

Sistem Pengendali Suhu Air Nutrisi Pada Hidroponik NFT Berbasis *PID Controller*

Miftakhul Janna Dwi Firdausyah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
miftakhul.18005@mhs.unesa.ac.id

Puput Wanarti Rusimanto, Bambang Suprianto, dan Endryansyah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
puputwanarti@unesa.ac.id, bambangsuprianto@unesa.ac.id, endryansyah@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi pada era modern saat ini sangat berpengaruh dalam masyarakat. Salah satu contohnya adalah terciptanya alat hidroponik dalam bidang pertanian. Hidroponik adalah cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah tetapi menggunakan air dan larutan nutrisi sebagai media tanam. Suhu ideal untuk metode penanaman hidroponik adalah sekitar 25°C - 28°C . Tujuan penelitian ini adalah menciptakan serta menganalisis hasil uji sistem tanpa pengendali PID, menggunakan kendali suhu pada miniatur hidroponik dengan memanfaatkan pengendali PID untuk memberikan *output* sinyal kendali dengan respon yang cepat pada plant miniatur hidroponik. Prosedur pengendali PID dirancang dengan mengidentifikasi plant memanfaatkan karakteristik respon sistem dengan ketentuan persamaan orde 1 untuk mendapatkan model matematis serta *trail and error* untuk mendapatkan nilai konstanta PID yang sesuai respon sistem. Perancangan perangkat keras untuk miniatur hidroponik ini memanfaatkan arduino sebagai pusat kendali dengan memberikan nilai PID agar suhu plant yang terintegrasi dengan peltier dan water pump tetap stabil serta sensor DS18B20 untuk membaca suhu air pada plant. Penerapan pengendali PID pada sistem kendali suhu pada miniatur hidroponik ini dengan nilai respon dinamik disaat parameter PID dengan nilai $K_p = 1$, $K_i = 0,2$ dan, $K_d = 0,1$ didapatkan nilai respon sistem dengan $\text{Ess} = 0,21\%$ saat suhu set point 25°C , $\text{Ess} = 0,22\%$ saat suhu set point 26°C , $\text{Ess} = 0,23\%$ saat suhu set point 27°C , $\text{Ess} = 0,24\%$ saat suhu set point 28°C .

Kata Kunci: Hidroponik, Suhu air, Pengendali PID, DS18B20.

Abstract

Technological developments in modern era have an impact on social life. One example is the creation of hydroponic equipment in agriculture. Hydroponics is a way of growing crops without using soil but water and nutrient solutions as a growing medium. The ideal temperature for the hydroponic growing method is around 25°C - 28°C . The purpose of this research is to create and analyze the test results of a system without a PID controller, using temperature control in miniature hydroponics by utilizing a PID controller to provide a control signal output with a fast response to a miniature hydroponic plant. The PID control procedure is designed by identifying the plant utilizing the system's response characteristics with the provisions of an equation of order 1 to obtain a mathematical model and trail and error to obtain the PID constant value according to the characteristics of the system response. The hardware design for this miniature hydroponics utilizes Arduino as a control center by providing a PID value so that the temperature of the plant integrated with the Peltier and water pump remains stable and the DS18B20 sensor to read the water temperature in the plant. The application of PID control to the temperature control system in this hydroponic miniature with a dynamic response value when the PID parameter with a value of $K_p = 1$, $K_i = 0.2$ and, $K_d = 0.1$, the system response value is obtained with $\text{Ess} = 0.21\%$ at the set point 25°C , $\text{Ess} = 0.22\%$ at set point 26°C , $\text{Ess} = 0.23\%$ at set point 27°C , $\text{Ess} = 0.24\%$ at set point 28°C .

Keywords: Hydroponics, Water temp, PID controller, DS18B20

PENDAHULUAN

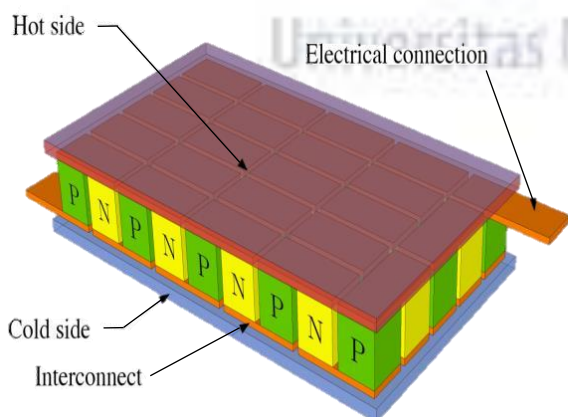
Sayuran merupakan bahan makanan yang dianjurkan untuk dimakan oleh masyarakat khususnya saat masa pandemi saat ini untuk memenuhi gizi yang seimbang dan meningkatkan kekebalan tubuh. *World Health Organization (WHO)* dianjurkan mengkonsumsi sayur serta buah agar hidup sehat sebesar 400 gr ataupun setara dengan 4 porsi per orang setiap hari di mana terdapat 150 gr buah serta 250 gr sayur (sebanding

dengan $2\frac{1}{2}$ gelas sayur sesudah dimasak serta ditiriskan). Teruntuk orang dewasa Indonesia dianjurkan mengkonsumsi buah-buahan dan sayuran 400-600 gram per orang per hari atau sekitar dua-pertiga dari jumlah anjuran konsumsi sayuran dan buah-buahan tersebut adalah porsi sayur (Kemenkes RI, 2017).

