

**SISTEM PENGENDALIAN SUHU AIR PADA MINIATUR TAMBAK UDANG
VANAME MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO**

**SKRIPSI
TEKNIK KONTROL KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN
SISTEM PENGENDALIAN SUHU AIR PADA MINIATUR TAMBAK
UDANG VANAME MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS
ARDUINO

SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



SATRIO DWI PAMBUDI
NIM. 135060301111093

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing



Hadi Suvano, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19730520 200801 1 013



Dr. Ir. Erni Yudaningtvas, MT.
NIP. 196509131990022001



JUDUL SKRIPSI:

SISTEM PENGENDALIAN SUHU AIR PADA MINIATUR TAMBAK UDANG
VANAME MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO

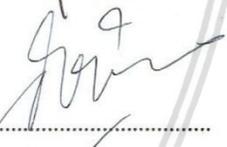
Nama Mahasiswa : Satrio Dwi Pambudi
 NIM : 135060301111093
 Program Studi : Teknik Elektro
 Konsentrasi : Teknik Kontrol

KOMISI PEMBIMBING:

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T. 

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Rahmadwati, ST., MT., Ph.D 

Dosen Penguji II : Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT 

Dosen Penguji III : Dr. Ir. Bambang Siswojo, MT 

Tanggal Ujian : 29 JUNI 2018

SK Penguji : 1286 /UN10.F07/ SK/ 2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

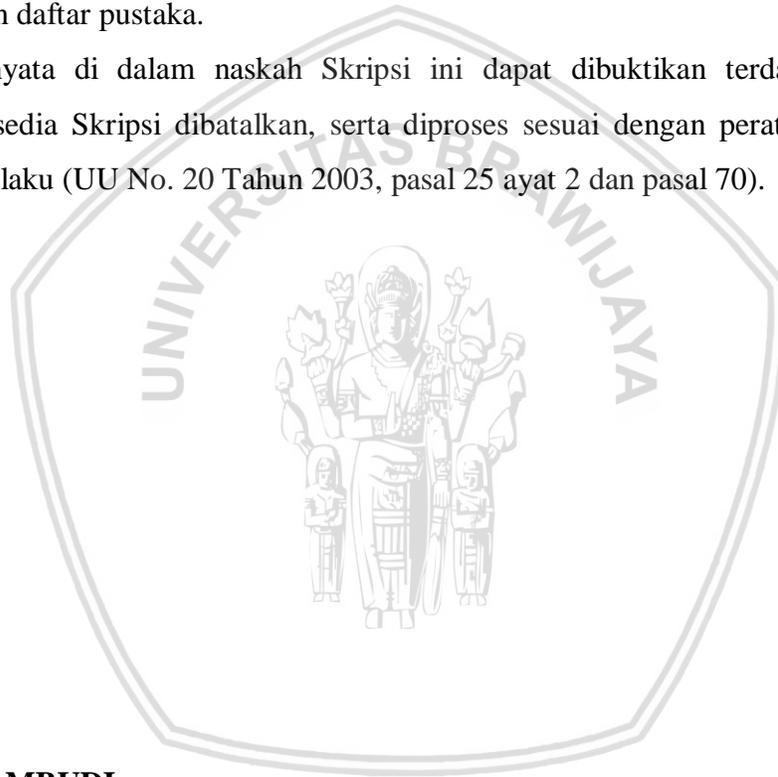
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juni 2018

Mahasiswa,

SATRIO DWI PAMBUDI

NIM. 135060301111093







*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Bapak dan Ibu Tercinta*



RINGKASAN

Satrio Dwi Pambudi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, Sistem Pengendalian Suhu Air Pada Miniatur Tambak Udang Vaname Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino. Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT.

