

SISTEM KONTROL DAN MONITORING KUALITAS AIR PADA PARAMETER OKSIGEN TERLARUT DAN SUHU

Tifano Sebastian Pandu Pratama^{*)}, Budi Setiyono dan Hadha Afrisal

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

^{*)} E-mail: tifano.sebastian@gmail.com

Abstrak

Sektor perikanan Indonesia memegang peranan penting untuk menunjang perekonomian Indonesia. Salah satunya sektor ikan hias seperti ikan Koi. Cuaca yang tidak mendukung dapat mengurangi kualitas ikan Koi itu sendiri. Maka dari itu, penulis merancang sistem kontrol dan monitoring kualitas air kolam ikan Koi berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan *web server* Thingspeak. Metode kontrol yang digunakan pada sistem control suhu adalah *PI-Gain Scheduling* dan kontrol *ON-OFF* pada sistem kontrol oksigen terlarut. Kontrol *PI-Gain Scheduling* pada sistem kontrol suhu mengendalikan tegangan pada pemanas air 100W dengan tiga tingkat penjadwalan, yaitu $e > 3$; $1,5 < e \leq 3$, dan $0 < e \leq 1,5$. Metode *tuning* parameter yang digunakan pada sistem kontrol suhu adalah metode *Ziegler-Nichols II*. Kontrol *ON-OFF* pada sistem kontrol DO (*dissolved oxygen*) mengendalikan aerator 12W. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa suhu air dan tingkat DO dapat terjaga dengan cukup optimal sesuai *setpoint* yang ditentukan. Pada perbandingan metode sistem kontrol suhu, dapat disimpulkan bahwa metode kontrol *PI-Gain Scheduling* lebih optimal dibandingkan dengan metode *PI-C* (*Conventional*). Diharapkan dengan adanya sistem kontrol dan monitoring ini dapat membantu meningkatkan kualitas air pada kolam ikan Koi.

Kata kunci: *PID-Gain Scheduling, suhu, oksigen terlarut, monitoring, internet of things, ikan koi.*

Abstract

The Indonesian fishery sector plays an important role in supporting the Indonesian economy. One of them is the ornamental fish sector such as Koi fish. Unfavorable weather can reduce the quality of the Koi fish itself. Therefore, the authors designed a system for controlling and monitoring the water quality of Koi fish ponds based on the Internet of Things (IoT) using the Thingspeak web server. The control method used in the temperature control system is PI-Gain Scheduling and ON-OFF control in the dissolved oxygen control system. PI-Gain Scheduling controller on the temperature control system controls the voltage on the 100W water heater with three levels of scheduling, namely $e > 3$; $1.5 < e \leq 3$, and $0 < e \leq 1.5$. The parameter tuning method used in the temperature control system is the Ziegler-Nichols II method. ON-OFF controller on DO (dissolved oxygen) control system controls the 12W aerator. From the results of the tests that have been conducted, it can be concluded that the water temperature and DO level can be maintained quite optimally according to the specified setpoint. In the comparison of the temperature control system method, it can be concluded that the PI-Gain Scheduling control method is more optimal than the PI-C (Conventional) method. It is hoped that this control and monitoring system can help improve water quality in Koi fish ponds.

Keywords: *PID-Gain Scheduling, Temperature, Dissolved Oxygen, Monitoring, Internet of Things, Koi Fish.*

1. Pendahuluan

Sektor perikanan di Indonesia berperan penting pada perekonomian nasional dalam penyediaan lapangan kerja, sumber pendapatan pekerja, dan sebagai sumber protein. Wilayah Indonesia terdiri dari 2/3 lautan dan 1/3 daratan, dimana sektor perikanan memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan. Pada tahun 2019, produksi perikanan Indonesia mencapai 23,67 juta ton meningkat 2,29% dari tahun 2018 (23,14 juta ton) dimana dari jumlah

tersebut produksi perikanan budidaya mencapai 15 juta ton. [1].

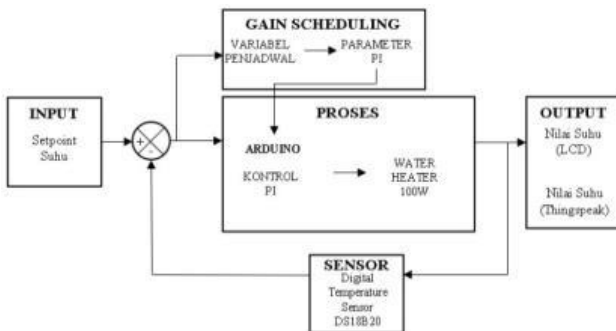
Produksi perikanan budidaya sangat berpengaruh pada total produksi perikanan nasional, karena jumlah produksi yang cukup mendominasi. Meskipun begitu, tak jarang para pekerja budidaya perikanan menghadapi beberapa masalah pada proses pembudidayaan ikan, seperti cuaca yang tidak menentu, kondisi lingkungan yang kurang stabil, yang menyebabkan parameter kualitas air pada kolam budidaya menjadi terganggu [2]. Permasalahan ini dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas produksi

budidaya ikan itu sendiri. Pada dasarnya, pada budidaya ikan terdapat 3 parameter mendasar untuk menjaga kelangsungan hidup ikan tersebut, tingkat pH, oksigen terlarut, dan suhu [3].

Oleh karena itu, penulis merancang suatu sistem kontrol dan monitoring kualitas air pada parameter oksigen terlarut dan suhu. Sistem monitoring kedua parameter akan secara *online* terhubung dengan *website*, dan sistem kontrol menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan menggunakan metode kontrol *PI-Gain Scheduling* pada parameter suhu dan ON-OFF pada parameter oksigen terlarut. Perancangan alat ini dilengkapi oleh sensor analog DFRobot DO meter SEN0237 untuk membaca nilai DO (*Dissolved Oxygen*) dan sensor suhu digital DS18B20 untuk membaca nilai suhu air [4]. Aktuator yang digunakan adalah aerator 12W meningkatkan tingkat DO dan *water heater* 100W untuk menaikkan nilai suhu. Parameter Kp, Ki, dan Kd pada sistem kontrol suhu ditentukan menggunakan metode *Ziegler-Nichols II* dan variabel penjadwalan menggunakan error relatif dari pembacaan sensor. *Setpoint* nilai DO yang ditentukan adalah 7mg/L dan 30°C pada *setpoint* suhu [5][6]. Sistem monitoring pada alat ini dibagi menjadi 2, secara *online* dan *offline*. Monitoring secara *online* menggunakan modul WiFi ESP8266 yang akan mengirimkan data ke *web server* Thingspeak. Monitoring secara *offline* menggunakan layar LCD 16x2 pada *controller box*.