Inovasi dalam mengembangkan sistem produksi sayur salah satunya menggunakan hidroponik diperlukan untuk memenuhi kebutuhan sayur masyarakat. Budidaya hidroponik adalah salah satu cara lain perkebunan yang dilakukan oleh sebagian masyarakat yang tidak mempunyai lahan yang cukup luas contohnya di daerah perkotaan serta menyajikan kemudahan dalam penanamannya sebab memakai air menjadi medianya tetapi dalam proses penanaman sayur hidroponik, masyarakat acapkali mengalami kegagalan penanaman.

Hal tersebut terjadi dikarenakan beberapa faktor yang kurang mendukung dalam proses penanaman, salah satunya yaitu teriknya matahari di perkotaan saat siang hari yang berakibat pada peningkatan suhu air di tempat penampungan air nutrisi yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman sayur hidroponik, keadaan suhu serta kelembaban yang berfluktuasi dapat memberikan dampak timbulnya penyakit yang menyerang tanaman (Hayati dkk, 2020).

Budidaya hidroponik sistem NFT (*Nutrient Film Technique*) apabila terdapat tanaman yang terserang penyakit menyebabkan mudahnya untuk menular pada tumbuhan lain melalui aliran air di talang ataupun pipa instalasi serta menurut Swastika dkk, pada tahun 2017 kelarutan pupuk ditentukan sebagai jumlah maksimum yang dapat sepenuhnya dilarutkan dalam volume air. Kelarutan masing-masing pupuk tergantung pada suhu air pelarut di mana kelarutan pupuk meningkat dengan suhu. Secara umum, tumbuhan membutuhkan suhu air nutrisi hidroponik diatas $18/20^{\circ}\text{C}$ hingga 28°C . Suhu yang cukup tinggi pada air nutrisi dapat mengakibatkan taraf (DO) Oksigen terlarut menurun bahkan dapat tidak tersedia apabila suhu air cukup panas (Susilawati, 2019).



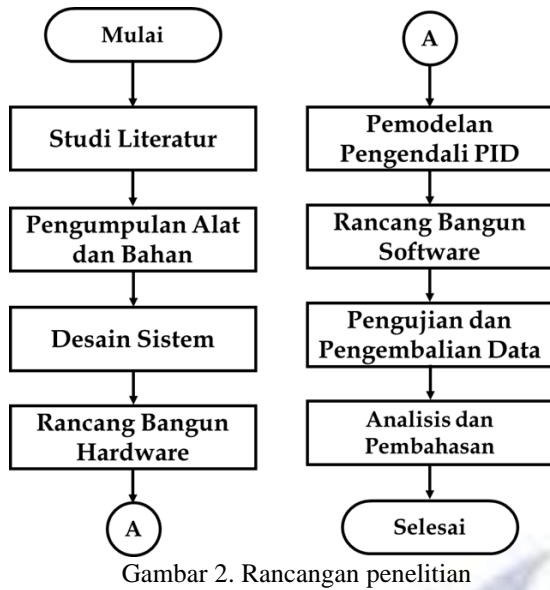
Gambar 1. Prinsip kerja modul termoelektrik
(Sumber: Kuttarmare dkk, 2016)

Berdasarkan hal tersebut, untuk memberikan solusi pada permasalahan yang terjadi saat sistem hidroponik NFT dioperasikan dengan cara menggunakan *Thermoelectric cooler* (TEC) yang memiliki nomor seri TEC1-12706 di mana merupakan sebuah alat pompa kalor yang terbuat dari keramik yang dapat menghasilkan energi panas dan dingin jika diberi tegangan. Gambar 1 merupakan prinsip kerja modul termoelektrik yang menunjukkan diagram sederhana peltier. Dua elemen semikonduktor, terdiri dari sejumlah pasangan semikonduktor tipe-p dan n. Alat ini bekerja dengan memanfaatkan metode pengendali PID untuk memberikan *output* sinyal kendali dengan respon cepat. Pengendali PID adalah kendali berumpan balik yang memberikan parameter P (*Proportional*), D (*Derivative*), dan I (*Integral*) agar didapatkan respon sistem yang diinginkan. Tiap pengendali memiliki parameter (konstanta) yang harus diatur agar dapat beroperasi dengan baik. Untuk merancang pengendali PID, biasanya menggunakan metoda *trial and error* untuk mendapatkan hasil terbaik yang paling sederhana maka harus dicoba kombinasi pengatur beserta konstantanya (Arifin, 2017).

Sehingga penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan sistem pengendalian menggunakan pengendali PID dengan harapan mampu mengatasi perubahan suhu pada hidroponik NFT. Dari tujuan tersebut maka peneliti akan melakukan penelitian yang berjudul “Sistem Pengendali Suhu Air Nutrisi Pada Hidroponik NFT Berbasis PID Controller”.

METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah secara kuantitatif di mana menurut Margono, penelitian kuantitatif adalah studi yang lebih banyak memakai logika hipotesis verifikasi yang diawali dengan berfikir deduktif guna mengurangi hipotesis setelah itu melaksanakan pengujian di lapangan serta kesimpulan ataupun hipotesis tersebut ditarik berlandaskan data empiris (Romdoni, 2019). Gambar 2 merupakan diagram alir rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini.

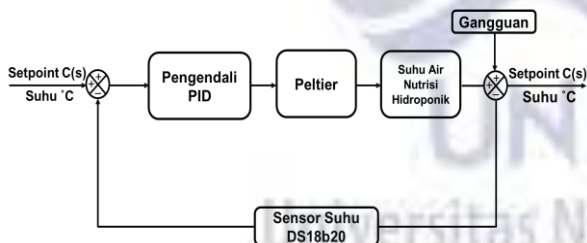


Studi Literatur

Studi literatur dilakukan pembelajaran referensi serta literatur yang diperlukan dalam penelitian ini. Rujukan tersebut diperoleh melalui website, jurnal, dan buku.

Desain Sistem

Desain sistem yang dipergunakan alat ini memakai pengendali PID berdasarkan Arduino Uno ATmega328. Blok rancangan pengolahan data yang didapatkan oleh sistem digabungkan menjadi satu kesatuan hingga utuh seperti pada Gambar 3 yang merupakan blok diagram sistem kontrol dari perangkat *hardware* pada pendingin air nutrisi hidroponik NFT.

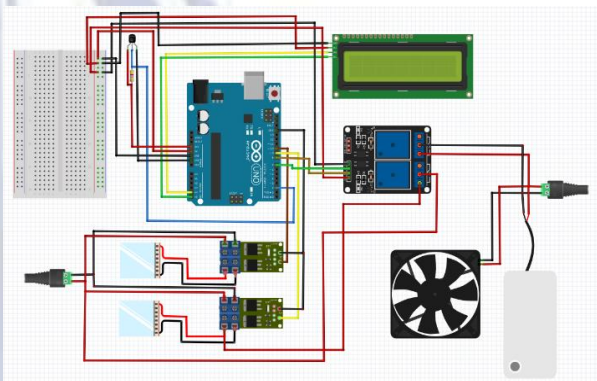


Nilai *input* (suhu setpoint) sistem berupa suhu. Pengendali Proporsional – Integral – Derivative memakai metode analitis yang akan diproses oleh arduino yang kemudian akan mendukung proses kendali suhu pada peltier. Hasil dari *output* pengendali yaitu tegangan yang akan menjadi masukan ke mosfet xy mos yang mengendalikan tegangan dari peltier pada *plant*. Sensor Suhu DS18B20 terhubung dengan arduino. Sensor suhu ini mempunyai rentang pembacaan antara -55°C hingga +125°C (Maxim Integrated Products, Inc., 2015). Sensor suhu DS18B20 akan berfungsi dengan cara mengukur nilai dari suhu

plant setelah adanya perubahan suhu, kemudian mempergunakan nilai hasil pembacaan suhu digunakan untuk nilai umpan balik.

Rancang Bangun Hardware

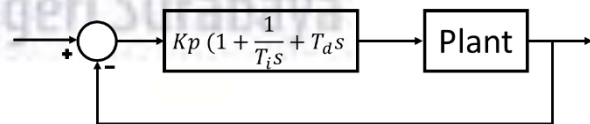
Pada gambar 4 merupakan rangkaian perangkat keras dari keseluruhan system yang terdiri atas beberapa komponen. Rangkaian tersebut dapat bekerja jika terdapat sinyal masukan berlogika 1 dari arduino yang akan mengaktifkan peltier dan pompa. Keadaan aktif ini yang menyebabkan pompa dapat mengalirkan air dari wadah ke *waterblock* yang didinginkan menggunakan peltier dan selalu aktif hingga mencapai suhu setpoint yang telah ditentukan. Peltier dan pompa ini tidak bekerja ketika terdapat *input* yang berlogika 0 saat suhu tercapai. Tidak hanya itu, kipas dalam keadaan aktif apabila peltier dalam keadaan aktif.



Gambar 4. Wiring diagram hardware prototipe keseluruhan sistem

Konfigurasi Pengendali PID

Pengendali Proporsional Integral Derivative (PID) merupakan salah satu pengendali yang banyak digunakan dalam proses industri (Sulistiati, 2012).



Gambar 5. Pengendali PID dari Plant
(Sumber: Ogata, 2010)

$$U(s) = Kp \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) E(s) \quad (1)$$

$$Kp = \frac{T_i s}{K \times T^*} \quad (2)$$

$$Ki = Kp \times \frac{1}{T_i s} \quad (3)$$

$$Kd = Kp \times T_d s \quad (4)$$

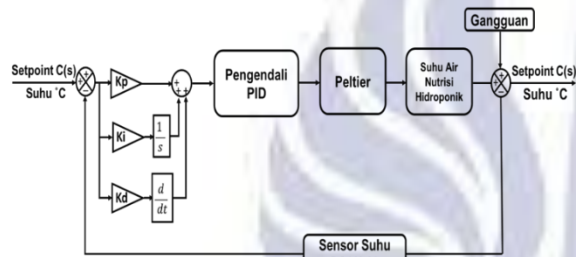
Keterangan:

