagi menjadi 2 pengujian yaitu pengujian *set point* suhu yang telah ditentukan tanpa gangguan dan pengujian *set point* suhu dengan gangguan. Dari pengujian ini dapat diketahui kemampuan kontrol proportional integral derivative dalam merespon *error* antara referensi suhu dan keluaran suhu untuk mencapai dan mempertahankan referensi suhu yang tetap. Waktu *sampling* yang digunakan pada pengujian ini selama 0.15 detik. Jadi tiap data mewakili 0.15 detik.

1) Pengujian Respon Sistem



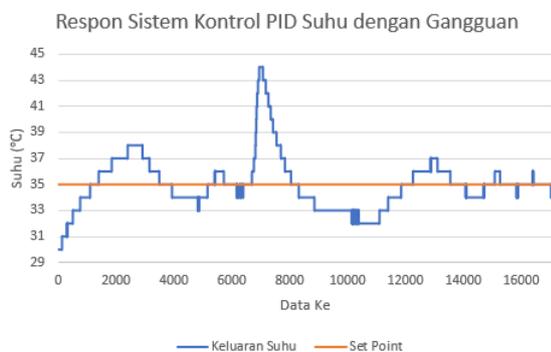
Gambar 11. Respon Sistem Kontrol PID Suhu

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa kontrol *proportional integral derivative* mampu mencapai dan mempertahankan keluaran suhu yang bernilai awal 31°C hingga mencapai 35°C. Waktu yang dibutuhkan oleh controller untuk mencapai suhu 35°C adalah 130.5 detik. Respon *Transient system* adalah $T_d = 65.25$ detik, $T_r = 140.25$ detik, $T_p = 320.7$ detik, $T_s = 639.15$ detik, $M_p = 75\%$. Dengan menggunakan metode *Mean Absolute Error (MAE)*, didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0.53 atau 1.52%.

Respon sistem yang muncul seperti pada Gambar 11 dikarenakan sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu (DHT11) tidak bisa membaca suhu dalam angka desimal namun hanya satuan.

2) Pengujian Respon Sistem dengan Gangguan

Pengujian respon sistem dengan gangguan dilakukan dengan mengirimkan referensi suhu sebesar 35°C yang kemudian diberi pengaruh dengan memanaskan ruangan dengan api. Hasil pengujian respon sistem secara keseluruhan ditunjukkan Gambar 4.2



Gambar 12. Respon Sistem Kontrol PID Suhu dengan Gangguan

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa gangguan diberikan ke sistem pada detik ke 900.6 (data ke 6604). Efek gangguan menyebabkan suhu naik dari referensi 35 °C menjadi 44 °C.

Settling time yang dibutuhkan sebesar 232.5 detik setelah sistem diberi gangguan. Dengan menggunakan metode *Mean Absolute Error (MAE)*, didapatkan nilai *error steady state* sebesar 1.29 atau 3.71%

Dari hasil pengujian respon sistem dengan gangguan dapat disimpulkan bahwa kontrol PID mampu bekerja dengan baik dalam menanggapi gangguan.

Dari hasil dan analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa kontrol PID dapat mempertahankan dan mencapai nilai *set point* dengan baik, dan memiliki *error steady state* rata – rata sebesar 1.29 atau 3.71% dan nilai *overshoot* 75%. Selain itu, kontroler PID dapat memenuhi parameter suhu dari *Smart Greenhouse*.

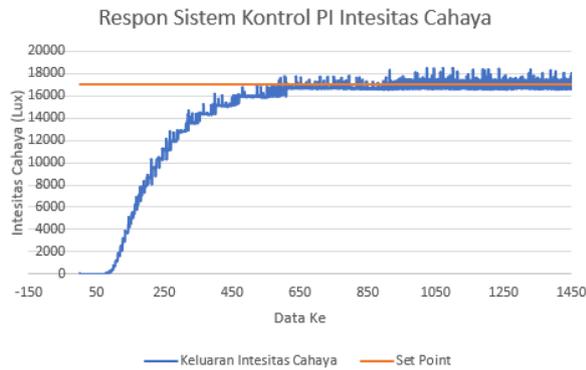
B) Pengujian Pengaturan Intesitas Cahaya

Pada pengujian pengaturan intensitas cahaya, dibagi menjadi 2, yaitu pengujian kontrol *proportional integral* dengan gangguan dan tidak dengan gangguan. Waktu *sampling* yang digunakan adalah 0.15 detik. Berarti, tiap 1 data mewakili 0.15 detik. Berikut merupakan respon sistem kontrol PI.