2. Metode

2.1. Perancangan Sistem



Gambar 1. Diagram sistem kontrol dan monitoring suhu air

Keterangan blok diagram pada Gambar 1 di atas adalah:

a. Bagian Input

Pada sistem kontrol dan monitoring suhu air ikan koi, data masukan sistem berupa nilai setpoint suhu. Nilai setpoint ini yang akan dibandingkan oleh pembacaan sensor DS18B20 hingga nilai suhu pembacaan sensor sama dengan nilai setpoint.

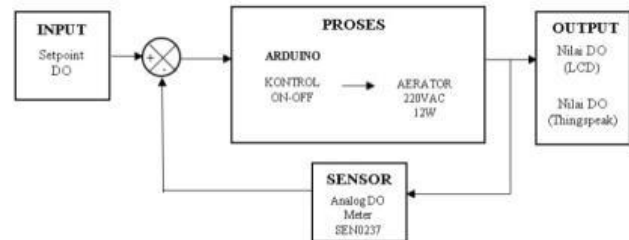
b. Bagian Proses

Arduino UNO R3 digunakan sebagai mikrokontroler yang akan mengolah data masukan yang sudah didapatkan [7]. Pada bagian proses, sistem akan mengendalikan suhu pada

kolam ikan koi hingga mencapai target setpoint yang sudah ditentukan. Cara sistem mengatur suhu air dengan menggunakan water heater AMARA 100W 220VAC yang berperan sebagai aktuator [8]. Sensor yang digunakan adalah DS18B20 yang akan membaca perubahan suhu pada kolam. Penelitian ini menggunakan LCD untuk menampilkan data suhu air secara offline dan web server thingspeak secara online. Metode kontrol yang digunakan adalah kontrol PI-Gain Scheduling (PI-GS) di mana kontrol PI berfungsi untuk mengendalikan tegangan pada pemanas air melalui modul AC Light Dimmer untuk mengatur tegangan yang diberikan ke pemanas air dan gain scheduling digunakan untuk mengubah atau menjadwalkan beberapa parameter kontrol PI berdasarkan variabel penjadwal yang sudah ditentukan. Variabel penjadwal yang akan digunakan adalah nilai error dari sistem kontrol suhu.

c. Bagian output

Pada bagian output, ada 2 komponen yang akan menampilkan data pembacaan sensor. Pertama adalah LCD yang akan menampilkan keluaran digital data mikrokontroler dari hasil pembacaan sensor suhu yang sudah dikendalikan secara offline. Kedua adalah menggunakan modul ESP8266 yang akan mengirimkan data pembacaan sensor ke *web server* Thingspeak secara *online* [9].



Gambar 2. Diagram sistem kontrol dan monitoring DO air

Keterangan blok diagram pada Gambar 2 di atas adalah:

a. Bagian Input

Pada sistem kontrol dan monitoring DO air ikan Koi, data masukan sistem berupa nilai setpoint DO. Nilai setpoint ini yang akan dibandingkan oleh pembacaan sensor Analog DO SEN0237 hingga nilai DO pembacaan sensor sama dengan nilai setpoint [10].

b. Bagian Proses

Arduino UNO R3 berfungsi sebagai mikrokontroler yang akan mengolah data masukan yang sudah didapatkan. Pada bagian proses, sistem kontrol akan mengendalikan tingkat DO pada kolam ikan Koi hingga mencapai target setpoint yang sudah ditentukan. Cara sistem mengatur suhu air dengan menggunakan Aerator merk Jingye 220VAC dengan 4 keluaran udara yang berperan sebagai aktuator. Sensor yang digunakan adalah Sensor Analog Dissolved Oxygen SEN0237 merk DFRobot yang akan membaca

perubahan DO pada kolam. Penelitian ini menggunakan LCD untuk menampilkan data DO air secara offline dan web server thingspeak secara online. Metode kontrol yang digunakan adalah kontrol ON-OFF yang berfungsi untuk mengontrol relay dengan posisi normally open, yang dihubungkan ke aerator [11].