Kp = Konstanta Penguatan Proporsional

Ki = Konstanta Penguatan Integral

K_d = Konstanta Penguatan Derivatif
 $T_i s$ = Konstanta Waktu Integral
 $T_d s$ = Konstanta Waktu Derivatif
 $U(s)$ = Sinyal Kendali
 $E(s)$ = Sinyal Error

Gambar 5 adalah kombinasi pengendali proporsional, pengendali integral, dan pengendali turunan yang disebut aksi kendali proporsional-plus-integral-plus-turunan yang setiap tindakan kontrol individu memiliki keuntungan masing-masing. Perancangan sistem pengendali PID merupakan metode umum untuk memperoleh nilai awal pengendali PID. Hal tersebut dikarenakan parameter K_p , K_i dan K_d tidak dapat berdiri sendiri. Diperlukan tindakan dalam mencoba kombinasi antara P, I serta D untuk aksi kendali yang baik hingga diperoleh nilai K_p , K_i dan K_d seperti yang dikehendaki.



Gambar 6. Blok diagram konfigurasi pengendali PID

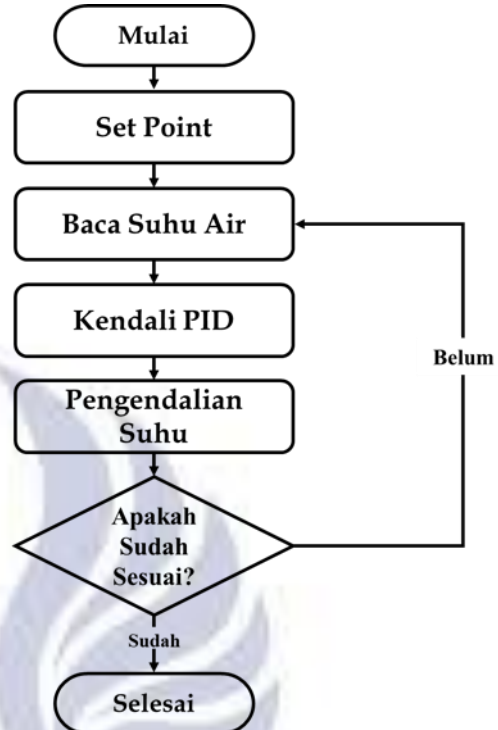
Gambar 6 merupakan blok diagram konfigurasi pengendali PID yang memiliki fungsi masing-masing di mana arduino digunakan sebagai pusat pengendali PID pada pengendalian suhu air nutrisi hidroponik. Kemudian peltier sebagai transduser yaitu mendinginkan air nutrisi pada wadah air nutrisi di mana sebagai plant pada sistem. Sensor suhu DS18B20 sebagai umpan balik pembacaan nilai suhu dalam wadah air nutrisi.

Rancang Bangun Software

Gambar 7 terdapat *flowchart software* yang dibuat menggunakan program yang menggunakan bahasa pemrograman C++ yang terdapat pada software Arduino IDE dan disinkronisasikan pada board Arduino Uno Atmega328. Alat akan aktif hingga mencapai suhu yang sesuai dengan suhu set point dan berhenti bekerja jika telah mencapai suhu yang dikehendaki.

Berdasarkan gambar 7 terdapat set point yang telah ditentukan yaitu 25°C, 26°C, 27°C, 28°C. Kemudian sensor DS18B20 akan membaca suhu air pada wadah air. Lalu dilakukanlah pengendalian menggunakan kendali PID, suhu air akan dikenalkan hingga sesuai

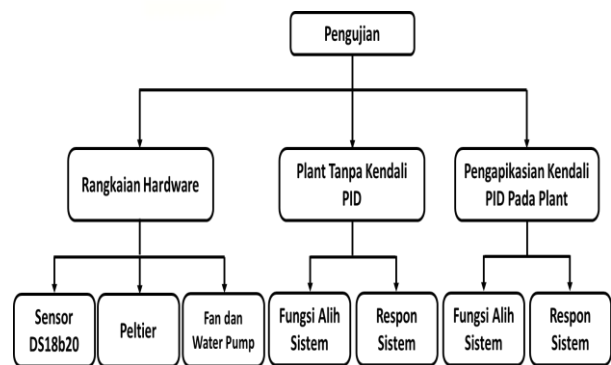
dengan set point yang telah ditentukan. Apabila suhu belum mencapai set point maka sensor akan membaca suhu air kembali hingga sesuai dengan set point, apabila telah mencapai set point maka pengambilan data dapat dilakukan.



Gambar 7. Diagram alir rancang bangun software

Pengujian dan Pengambilan Data

Gambar 8 adalah diagram alir pengujian pada penelitian ini. Pada pengujian akan terdapat tiga tahap yaitu rancangan rangkaian hardware, pengujian respon sistem tanpa pengendali PID pada *plant* serta pengujian respon sistem menggunakan pengendali PID pada *plant*. Pada rancangan rangkaian hardware terdiri dari sensor DS18B20, peltier, *water pump* dan *fan*. Pada pengujian pengendali PID pada *plant* terdiri atas pengaplikasian pengendali PID pada Arduino.