Dalam budidaya udang vaname, air merupakan media yang paling penting. Kondisi air sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan hidup udang vaname. Salah satu dari beberapa hal yang mempengaruhi kualitas air dalam budidaya udang vaname adalah suhu. Suhu air yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan udang vaname yaitu berada pada kisaran 26°C hingga 34°C . Jika suhu air yang digunakan untuk budidaya udang vaname terlalu rendah atau terlalu tinggi maka akan menyebabkan naiknya tingkat risiko kemungkinan udang terserang penyakit yang dapat menyebabkan kematian pada udang. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dirancang suatu alat yang mampu mempertahankan suhu air konstan agar mendapatkan hasil yang maksimal. Penelitian ini menggunakan kontroler PID berbasis Arduino UNO dengan sensor suhu DS18B20. Penentuan parameter kontroler PID menggunakan metode Ziegler-Nichols dengan nilai $K_p = 5,87$; $K_i = 0,051$; dan $K_d = 167,295$. Dari hasil pengujian, sistem dapat mencapai *set-point* 30°C selama 1919 detik (t_s), dengan waktu tunda (t_d) 28,5 detik, persentase *error steady state* tidak lebih dari 2% dan *recovery time* saat terdapat gangguan selama 728 detik.

Kata kunci: Udang vaname, suhu, arduino UNO, PID, Ziegler-Nichols.

SUMMARY

Satrio Dwi Pambudi, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Brawijaya University, June 2018, Water Temperature Control System for Miniature Pond of Vaname Shrimp Using Arduino Based PID Controller. Supervisor: Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT.

In the cultivation of vaname shrimp, water is the most important medium. Water condition is very influential on the growth and development of shrimp vaname lives. One of the few things that affects water quality in shrimp farming is water temperature. The water temperature that can be used for vaname shrimp is in the range of 26° C to 34° C. If the water temperature used for shrimp farming is lower or higher then it will increase the risk of shrimp disease. To overcome these problems, a tool that is able to maintain the water temperature for maximum results is designed. This study used Arduino UNO-based PID controller with temperature sensor DS18B20. Determination of PID controller parameters using Zieger-Nichols method with value $K_p = 5.87$; $K_i = 0.051$; and $K_d = 167.295$. From the test results, the system can reach 30° C in 1919 seconds (t_s), with delay time (t_d) 28.5 seconds, steady state percentage error values are no more than 2% and the recovery time when disturbed is 728 seconds.

Keywords: Vaname shrimp, temperature, arduino UNO, PID, Zieger-Nichols.

PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Pengendalian Suhu Air Pada Miniatur Tambak Udang Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino UNO”. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

- Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan hidayah-Nya.
- Bapak dan Ibu tercinta, Bapak Suhartoyo dan Ibu Nur Rahayu yang selalu memberikan kasih sayang dan do’a yang tak pernah putus.
- Saudara tercinta, Dimas Purwo Nugroho yang selalu berbagi cerita, semangat, canda, dan tawa.
- Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ir. Nurussa’adah, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ir. Purwanto, MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Kontrol Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan kesempatan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan.



- Teman-teman asisten laboratorium Sistem Kontrol, Rifan, Yudha, Iqbal, Zaini terimakasih telah memberikan banyak bantuan dan canda tawa.
- Teman-teman seperjuangan, Rozaq, Adyt, Udin, Firman, Muchzan, Rendra, Idam, Azril, Rony, Ibadi, Ilham yang selalu menemani, memberikan bantuan dan semangat dalam skripsi ini.
- Keluarga besar Teknik Kontrol 2013 dan Spectrum 2013 untuk dukungan dan semangat.
- Semua pihak, yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Udang Vaname	5
2.2. Arduino UNO	7
2.3. Sensor Suhu DS18B20.....	9
2.4. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	10
2.5. <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO)	10
2.6. Matlab	10
2.7. Relay	11
2.8. MOC3021	11
2.9. Kontroler	12
2.9.1 Kontroler Proposional.....	13
2.9.2 Kontroler Integral.....	13
2.9.3 Kontroler Diferensial.....	14
2.9.4 Kontroler Proposional-Integral (PI).....	15
2.9.5 Kontroler Proposional-Diferensial (PD).....	15
2.9.6 Kontroler Proposional-Integral Diferensial (PID).....	16
2.10 Metode <i>Tuning</i> PID Zieger-Nichols.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Perancangan Blok Diagram.....	21
3.2. Spesifikasi Desain	22