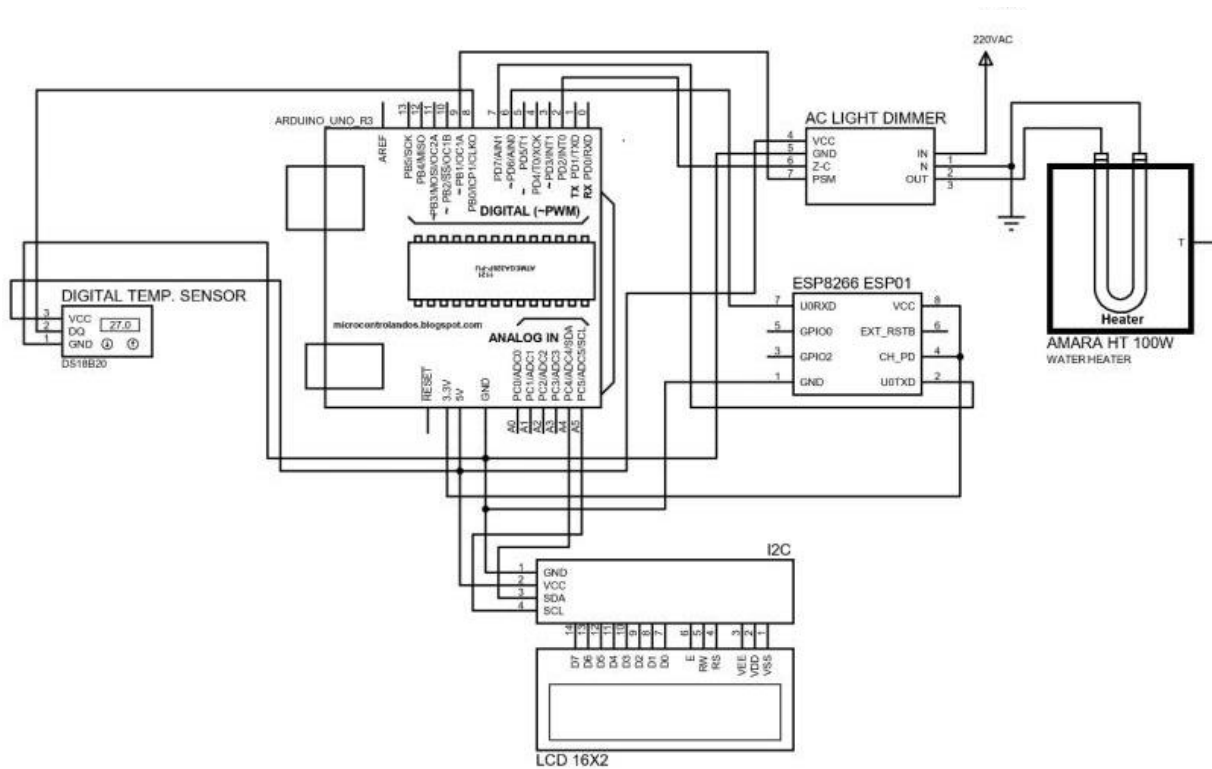
c. Bagian Output

Pada bagian output, ada 2 komponen yang akan menampilkan data pembacaan sensor. Pertama adalah LCD yang akan menampilkan keluaran digital data mikrokontroler dari hasil pembacaan sensor DO yang sudah dikendalikan secara offline. Kedua adalah menggunakan modul ESP8266 yang akan mengirimkan data pembacaan sensor ke web server thingspeak secara online.

2.12. Perancangan Mikrokontroler

Pada perancangan sistem kontrol dan monitoring suhu air, sensor suhu DS18B20 berfungsi sebagai alat pengukur besarnya nilai suhu yang ada didalam kolam ikan. Kontrol aktuator pada parameter suhu ini menggunakan water heater Amara HT 100W 220VAC yang terhubung dengan modul AC Light Dimmer sehingga mampu mengendalikan tegangan pada pemanas air tersebut.

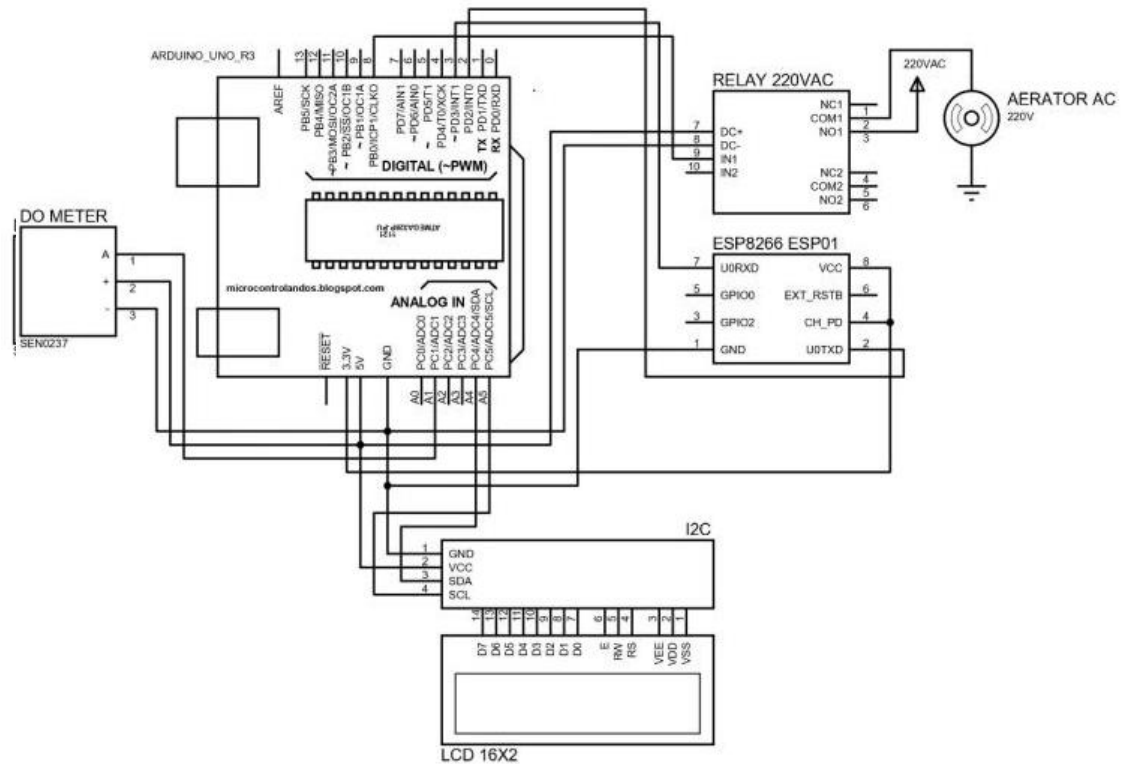
Sistem monitoring secara offline menggunakan komponen layar LCD 16x2 dan sistem monitoring secara online menggunakan web server Thingspeak dengan modul Wi-Fi ESP8266. Rangkaian kontrol dan monitoring perangkat keras sensor suhu dan water heater dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Schematic diagram sistem kontrol dan monitoring suhu

Pada perancangan sistem kontrol dan monitoring DO air, sensor analog DO berfungsi sebagai alat pengukur besarnya nilai DO pada kolam ikan. Kontrol aktuator pada parameter DO ini menggunakan Aerator merk Jingye 220VAC yang terhubung dengan relay 220VAC dengan pin trigger 5V yang mampu mengendalikan aktif/tidaknya aerator tersebut.

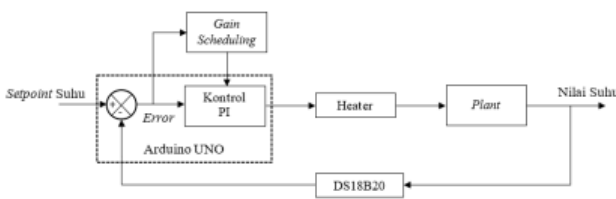
Sistem monitoring secara offline menggunakan komponen layar LCD 16x2 dan sistem monitoring secara online menggunakan web server Thingspeak dengan modul Wi-Fi ESP8266. Rangkaian kontrol dan monitoring perangkat keras sensor suhu dan water heater dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Schematic diagram sistem kontrol dan monitoring DO.