Gambar 8. Bagan pengujian pada plant pendinginan air nutrisi hidroponik

Pada pengujian alat tanpa kendali PID akan dilakukan pengambilan data di mana data tersebut digunakan untuk menganalisis nilai fungsi alih sistem dan respon sistem. Begitu pula dengan pengujian pada pengaplikasian kendali PID pada plant. Data yang didapatkan akan digunakan untuk menganalisis nilai fungsi alih sistem dan respon sistem. Maka berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui nilai fungsi alih sistem dan respon sistem pada plant tanpa kendali PID maupun menggunakan kendali PID.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Alat Miniatur Hidroponik

Hasil desain miniatur hidroponik yang terdapat pada gambar 9. Miniatur hidroponik ini dibuat dengan panjang 60cm, lebar 80cm, dan tinggi 60cm. Memiliki 9 lubang tanaman yang digunakan sebagai tempat netpot hidroponik.



Gambar 9. Hasil perancangan alat miniatur hidroponik

Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 terhubung dengan Arduino uno. Sensor suhu ini mempunyai rentang pembacaan antara -55°C hingga +125°C. Agar dapat mengetahui tingkat keakuratan sensor DS18B20 dengan pasti.

Tabel 1 merupakan hasil perbandingan antara sensor suhu DS18B20 dengan thermometer digital. Hasil pembacaan sensor ini didapatkan pada waktu yang berbeda-beda yaitu ketika pagi, siang, sore, dan malam. Error rata-rata pada hasil uji sensor DS18B20 didapatkan nilai sebesar 2,14%.

Tabel 1. Hasil Uji Sensor DS18B20

No	(Termometer suhu digital) (°C)	Suhu Pada Alat (°C)	Error (%)
1	25.6	25.19	1.60
2	30.5	29.81	2.26
3	31	30.31	2.22
4	25.8	24.87	3.60
5	30	29.37	2.1
6	25.6	25.12	1.87
7	29.1	28.56	1.85
8	29	28.5	1.72
9	25.6	25.19	1.60
10	25.6	24.94	2.57
Rata – Rata Error			2.14

Model Sistem

Model matematis sistem dari plant ini dengan memakai metoda pendekatan karakteristik sistem orde 1. Metoda ini digunakan untuk memperoleh fungsi alih dari sebuah sistem. Persamaan 5 hingga 14 adalah parameter yang digunakan pada sistem orde 1.

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \quad (5)$$

$$C(\tau) = T_{max} - (0,632 \times (T_{max} - Y_{ss})) \quad (6)$$

$$\tau = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (7)$$

$$\tau_d = \tau \ln 2 \quad (8)$$

$$\tau_r(5\% - 95\%) = \tau \ln 19 \quad (9)$$

$$\tau_r(10\% - 90\%) = t \ln 9 \quad (10)$$

$$\tau_s(5\%) = 3\tau \quad (11)$$

$$\tau_s(2\%) = 4\tau \quad (12)$$

$$\tau_s(0,5\%) = 5\tau \quad (13)$$

$$E_{ss} = \frac{Y_{ss} - X_{ss}}{X_{ss}} \quad (14)$$

Keterangan :

$C(\tau)$ = Suhu saat 63,2% keadaan tunak (°C)

τ = Waktu respon yang diperlukan oleh $C(\tau)$ (s)

τ_d = Delay time (s)

τ_r = Rise time (s)

τ_s = Settling Time (s)

τ_s = Suhu tertinggi (°C)

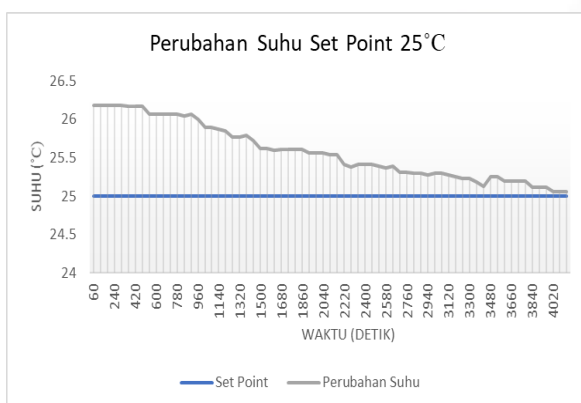
Ess = Error Steady State (%)

Yss = Rata-rata suhu saat keadaan tunak (°C)

Xss = Nilai referensi dari suhu (°C)