3.3	Spesifikasi Alat.....	22
3.4	Karakterisasi Setiap Blok	23
3.4.1	Karakterisasi Aktuator.....	23
3.4.2	Karakterisasi Sensor Suhu DS18B20.....	25
3.4.3	Karakterisasi <i>Plant</i>	26
3.5	Perancangan Pembuatan Perangkat Keras	27
3.6	Perancangan Algoritma	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Pengujian <i>Plant</i>	31
4.2	Pengujian Keseluruhan Sistem	33
4.3	Pengujian Keseluruhan Sistem dengan Gangguan	35
4.4	Perbandingan Hasil	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		37
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....		41
LAMPIRAN.....		43
<i>DATA SHEET</i>		89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Morfologi udang vaname	6
Gambar 2. 2 Arduino Uno R3	8
Gambar 2. 3 Sensor Suhu DS18B20.....	9
Gambar 2. 4 <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	10
Gambar 2. 5 Sinyal PWM	11
Gambar 2. 6 <i>Schematic</i> MOC 3021	12
Gambar 2. 7 Rangkaian <i>Driver</i>	12
Gambar 2. 8 Diagram blok kontroler	14
Gambar 2. 9 Diagram blok kontroler integral	14
Gambar 2.10 Diagram blok kontroler diferensial.....	15
Gambar 2.11 Diagram blok kontroler PID.....	17
Gambar 2.12 Kurva respon <i>unit step</i> yang menunjukkan 25% <i>maximum overshoot</i>	17
Gambar 2.13 Respon <i>plant</i> terhadap masukan <i>unit step</i>	18
Gambar 2.14 Kurva respon berbentuk S.....	18
Gambar 2.15 Sistem <i>loop</i> tertutup dengan kontroler proposional.....	19
Gambar 2.16 Osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr}	20
Gambar 3.1 Diagram blok sistem	21
Gambar 3.2 Skema Alat	22
Gambar 3.3 Rangkaian pengujian karakterisasi <i>heater</i>	23
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Termometer dengan Sensor DS18B20.....	26
Gambar 3.5 Rangkaian pengujian karakterisasi aktuator.....	27
Gambar 3.6 Skema Perangkat Keras	27
Gambar 3.7 <i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor Suhu	29
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> Perhitungan Parametr PID.....	30
Gambar 4.1 Karakteristik Respon Suhu pada <i>Plant</i>	31
Gambar 4.2 Grafik Penentuan Parameter PID	33
Gambar 4.3 Respon Suhu Sistem pada Siang Hari Tanpa Gangguan	34
Gambar 4.4 Respon Suhu Sistem pada Malam Hari Tanpa Gangguan	34
Gambar 4.5 Respon Suhu Sistem pada Siang Hari dengan diberi Gangguan	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku mutu kualitas air	7
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino UNO	8
Tabel 2.3 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols berdasarkan respon <i>unit step</i> dari <i>plant</i>	9
Tabel 2.4 Aturan Dasar Ziegler-Nichols berdasarkan <i>critical gain</i> K_{cr} dan <i>critical period</i> .20	
Tabel 3.1 Nilai Tegangan keluaran <i>driver heater</i> terhadap masukan sinyal PWM.....	24
Tabel 3.2 Perbandingan pembacaan sensor suhu dengan termometer.....	25
Tabel 3.3 Aturan <i>Tuning</i> Metode Zieger-Nichols 1	28
Tabel 4.2 Perbandingan Perlakuan Udang	37



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang biasa disebut dengan udang putih adalah spesies udang yang berasal dari perairan Amerika Tengah dan Selatan seperti Ekuador, Venezuela, Panama, Meksiko dan Brasil. Beberapa tahun terakhir, komoditas yang berkontribusi utama pada sektor budidaya perikanan di Indonesia adalah udang putih. Udang vaname diizinkan masuk ke Indonesia melalui SKM Menteri Kelautan dan Perikanan RI No.41/2001 dan sejak itu peranan udang vaname sangat nyata menggantikan agroindustri udang windu (*Penaeus monodon*) yang merupakan udang asli Indonesia karena udang windu mengalami penurunan kualitas dan gagal produksi akibat faktor teknis maupun non teknis (Nababan, E. 2015).