2.13. Perancangan Kontroler PID-Gain Scheduling

Metode kontrol yang dipakai pada sistem kontrol suhu adalah PI-Gain Scheduling (PI-GS), dimana kontrol PI-GS digunakan untuk mengontrol water heater melalui AC light dimmer agar nilai suhu dalam air tetap terjaga sesuai dengan setpoint. Seluruh proses kendali dilakukan dengan menggunakan Arduino UNO R3. Dari persamaan sistem yang sudah diperoleh, maka diperoleh blok diagram pengontrolan suhu air yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok sistem kontrol suhu

Dari diagram blok diatas, program Arduino UNO R3 memberikan nilai setpoint yang sudah ditentukan, dan nilai setpoint tersebut akan dibandingkan oleh sensor DS18B20. Hasil perbandingan tersebut yang disebut dengan error, dimana pada sistem kontrol suhu, nilai error merupakan hasil pengurangan antara nilai pembacaan sensor dengan nilai setpoint $(e = PV - SP)$. Nilai error ini yang akan menjadi masukan dari kontroler PI dan akan diolah oleh algoritma kontroler PI, sehingga akan menghasilkan sinyal kontrol yang akan diberikan ke AC light dimmer untuk mengatur tegangan pada water heater dengan pengaturan

PWM. Nilai error juga akan menjadi masukan dari kontrol gain scheduling, yang mana nilai error akan berperan sebagai variabel penjadwal (*schedule variable*). Variabel error ini menentukan parameter-parameter kontrol PI yang akan digunakan selama sistem kontrol suhu air berjalan.

2.13.1. Penalaan Parameter Kontrol PI dengan Ziegler-Nichols II

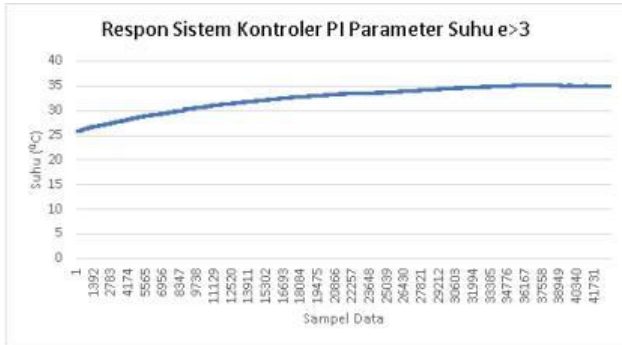
Metode Ziegler-Nichols II menggunakan tuning parameter PID dalam kalang tertutup (*closed loop*) dimana masukan referensi yang digunakan merupakan fungsi tangga (*step*). Kontroler pada metode ini hanya menggunakan pengendali *proportional*. Nilai Kp akan dinaikkan dari nilai 0 hingga mencapai nilai kritis Kp, sehingga diperoleh keluaran yang terus berosilasi dengan *amplitude* yang sama. Nilai kritis dari Kp ini disebut sebagai *critical gain (Kcr)* [12]. Rumus tuning Ziegler-Nichols II dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rumus tuning Ziegler-Nichols II

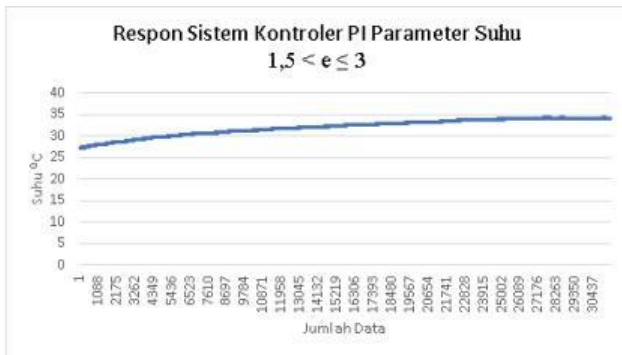
Kontrol	Kp	Ti	Td
P	$0.5K_{cr}$	-	-
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	-
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Pada sistem kontrol suhu, variabel penjadwal (SV) yang digunakan adalah nilai error. Variabel penjadwal inilah yang dapat menentukan kapan parameter PI tersebut digunakan [13]. Untuk sistem ini, range nilai error yang digunakan adalah 0 sampai dengan 3, dengan pembagian jadwalnya adalah sebagai berikut: $e < 3$; $1.5 < e \leq 3$; $0 < e$

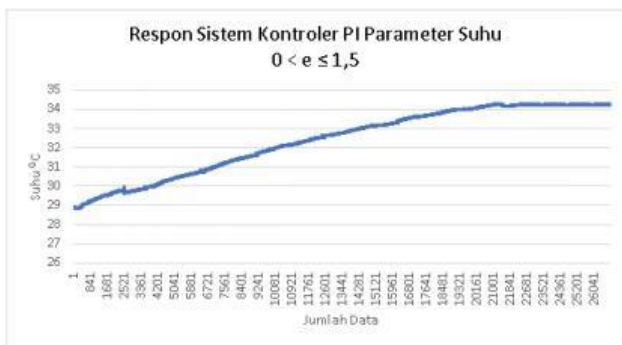
$\leq 1,5$. Pada penelitian ini, metode tuning parameter kontrol PI yang digunakan adalah Ziegler-Nichols II. Respon sistem ketiga penjadwalan ditunjukkan pada Gambar 9 dibawah berikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Respon sistem parameter suhu (a) $e > 3$ (b) $1,5 < e \leq 3$ (c) $0 < e \leq 1,5$

Setelah mendapatkan respon sistem pada ketiga penjadwalan, data respon kemudian diolah menggunakan MATLAB untuk dicari fungsi alihnya. Langkah – langkah penentuan fungsi alih sebagai berikut.

1. Data input dan output dimasukkan pada bar transfer function workspace pada Matlab.

2. Data input-ouput diproses menggunakan fitur system identification pada Matlab.
3. Import data menggunakan bentuk time domain data.
4. Data proses yang sudah didapat akan di estimate to transfer function model, selanjutnya pilih pole dan zero yang diinginkan dalam hal ini untuk fungsi alih pertama penulis memberikan jumlah pole 3 dan jumlah zero 0.
5. Estimasi data yang telah dilakukan dengan penentuan jumlah pole dan zero akan menentukan fungsi alih dari sistem [14].