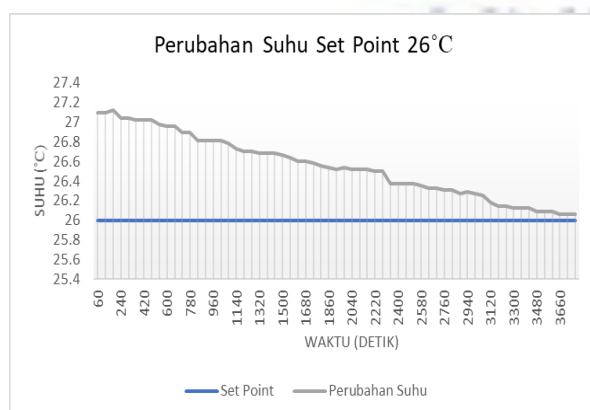
Pengujian Alat Tanpa Pengendali

1. Gambar 10 merupakan gambar grafik respon sistem tanpa pengendali PID dengan suhu setpoint 25 °C.



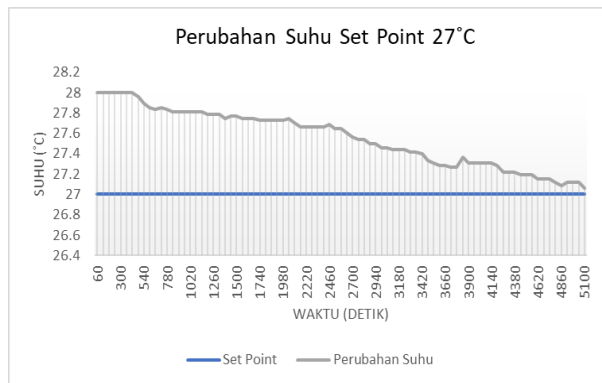
Gambar 10. Grafik respon sistem tanpa pengendali suhu setpoint 25 °C

2. Gambar 11 merupakan gambar grafik respon sistem tanpa pengendali PID dengan suhu setpoint 26 °C.



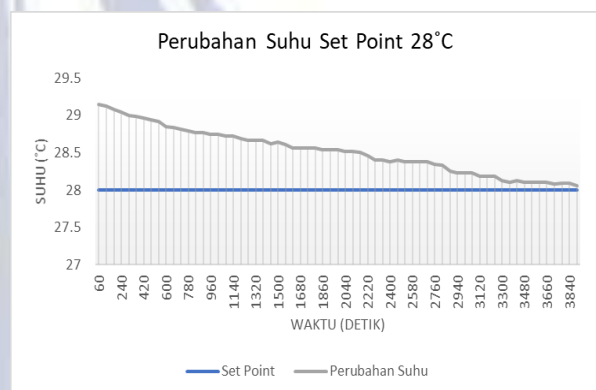
Gambar 11. Grafik respon sistem tanpa pengendali suhu setpoint 26 °C

3. Gambar 12 merupakan gambar grafik respon sistem tanpa pengendali PID dengan suhu setpoint 27 °C.



Gambar 12. Grafik respon sistem tanpa pengendali suhu setpoint 27 °C

4. Gambar 13 merupakan gambar grafik respon sistem tanpa pengendali PID dengan suhu setpoint 28 °C.



Gambar 13. Grafik respon sistem tanpa pengendali suhu setpoint 28 °C

Nilai $G(s)$ didapatkan dengan menggunakan metode pendekatan karakteristik sistem orde 1. Persamaan 15 merupakan persamaan yang didapatkan berdasarkan gambar 10 hingga 14.

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (15)$$

Keterangan :

K = Gain

τ = Waktu respon yang diperlukan oleh $C(\tau)$ (s)

Berdasarkan grafik hasil percobaan alat tanpa kendali PID didapatkan nilai hasil respon dinamik di mana nilai-nilai tersebut dapat menjadi nilai referensi untuk persamaan 15. Tabel 2 merupakan hasil persamaan fungsi alih respon sistem tanpa pengendali PID dari persamaan 15.

Tabel 2. Hasil Persamaan Fungsi Alih

Suhu Set Point	G(s)
25 °C	$\frac{1,002}{2.193,007s + 1}$
26 °C	$\frac{1,002}{2.307,850s + 1}$
27 °C	$\frac{1,002}{3.392,25s + 1}$
28 °C	$\frac{1,002}{2.261,25s + 1}$

Berdasarkan grafik hasil percobaan alat tanpa kendali PID didapatkan nilai hasil respon dinamik. Tabel 3 merupakan rangkuman hasil respon dinamik berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan 5 hingga 14.

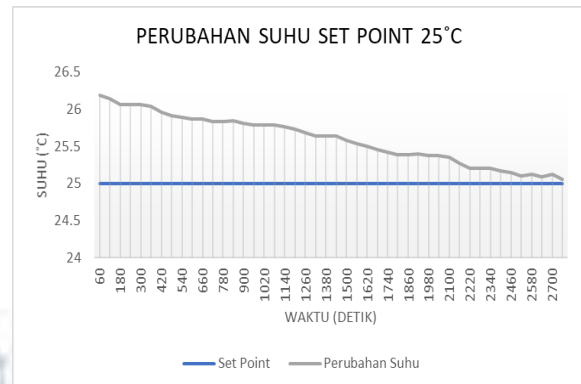
Tabel 3. Rangkuman Hasil Respon Dinamik Tanpa Pengendali

Parameter	Suhu Set Point (°C)			
	25	26	27	28
K	1,002	1,002	1,002	1,002
C(τ) (°C)	25,473	26,442	27,405	28,455
τ (s)	2.193,00	2.307,85	3.392,25	2.261,25
τd (s)	1.520,07	1.599,67	2.351,32	1.567,37
τr (5% - 95%) (s)	6.457,17	6.795,32	9.988,27	6.658,11
τr (10% - 90%) (s)	4.818,52	5.070,86	7.453,53	4.968,47
τs (5%) (s)	6.579,02	6.923,55	10.176,75	6.783,75
τs (2%) (s)	8.772,02	9.231,4	13.569	9.045
τs (0,5%) (s)	10.965,03	11.539,25	16.961,25	11.306,25
Ess (%)	0,23	0,23	0,22	0,21

Percobaan yang dilakukan beberapa kali dengan menggunakan setpoint yang berbeda-beda, yaitu 25°C, 26°C, 27°C, 28°C maka didapatkan hasil grafik respon sistem seperti pada gambar 10 hingga gambar 13. Perubahan suhu pada hasil percobaan akan konstan turun sebesar 0,06°C. Pada set point 26°C didapatkan durasi waktu paling cepat yaitu 3660 detik. Pada Tabel 3 didapatkan hasil perhitungan berdasarkan pendekatan karakteristik sistem orde 1 pada persamaan 5 hingga 14, dapat dilihat dengan setpoint yang berbeda-beda, yaitu 25°C, 26°C, 27°C, 28°C memiliki nilai K yang sama yaitu 1,002.