Pengujian kontrol *proportional integral* dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari kontrol *proportional integral* dalam mencapai referensi suhu dan dalam menanggapi gangguan yang diberikan, yaitu berupa memberi cahaya dari *flash* gawai. Pengujian kontrol *proportional integral* dapat dibagi menjadi 2 pengujian yaitu pengujian *set point* intensitas cahaya yang telah ditentukan dan pengujian *set point* suhu dengan gangguan. Dari pengujian ini dapat diketahui kemampuan kontrol *proportional integral* dalam merespon *error* antara referensi suhu dan keluaran suhu untuk mencapai dan mempertahankan referensi suhu yang tetap. Waktu *sampling* yang digunakan pada pengujian ini selama 0.15 detik. Jadi tiap data mewakili 0.15 detik.

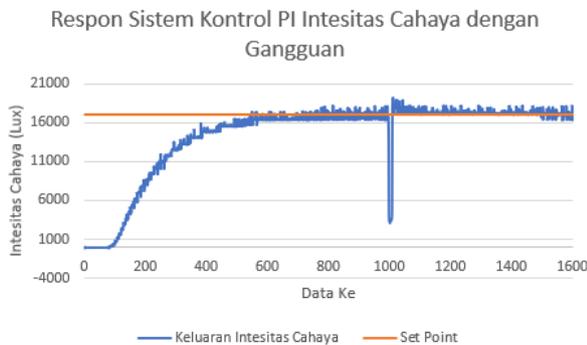
1) Pengujian Respon Sistem

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa kontrol *proportional integral* mampu mencapai dan mempertahankan keluaran suhu yang bernilai awal 2.5 lux hingga mencapai 17000 lux. Waktu yang dibutuhkan oleh controller untuk mencapai suhu 17000 lux adalah 87.45 detik. Respon *Transient system* adalah $T_d = 43.72$ detik, $T_r = 87.38$ detik, $T_p = 87.45$ detik, $T_s = 94.95$ detik, $M_p = 0.02\%$. Dengan menggunakan metode *Mean Absolute Error (MAE)*, didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0.02 atau 2.26%.



Gambar 13. Respon Sistem Kontrol PI Intesitas Cahaya

2) Pengujian Respon Sistem dengan Gangguan



Gambar 14. Respon Sistem Kontrol PI Intesitas Cahaya dengan Gangguan

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa gangguan diberikan ke sistem pada detik ke 150.15 (data ke 1001). Efek gangguan menyebabkan intensitas cahaya turun dari referensi 17000 lux menjadi 3388.33 lux.

Settling time yang dibutuhkan sebesar 3.45 detik setelah sistem diberi gangguan. Dengan menggunakan metode *Mean Absolute Error (MAE)*, didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0.02 atau 2.85%

Dari hasil pengujian respon sistem dengan gangguan dapat disimpulkan bahwa kontrol P mampu bekerja dengan baik dalam menanggapi gangguan.

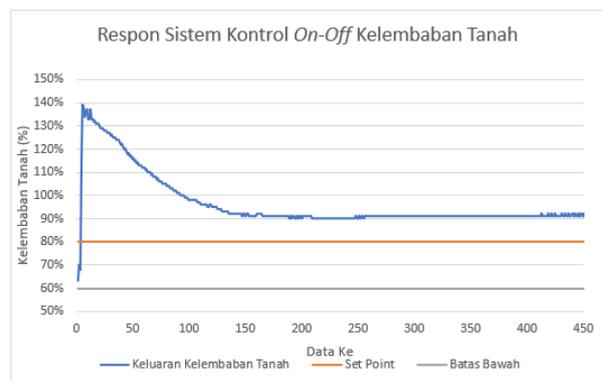
Dari hasil dan analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa kontrol PI dapat mempertahankan da

n mencapai nilai *set point* dengan baik, dan memiliki *error steady state* rata – rata sebesar 0.02 atau 2.85% dan nilai *overshoot* 0.02%. Selain itu, kontroler PI dapat memenuhi parameter intensitas cahaya untuk *Smart Greenhouse*.

C) Pengujian Kelembaban Tanah

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kontrol on-off keluaran kelembaban tanah yang bergerak bernilai awal 63% hingga mencapai 91%. Waktu yang dibutuhkan oleh kontroller on-off untuk mencapai kelembaban tanah 91% adalah 22.5 detik. *Respon Transient system* adalah $T_d = 0.67$ detik, $T_r =$ detik, $T_p = 1.35$ detik, $T_s = 0.52$ detik, $M_p = 570\%$. Dengan menggunakan metode *Mean Absolute Error (MAE)*, didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0.13 atau 13.72%.