Setelah mendapatkan fungsi alih pada ketiga penjadwalan, langkah selanjutnya adalah mencari parameter PI pada tiap penjadwalan dengan metode Ziegler-Nichols II. Prosedur praktis penalaan parameter PI sebagai berikut.

1. Tentukan kontrol proporsional (K_p).
2. Cari nilai *critical gain* (K_{cr}) pada sistem dan tentukan nilai *critical time constant* (P_{cr}).
3. Hitung nilai K_p dan K_i berdasarkan table rumus *Ziegler Nichols II*.

2.13.2. Perancangan Kontrol PI-Gain Scheduling

Variabel penjadwal yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai error dari sistem parameter suhu. Kondisi nilai error pada sistem ini dibagi menjadi 3 kondisi dengan kondisi awal yang berbeda-beda. Setelah mendapatkan parameter-parameter kontrol PID, maka dapat dibuat tabel penjadwalan parameter kontroler PID dari sistem parameter suhu. Berikut tabel penjadwalan parameter suhu.

Tabel 2. Nilai Kontrol PI-GS

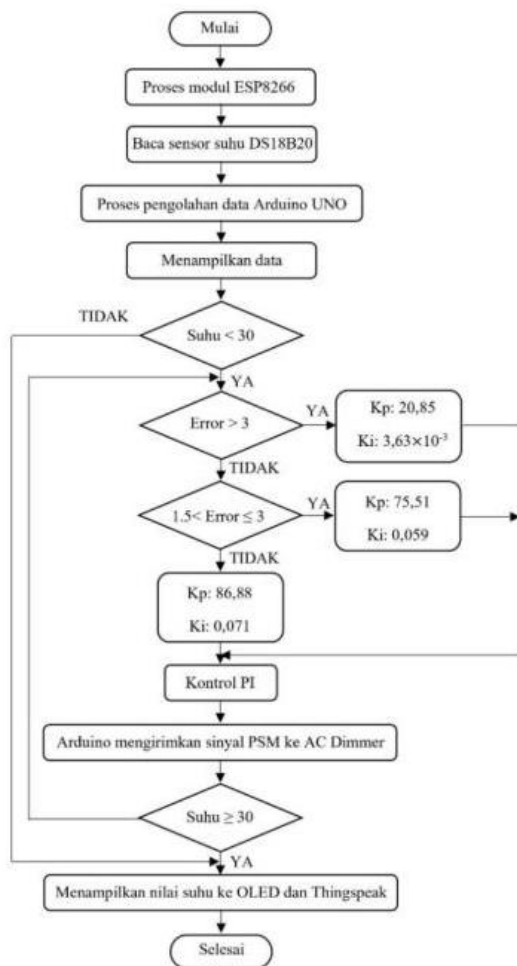
Kondisi	K_p	K_i
$e > 3$	20.85	0.00363
$1,5 < e \leq 3$	75.51	0.043
$0 < e \leq 1,5$	868.886	0.071

2.14. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan Tugas Akhir ini memerlukan software untuk mengirimkan data perintah ke mikrokontroler agar sistem dapat mengontrol dan dan memonitoring parameter air. *Software* yang digunakan adalah Arduino IDE untuk mengirimkan perintah ke mikrokontroler Arduino UNO R3. Pada sistem monitoring secara *online*, penulis menggunakan *web server* Thingspeak yang akan menampilkan pembacaan sensor [15].

Pada flowchart yang sudah ditampilkan pada Gambar 7, sistem terlebih dahulu dihidupkan dengan menggunakan power supply 12V DC. Setelah sistem menyala, modul ESP8266 akan aktif untuk mengkoneksikan jaringan Wi-Fi ke Arduino UNO R3 agar dapat terhubung ke internet. Kemudian sensor suhu digital DS18B20 akan membaca nilai suhu pada air dan data yang terbaca akan dikirimkan

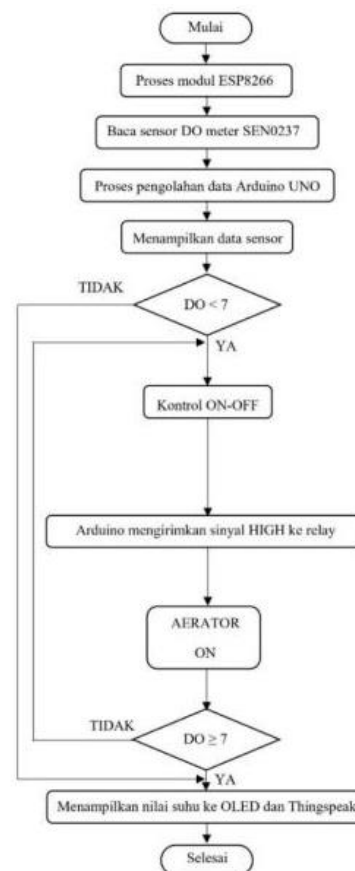
ke Arduino UNO R3. Arduino UNO R3 akan menerima data dan mengolahnya ke dalam bentuk PSM/PWM dan dikirimkan ke modul AC Light Dimmer. AC Light Dimmer akan mengubah sinyal PSM menjadi tegangan untuk mengatur tingkat panas pada water heater. Dengan nilai setpoint adalah 30, data sensor suhu akan dibandingkan dengan setpoint dan menghasilkan data error. Data error akan terlebih dahulu dibandingkan dengan penjadwalan yang sudah ditentukan. Pada penelitian ini, range penjadwalan dibagi menjadi 3 ($e < 3$; $1,5 < e \leq 3$; $0 < e \leq 1,5$) yang masing-masing memiliki nilai parameter PI yang berbeda-beda. Berikutnya, nilai error akan dijadikan sebagai masukan untuk kontroler PI dan menghasilkan nilai PSM, yang mana nilai PSM ini akan menggerakkan motor pompa. Jika nilai data sensor suhu berada dibawah setpoint, maka heater akan menyala dengan tegangan yang sesuai dengan penjadwalan.