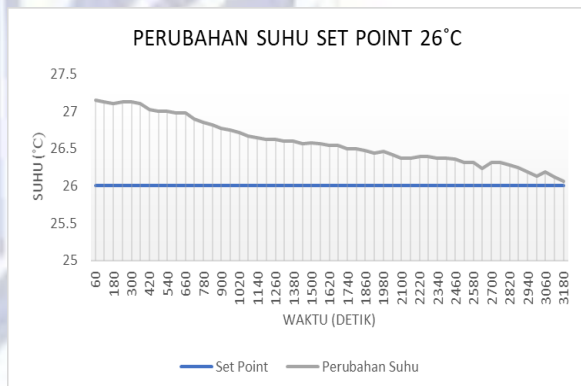
Pengujian Alat dengan Pengendali

1. Gambar 14 merupakan gambar grafik respon sistem menggunakan pengendali PID dengan suhu setpoint 25 °C.



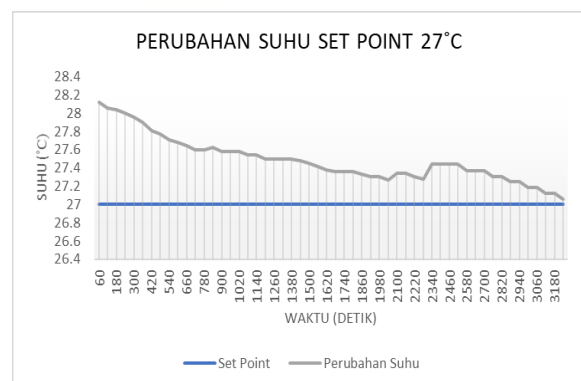
Gambar 14. Grafik respon sistem dengan pengendali PID suhu setpoint 25 °C

2. Gambar 15 merupakan gambar grafik respon sistem menggunakan pengendali PID dengan suhu setpoint 26 °C.



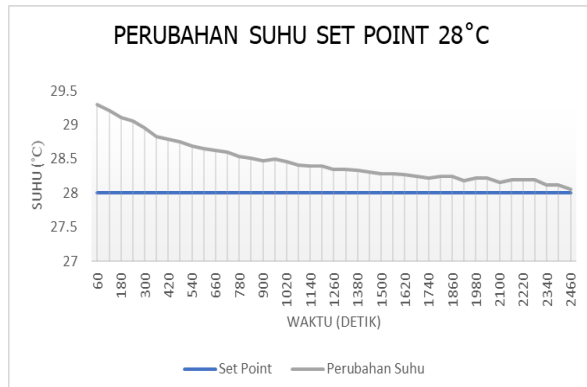
Gambar 15. Grafik respon sistem dengan pengendali PID suhu setpoint 26 °C

3. Gambar 16 merupakan gambar grafik respon sistem menggunakan pengendali PID dengan suhu setpoint 27 °C.



Gambar 16. Grafik respon sistem dengan pengendali PID suhu setpoint 27 °C

4. Gambar 17 merupakan gambar dari grafik respon sistem menggunakan pengendali PID dengan suhu setpoint 28 °C.



Gambar 17. Grafik respon sistem dengan pengendali PID suhu setpoint 28 °C

Berdasarkan grafik hasil percobaan alat menggunakan kendali PID didapatkan nilai hasil respon dinamik. Tabel 4 merupakan rangkuman hasil respon dinamik berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan 5 hingga 14.

Tabel 4. Rangkuman Hasil Respon Dinamik Menggunakan Pengendali PID

Parameter	Suhu Set Point (°C)			
	25	26	27	28
K	1,002	1,002	1,002	1,002
C(τ) (°C)	25,474	26,458	27,45	28,363
τ (s)	1.657,5	1.905	1.509	1.246,04
τd (s)	1.148,89	1.320,44	1.045,95	863,69
τr (5% - 95%) (s)	3.641,89	5.609,15	4.443,15	3.668,90
τr (10% - 90%) (s)	4.972,5	4.185,71	3.315,61	2.737,84
τs (5%) (s)	4.972,5	5.715	4.527	3.738,13
τs (2%) (s)	6.630	7.620	6.036	4.984,18
τs (0,5%) (s)	8.287,5	9.525	7.545	6.230,23
Ess (%)	0,24	0,23	0,22	0,21

Berdasarkan grafik hasil percobaan alat menggunakan kendali PID didapatkan nilai hasil respon dinamik di mana nilai-nilai tersebut dapat menjadi nilai referensi untuk persamaan 15. Tabel 5 merupakan hasil persamaan fungsi alih respon sistem menggunakan pengendali PID dari persamaan 15.