Sejalan dengan upaya untuk meminimalkan kegagalan panen dan sekaligus meningkatkan produksi udang, maka Departemen Kelautan dan Perikanan RI pada tahun 2000 telah merekomendasikan pembudidayaan udang vaname sebagai salah satu alternatif. Udang vaname memang bukanlah merupakan udang asli Indonesia, namun udang vaname ini cukup baik untuk dibudidayakan di Indonesia (Dinas Kelautan dan Perikanan Daerah Provinsi Sulawesi Tengah. 2009).

Udang vaname memiliki beberapa keunggulan, di antaranya adalah: (1) pakan yang diberikan kandungannya proteinnya lebih rendah dibanding dengan pakan untuk udang windu sehingga harga pakannya lebih murah, (2) produktivitasnya tinggi karena kelangsungan hidupnya (*survival rate*) tinggi, (3) lebih mudah dibudidayakan, tidak serumit udang windu, (4) waktu pemeliharaannya lebih pendek, (5) relatif lebih tahan penyakit dibanding udang jenis lain, (6) pertumbuhannya tiap minggu bisa mencapai 3 gram meski tingkat kepadatannya mencapai 100 ekor/m², (7) dapat bertahan hidup pada kisaran salinitas yang tinggi maupun rendah (Kordi, M. G. H. 2008).

Udang vaname pada awalnya dianggap tahan terhadap serangan penyakit. Namun dalam perkembangannya, udang vaname juga dapat terserang beberapa penyakit diantaranya *White Spot Syndrome Virus* (WSSV), *Taura Syndrom Virus* (TSV), dan *Early*

Mortality Syndrome (EMS). Untuk itu perlu dilakukan pencegahan dan pengendalian dengan penerapan budidaya ramah lingkungan (WWF Indonesia. 2014).

Suhu air yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan udang vaname yaitu berada pada kisaran 26°C - 34°C , pada suhu tersebut udang vaname dapat hidup, tumbuh dan berkembang dengan baik. Sedangkan jika terjadi perubahan suhu secara drastis dalam waktu yang singkat maka sebaiknya perubahan suhu tersebut tidak lebih dari 3°C . Jika suhu terlalu tinggi, udang akan mengalami kram atau kejang, sedangkan jika suhu terlalu rendah maka udang akan bersifat pasif (diam) yang dapat mengakibatkan turunnya nafsu makan atau biasa dinamakan dengan penyakit *Early Mortality Syndrom* (EMS) (Rubiyanto, Widdodo H. 2005).

Berdasarkan uraian di atas maka perlu diciptakan suatu teknologi yang dapat dimanfaatkan oleh pembudidaya baik skala kecil maupun besar untuk mengatasi permasalahan seputar budidaya udang vaname. Solusinya adalah teknologi yang mampu meningkatkan kualitas produksi udang vaname dengan cara mengendalikan parameter kualitas air yaitu suhu secara otomatis dan terukur pada kisaran nilai parameter yang ideal serta menekan terjadinya fluktuasi lingkungan yang tinggi agar dapat mengurangi jumlah kematian pada udang vaname.

Adapun penelitian sebelumnya yang berjudul Perancangan Pengendalian Kadar Keasaman (PH) dan Suhu pada Miniatur Tambak Udang, kontroler yang digunakan adalah logika *fuzzy* (KLF). Perancangan untuk KLF menggunakan *input* dari *error* suhu. Metode inferensi yang digunakan adalah metode *max-min* dan defuzzifikasi. Dari hasil pengujian sistem tanpa gangguan diperoleh *error steady state* parameter suhu sebesar 0,4% dengan *settling time* sebesar 749 detik (Afif, M. Y. 2016).

Penelitian kali ini menggunakan alat yang memanfaatkan kontroler Proposional Integral Differensial (PID) berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Kontroler PID adalah kontroler merupakan gabungan dari kontroler proposional, kontroler integral, dan kontroler diferensial. Gabungan dari ketiga kontroler ini diharapkan dapat memberikan keluaran sistem yang ideal, sesuai dengan *set-point*, dan mencegah terjadinya *overshoot*. Penelitian ini menggunakan kontroler PID karena merupakan sebuah sistem yang sederhana. Kontroler PID juga memiliki respon sistem yang halus dan cepat.

1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana merancang suatu sistem pengendalian suhu air yang ideal untuk budidaya udang vaname dengan menggunakan kontroler PID berbasis Arduino UNO?
2. Bagaimana respon sistem pengendalian suhu air pada budidaya udang vaname dengan menggunakan kontroler PID berbasis Arduino UNO?