Gambar 7. Flowchart sistem kontrol parameter suhu

Pada flowchart yang sudah ditampilkan Gambar 8, sistem terlebih dahulu dihidupkan dengan menggunakan power supply 12V DC. Setelah sistem menyala, modul ESP8266 akan aktif untuk mengkoneksikan jaringan Wi-Fi ke Arduino UNO R3 agar dapat terhubung ke internet.

Kemudian sensor DO meter akan membaca nilai DO pada air dan data yang terbaca akan dikirimkan ke Arduino UNO R3. Arduino UNO R3 akan menerima data dan mengolahnya ke dalam bentuk sinyal digital dan dikirimkan ke relay. Relay akan menerima sinyal digital HIGH/LOW dari Arduino untuk menyalakan atau mematikan water heater. Dengan nilai setpoint 7, data sensor suhu akan dibandingkan dengan setpoint. Jika sensor membaca nilai DO dibawah 7 maka relay akan menerima sinyal HIGH dan water heater akan menyala. Sedangkan jika sensor suhu membaca nilai $DO \geq 7$, maka relay akan menerima sinyal LOW sehingga water heater tidak menyala.



Gambar 8. Flowchart sistem kontrol parameter suhu

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Sistem

Pada bagian implementasi perangkat keras (hardware) terdapat sensor DO meter SEN0237 untuk mengukur kadar oksigen terlarut pada air. Perubahan nilai DO dalam air mempengaruhi nilai tegangan pada sensor. Nilai tegangan ini akan diinput ke mikrokontroler Arduino UNO R3 dan dikonversi menjadi nilai pembacaan DO. Sistem kontrol dan monitoring parameter DO ini menggunakan aerator 4 keluaran udara 12W sebagai aktuator, yang berfungsi untuk meniup udara ke dalam air sehingga kadar oksigen

bisa naik. Kondisi ON-OFF aerator diatur oleh relay dengan trigger pin 5V untuk mengontrol tegangan 220VAC dan dibatasi oleh nilai set-point. Pada sistem kontrol dan monitoring parameter suhu pada air, sensor yang digunakan adalah sensor digital waterproof DS18B20. Pembacaan digital sensor ini digunakan sebagai input pada mikrokontroler Arduino UNO R3 dan kemudian diproses dengan nilai set-point yang telah ditentukan. Modul AC Light Dimmer pada sistem kontrol suhu digunakan untuk mengatur besarnya tegangan yang disambungkan ke water heater 100W sebagai aktuatornya. Sistem kontrol dan monitoring DO dan suhu menggunakan LCD 16x2 untuk menampilkan pembacaan sensor secara offline dan menggunakan ESP8266 sebagai modul WiFi untuk akses secara online.



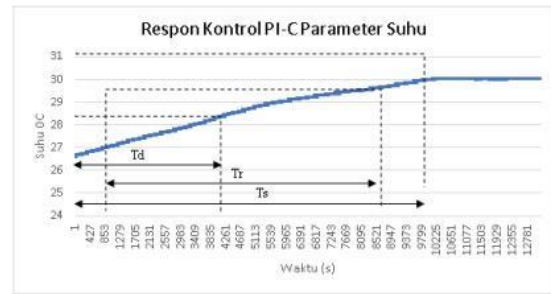
Gambar 9. Implementasi sistem kontrol dan monitoring DO dan suhu air

3.2. Pengujian Kontroler PI-GS dan ON-OFF Pada Sistem Kontrol Suhu dan DO

Sistem pengontrolan nilai suhu air menggunakan metode kontrol PI-GS untuk menjaga nilai suhu air sesuai dengan setpoint yang ditentukan, yang pada penelitian ini adalah nilai 30°C. Kondisi pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah kondisi nilai suhu berada di bawah setpoint.

3.2.1. Pengujian Kontrol PI-C & PI-GS Sistem Kontrol Suhu

Pengujian ini menggunakan sensor suhu digital DS18B20 untuk mengukur perubahan nilai suhu dengan kondisi awal 26,69°C dan dengan setpoint 30°C sehingga memiliki nilai error 3,31. Nilai error ini akan masuk ke kontroler dan mengatur tegangan water heater hingga mencapai nilai setpoint. Hasil pengujian respon kontrol PI-C dan PI-GS dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11 dibawah ini.

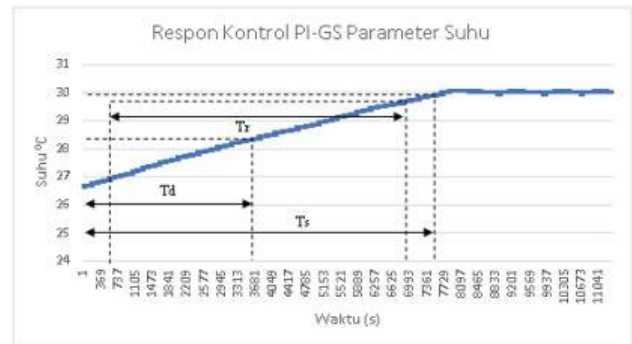


(a)



(b)

Gambar 10. Respon sistem kontrol PI-GS: (a) suhu, (b) PWM



(a)



(b)

Gambar 11. Respon sistem kontrol PI-GS: (a) suhu, (b) PWM

Hasil perbandingan antara kontroler PI-C dengan PI-GS ditunjukkan pada Tabel 3.

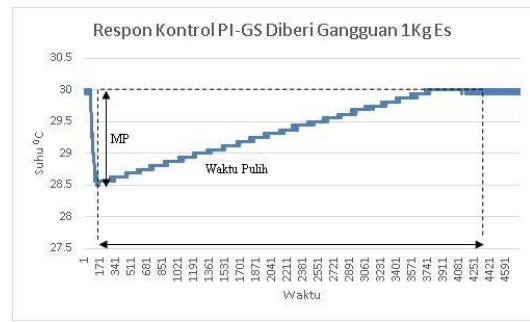
Tabel 3. Hasil perbandingan analisis respon sistem kontrol

Kontroler	T _{Delay} (s)	T _{Rise} (s)	T _{Settling} (s)	Overshoot (%)	T _{Peak} (s)
PI-C	4081	8101	9894	-	-
PI-GS	87	719	938	-	-

Dari tabel perbandingan antara metode kontrol PI-C dengan metode kontrol PI-GS, dapat disimpulkan bahwa metode kontrol PI-GS lebih optimal untuk mengontrol suhu air dibandingkan dengan metode kontrol PI-C.