Respon sistem melebihi *Set Point* kelembaban tanah yang telah ditentukan dimana memiliki deviasi sebesar 11% dari nilai *set point* 80% karena selang sebagai penyalur air dari pompa tidak memakai *sprinkle* dan sistem memiliki algoritma dimana saat sensor kelembaban tanah diatas 80% pompa air mati sehingga *overshoot* yang dihasilkan besar bernilai 570%.



Gambar 15. Respon Sistem Kontrol On-Off Kelembaban Tanah

4. Kesimpulan

Telah berhasil dirancang sistem pengontrolan suhu dengan metode kontrol PID, kelembaban tanah dengan metode kontrol *On-Off* dan intensitas cahaya dengan metode kontrol PI pada prototype *smart greenhouse* dalam mempertahankan nilai dan mencapai referensi yang telah ditentukan. Nilai PID untuk pengontrolan suhu mempunyai nilai $K_p 267.04$, $K_i 20.7$, $K_d 861.23$ dengan *tuning* Ziegler Nichols dengan metode FOPDT dan mempunyai *error steady state* sebesar 1.52% dan *overshoot* 75%, pada nilai PI untuk pengontrolan intensitas cahaya mempunyai nilai $K_p 0.00041$ dan $K_i 0.000075$ dengan *tuning* Ziegler Nichols dengan metode FOPDT dan mempunyai *error steady state* sebesar 2.26% dan *overshoot* 0.02%, dan kontrol *On-Off* pada kelembaban tanah mempunyai *error steady state* sebesar 13.72% dan *overshoot* 570%.

Referensi

- [1]. P. D. Silva, Rajapaksha, et al, "Advanced Automation System for Greenhouse Climate Control,", *9th International Research Conference-KDU*, pp. 1-5, 2016.
- [2]. U. A. Waykole, D. G. Agrawal, "Greenhouse Automation System,", *International Conference on Recent Trends in Engineering & Technology*, pp. 1-6, 2012.
- [3]. Ramen, Kalentari, et al, "Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture,", *Int J Agric & Biol Eng*, Vol.11, No.1, pp. 1-22, 2018.
- [4]. K. Ogata, *Modern Control Engineering Fifth Edition*, vol. 17, no. 3. 2009.
- [5]. Faris, D. Mehdi. 2014. "Data Acquisition of Greenhouse Using Arduino", *Journal of Babylon University*. Vol. 22, No. 7, pp. 1-9, 2014.
- [6]. R, Barawatj, etl al, "Distance Measurement and Obstacle Avoidance using Ultrasonic Sensor and Arduino", *International Journal of Multidisciplinary Research Transaction*. Vol. 1, No.1, pp.1-8, 2019.
- [7]. A. Nurul, H. Hafidh, and Suriadi, "Konversi Energi uuntuk Sistem Penerangan Menggunakan Dimmer Elektronik"
- [8]. S. Deeksha, K. Awanish, D. Shivani, "Measurement of Temperature and Humidity by using Arduino Tool and DHT11", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 12, pp.1-3, 2018.
- [9]. S. Voltage, O. Temperature, S. Temperature, and P. Dissipation, "Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC," no. 11046, 2011.
- [10]. R. Novandy, R. R. Yacoub, and E. D Marindam, "Sistem Pengendalian kelembaban pada budidayatanaman sawi,", 2019.
- [11]. M. Telambanua, B. Purwantana, L. Sutiarmo, and M. A. F. Falah, "Studi Pola Pertumbuhan Tanaman Sawi (Brassica rapa var. parachinensis L.) Hidroponik di dalam Greenhouse terkontrol," *Agritech*, Vol. 36, No.1, pp. 1-7, 2016.
- [12]. R. Prayogo, "Pengaturan PWM (Pulse Width Modulation) dengan PLC," p. 24, 2012.
- [13]. Setiawan, Iwan. 2008. *Kontrol PID Untuk Proses Industri*. PT Elex Media Komputindo
- [14]. Triwiyatno, Aris. 2013. *Dasar Sistem Kontrol*. Semarang: UPT UNDIP Press Semarang.
- [15]. Triwiyatno, Aris. 2014. *Sistem Kontrol Analog*. Semarang: UPT UNDIP Press Semarang.