Tabel 5. Hasil Persamaan Fungsi Alih

Suhu Set Point	G(s)
25 °C	1,002
	$\frac{1.657,5 s + 1}{1.002}$
26 °C	1,002
	$\frac{1.905 s + 1}{1.002}$
27 °C	1,002
	$\frac{1.509 s + 1}{1.002}$
28 °C	1,002
	$\frac{1.246,046 s + 1}{1.002}$

Pada percobaan yang dilakukan beberapa kali menggunakan kendali PID dengan setpoint yang berbeda-beda, yaitu 25°C, 26°C, 27°C, 28°C maka didapatkan hasil grafik respon sistem seperti pada gambar 14 hingga gambar 17. Perubahan suhu pada hasil percobaan akan konstan turun sebesar 0,06°C. Pada set point 28°C didapatkan durasi waktu paling cepat yaitu 2460 detik. Pada Tabel 4 didapatkan hasil perhitungan berdasarkan pendekatan karakteristik sistem orde 1 pada persamaan 5 hingga 14, dapat dilihat dengan setpoint yang berbeda-beda, yaitu 25°C, 26°C, 27°C, 28°C memiliki nilai K yang sama yaitu 1,002 dengan nilai Kp=1, Ki=0,2 dan, Kd =0,1.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan yaitu sistem pengendali suhu air nutrisi pada hidroponik *NFT* berbasis pengendali PID telah berhasil dibuat serta bekerja dengan baik. Alat dapat melakukan kendali suhu selaras dengan nilai suhu setpoint (25°C, 26°C, 27°C, 28°C) menggunakan sensor DS18B20 sebagai pendeteksi temperatur air di dalam wadah air nutrisi hidroponik, arduino uno sebagai mikrokontroler, peltier sebagai pendingin.

Respon hasil pengujian sistem pengendalian suhu tanpa pengendali PID menunjukkan respon yang baik yang merujuk pada Tabel 3 dengan waktu 4140 detik saat set point 25°C, 3780 detik saat set point 26°C, 5100 detik saat set point 27°C, 3900 detik saat set point 28°C. Hasil respon dinamik sistem pada plant menggunakan pengendali PID didapatkan nilai yang merujuk pada Tabel 4 menggunakan pengendali PID didapatkan nilai dengan waktu 2460 saat set point 25°C, 3240 detik saat set point 26°C, 3180 detik saat set point 27°C, 2760 detik saat set point 28°C.

Saran

Bersumber pada serangkaian kegiatan penelitian serta pengambilan simpulan di atas, maka saran dari penulis yaitu menerapkan sistem kendali MIMO yang memadukan dua variabel yang dikendalikan seperti

kelembaban dan suhu atau dapat juga menambahkan sistem kontrol lainnya seperti ph, atau *grow light* agar dapat berkebudaya secara *indoor*. Pengontrolan suhu pada miniatur hidroponik dapat dikembangkan kembali dengan mengubah kendali jenis lain seperti adaptif, *PI controller* maupun Jaringan Saraf Tiruan (JST).

Swastika. Sri, Yulfida. Ade, dan Sumitro. Yogo. 2017. *Budidaya Sayuran Hidroponik*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Balitbangtan Riau, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin. Fatchul. 2017. *PID Controller*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Hayati. Nur, Arifah. Lina, Berlianti. Nindha Ayu, Fitriyah. Lina Arifah, Af'idah. Noer, dan Wijayadi. Andri Wahyu. 2020. *Peluang Bisnis Dengan Hidroponik*. LPPM UNHASJ Tebuireng Jombang.

Kemenkes RI. 2017. *Hari Gizi Nasional 2017: Ayo Makan Sayur Dan Buah Setiap Hari*. (Online). <https://www.kemkes.go.id/article/print/17012600002/hari-gizi-nasional-2017-ayo-makan-sayur-dan-buah-setiap-hari.html> (diakses pada 10 Januari 2022).

Kuttarmare. H C, Vaidya. R D, Chaudhari. S M, Sontakke, K G, Joshi, Y G, Gupta. A R, Raghatate. A R, dan Padal. D K. 2016. *Fabrication of Peltier Cooling System: Alternative for Refrigeration*. Ijariie. Vol.02 (3): hal. 260-264.

Maxim Integrated Products, Inc. 2015. *Datasheet Ds18B20*. (Online). www.maximintegrated.com (diakses pada 17 Januari 2022).

Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. Prentice-Hall.

Romdoni. Lisda Nurul. 2019. *Pengaruh Penggunaan Figur Publik Dalam Kampanye Terhadap Tingkat Perolehan Suara Pada Pemilihan Kepala Daerah Jawa Barat Tahun 2018 Di Kota Bandung*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.

Sulistiati. Ainie Khuriati Riza. 2012. *Perancangan Sistem Pengendalian Suhu Dengan Pengendali PID Menggunakan Estimasi Arx*. Vol. 15(1) hal. 1 - 6

Susilawati. 2019. *Dasar – Dasar Bertanam Secara Hidroponik*. UPT. Penerbit dan Percetakan Universitas Sriwijaya.