3.2.2. Pengujian Metode Kontrol PI-C & PI-GS Kondisi Diberi Gangguan 1 Kg Es

Pada pengujian pemberian gangguan, jenis gangguan yang digunakan adalah 1 kg es batu dengan asumsi suhu 0°C. Kondisi awal suhu air adalah 30°C dan dengan selang beberapa waktu kemudian, es batu sebanyak 1 kg akan diberikan ke air sehingga terjadi perubahan nilai suhu. Dengan perubahan nilai suhu tersebut, sistem akan berusaha menstabilkan hingga mencapai nilai *setpoint*.



(a)



(b)

Gambar 13 Respon sistem kontrol PI-GS diberi gangguan es batu: (a) nilai suhu, (b) nilai PWM

Hasil perbandingan antara kontroler PI-C dengan PI-GS dengan gangguan 1kg es dapat dilihat di Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perbandingan analisis respon kondisi diberi gangguan 1 kg es

Kontroler	Suhu Awal	Suhu Akhir	Error (%)	Overshoot (%)	T _{Pulih} (s)
PI-C	30,00	30,00	0	5,2	3772
PI-GS	30,00	30,00	0	5	3520

Dari tabel perbandingan antara metode kontrol PI-C dengan metode kontrol PI-GS, dapat disimpulkan bahwa metode kontrol PI-GS lebih optimal untuk mengontrol suhu air dibandingkan dengan metode kontrol PI-C.

3.2.3. Perbandingan Fungsi Alih Orde I dan III Pada Sistem Kontrol Suhu

Respon dari fungsi alih orde I dan orde III yang didapat dari kalkulasi MATLAB akan dibandingkan untuk mendapatkan fungsi alih yang lebih efektif dan optimal pada *plant*. Perbandingan pada ketiga penjadwalan sebagai berikut.

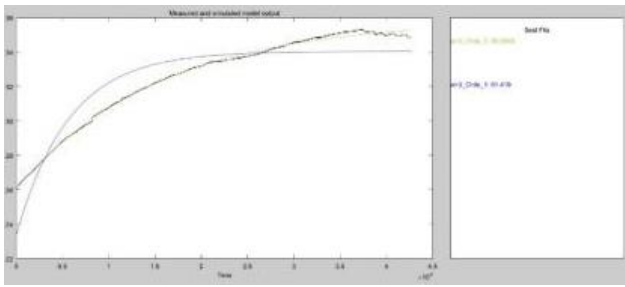


(a)

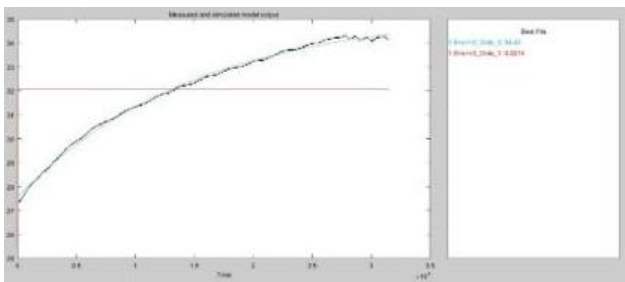


(b)

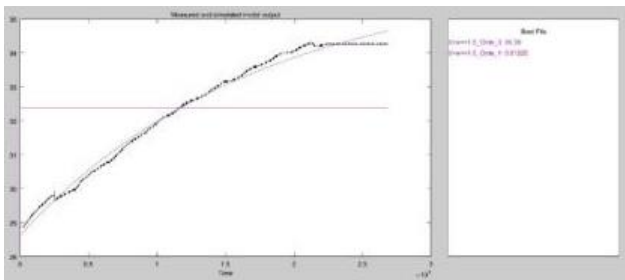
Gambar 12. Respon sistem kontrol PI-C diberi gangguan es batu: (a) nilai suhu, (b) nilai PWM



Gambar 14. Perbandingan Respon Pada $e > 3$; orde I (hijau) dan orde III (biru)



Gambar 15. Perbandingan Respon Pada $1,5 \leq e \leq 3$; orde I (biru muda) dan orde III (merah muda)



Gambar 16. Perbandingan Respon Pada $0 < e \leq 1,5$; orde I (ungu; atas) dan orde 3 (merah muda; bawah)

Hasil perbandingan antara fungsi orde I dan III ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perbandingan analisis respon sistem kontrol suhu orde I dan III

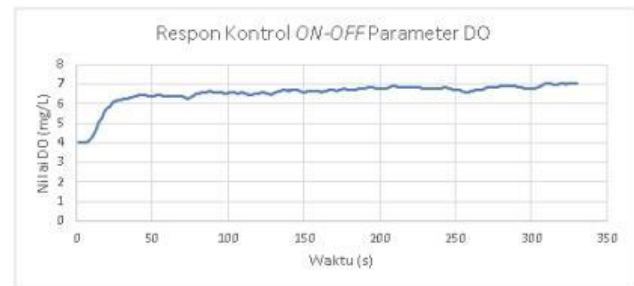
Orde	$e > 3$	$1,5 < e \leq 3$	$0 < e \leq 1,5$
I	61,419	0,0214	0,01225
III	95,0049	94,43	90,39

Dari tabel perbandingan antara fungsi orde I dan III, dapat disimpulkan bahwa fungsi pada order III lebih memiliki kemiripan terhadap data, sehingga fungsi alih lebih akurat.

3.2.4. Pengujian Kontrol ON-OFF Sistem Kontrol DO

Pada pengujian sistem kontrol DO pada air, metode kontrol yang digunakan adalah kontrol ON-OFF. Metode kontrol ON-OFF dipilih pada pengujian ini karena nilai DO cenderung lebih sulit untuk mencapai setpoint seiring

bertambahnya nilai DO. Sehingga penulis berasumsi, jika digunakan kontrol PID, nilai DO akan lebih lama untuk mencapai setpoint. Nilai DO yang berlebih juga tidak mengurangi kualitas air pada kolam dan cenderung tidak mengganggu pertumbuhan pada ikan Koi. Pada pengujian parameter DO, nilai awal DO berada pada 4 mg/L dengan setpoint 7 mg/L. Pengujian kontrol parameter DO ditunjukkan pada Gambar 17.



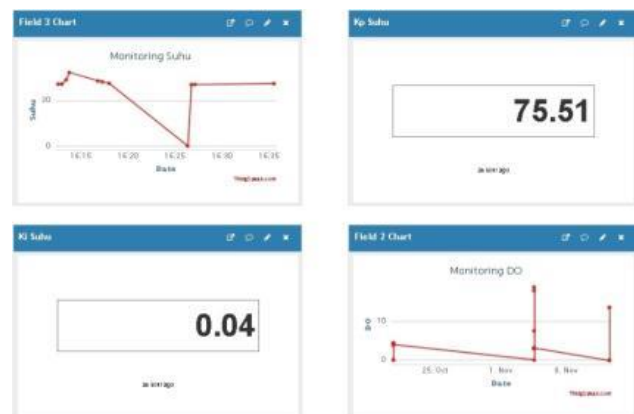
Gambar 17. Respon Kontrol ON-OFF Parameter DO

Pada pengujian ini, sensor yang digunakan adalah sensor analog DO meter SEN0237 dan relay dengan trigger pin 5V untuk mengontrol tegangan 220VAC yang disambungkan ke aerator merk Jingye dengan daya 12W.

3.3. Pengujian Sistem Monitoring



(a)



(b)

Gambar 18. Hasil pengujian sistem monitoring (a) Nilai DO dan suhu pada LCD (b) Thingspeak

Sistem monitoring parameter suhu dan DO menggunakan 2 jenis monitoring, yaitu secara offline melalui layar LCD 16x2, dan secara online melalui web server Thingspeak.

Sistem monitoring parameter DO dan suhu secara offline masing-masing ditampilkan pada Gambar.

Nilai pembacaan DO dan suhu yang telah terkirim oleh mikrokontroler Arduino UNO R3 pada sistem *monitoring* akan ditampilkan secara aktual. *Thingspeak* sangat membutuhkan jaringan internet yang cepat untuk *update* pembacaan sensor.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan dengan kondisi berada di bawah setpoint dan diberi gangguan 1kg es pada sistem suhu, dapat disimpulkan bahwa metode kontrol PI-GS memiliki hasil yang optimal dibandingkan dengan PI konvensional. Sistem monitoring suhu dan DO air dapat menampilkan nilai pembacaan sensor suhu dan DO serta nilai parameter kontrol PI dengan baik. Pada pengembangan penelitian selanjutnya, penulis menyarankan untuk menggunakan metode kontrol adaptif lain pada sistem kontrol suhu dan DO, seperti kontrol *Fuzzy Logic*, *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), *MRAC System*, dan *Self-Tuning Regulator*. Sistem kontrol untuk menurunkan suhu juga dapat ditambahkan pada pengembangan produk selanjutnya. Pada pengembangan sistem monitoring parameter kualitas air kedepannya dapat ditambahkan fitur untuk pengontrolan jarak jauh, seperti menghidupkan atau mematikan sistem dari *web server*.

Referensi

- [1], Kementerian Kelautan dan Perikanan RI. (2019). Total Produksi Ikan 2019. Diakses pada tanggal 20 September 2021 dari aplikasi Statistik KKP.
- [2], Siegers, W. H., Prayitno, Y., & Sari, A. (2019). Pengaruh Kualitas Air terhadap Pertumbuhan Ikan Nila Nirwana (*Oreochromis sp.*) pada Tambak Payau. *The Journal of Fisheries Development*, 3(2), 95-104.
- [3], Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI. (2013). Pengelolaan Kualitas Air. Kurikulum 2013.
- [4], Suprpto, D. E. (2019). Monitoring Temperatur Trafo Distribusi 220V Dengan Arduino Berbasis IoT. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro-Fakultas Teknik UM.
- [5], Suryani, Ir. (2006). *Budidaya Ikan Hias*. PT. Citra Aji Pratama, Yogyakarta.
- [6], Edwards, E. A., & Twomey, K. (1982). *Habitat suitability index models: common carp*. Western Energy and Land Use Team, Office of Biological Services, Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior.
- [7], Dita, P. E. S., Al Fahrezi, A., Prasetyawan, P., dan Amarudin. *Sistem Keamanan Pintu Menggunakan Sensor Jari Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO R3*. Skripsi. Lampung: Lampung Universitas Teknokrat Indonesia; 2021.
- [8], Rosyid, Y. R. (2021). *Pemodelan Dan Simulasi Untuk Sistem Kendali Otomatis Electric Water Heater Berbasis PID Controller* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [9], Roihan, A., Permana, A., dan Mila, D. *Monitoring Kebocoran Gas Menggunakan Mikrokontroler Arduino UNO dan ESP8266 Berbasis Internet of Things*. *Raharha ICIT Journal*. 2016; 2(2).
- [10], Mardhiya, I. R., Surtono, A., & Suciyati, S. W. (2018). Sistem akuisisi data pengukuran kadar oksigen terlarut pada air tambak udang menggunakan sensor dissolved oxygen (DO). *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 6(1), 133-140.
- [11], Liputo, B., Staddal, I., & Mutsyahidan, A. M. A. (2020). Mengenali Karakteristik Kontrol On-Off Dengan Grafik Logika. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 8(1), 65-68.
- [12], Wijaya, E. C., Setiawan, I., & Wahyudi, W. (2011). *Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu* (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip).
- [13], Wibowo, W., Setiawan, I., & Sumardi, S. (2011). Aplikasi Teknik Kendali Gain Scheduling Pada Sistem Kontrol Valve Untuk Pengendalian Tinggi Muka Cairan Pada Limas Terpancung (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik).
- [14], Simanjuntak, M. N., Andromeda, T., & Soetrisno, Y. A. A. (2021). PERANCANGAN SISTEM MONITORING DAN KENDALI DERAJAT KEASAMAN PADA TANAMAN HIDROPONIK SISTEM NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) MENGGUNAKAN METODE KONTROL PID. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1(4).
- [15], Pahlevi, M. (2019). *KENDALI LAMPU DAN MOTOR SERVO BERBASIS ARDUINO MELALUI INTERNET OF THINGS (IOT) BERBASIS WEB* (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Yogyakarta).