1.3 BATASAN MASALAH

Sesuai dengan rumusan masalah yang telah diketahui, maka hal-hal yang berkaitan dengan perancangan alat diberi batasan sebagai berikut:

1. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu air dengan kontroler PID.
2. Pengendalian suhu air diatur menggunakan pemanas atau *heater*.
3. Sensor suhu yang digunakan adalah sensor DS18B20.
4. Arduino UNO R3 digunakan sebagai komponen utama rangkaian kontroler.
5. Menganalisis kesalahan kondisi tunak (*error steady state*).

1.4 TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistem pengendalian suhu air pada budidaya udang vaname menggunakan kontroler PID berbasis arduino yang diharapkan dapat menghasilkan respon yang sesuai dengan nilai *set-point*.

1.5 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Skripsi ini terdiri atas enam bab dengan sistematika pembahasan masing-masing bab sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metode Penelitian

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat dan menganalisis hasil yang diperoleh.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan penelitian dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

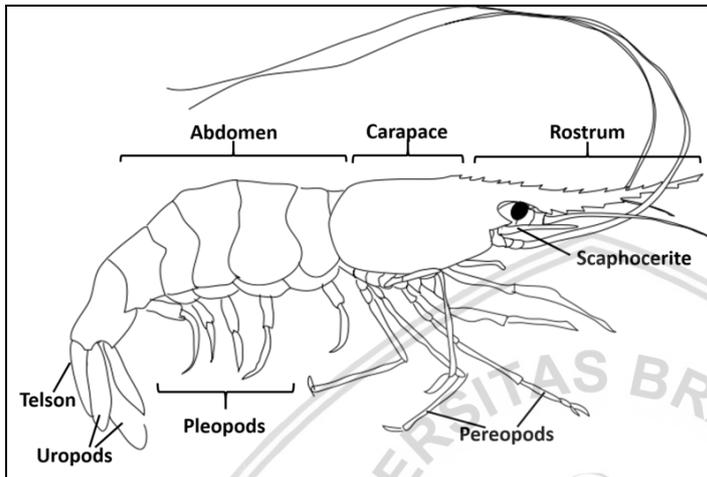
2.1 Udang Vaname

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) digolongkan ke dalam genus Penaeid pada filum Arthropoda dan ada ribuan spesies di filum ini. Namun, yang mendominasi perairan berasal dari sub filum Crustacea yaitu memiliki 3 pasang kaki berjalan yang berfungsi untuk mencapit, terutama dari ordo Decapoda, seperti *Litopenaeus vannamei*, *Litopenaeus indicus*, *Litopenaeus monodon*, dan *Litopenaeus vannamei*. Udang vaname memiliki nama ilmiah menurut ilmu taksonomi yang dituliskan dari urutan kingdom sampai tingkat spesies adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Subkingdom	: Metazoa
Filum	: Arthropoda
Subfilum	: Crustacea
Kelas	: Malacostraca
Subkelas	: Eulacostraca
Superordo	: Eucarida
Ordo	: Decapoda
Subordo	: Dendrobranchiata
Famili	: Penaeidae
Genus	: <i>Litopenaeus</i>
Spesies	: <i>Litopenaeus vannamei</i>

Tubuh udang vaname dibentuk oleh dua cabang, yaitu cabang pertama yang berbentuk pipih dan tidak beruas dan yang kedua berupa cambuk yang panjang, yang

berfungsi sebagai alat peraba dan perasa. Udang vaname memiliki struktur tubuh yang berbuku-buku dan aktivitas berganti kulit luar (*eksoskeleton*) secara periodik. Morfologi udang vaname terdiri dari antena, *rostrum*, *carapace*, *abdomen*, *scapocherite*, enam ruas perut, lima pasang kaki untuk berjalan (*pereopods*), lima pasang kaki untuk berenang (*pleopods*), sepasang sirip (*uropods*), dan *telson* (Rubiyanto, W. H. 2005).



Gambar 2.1 Morfologi udang vaname

Sumber: shrimpnews.com

Dalam upaya peningkatan kualitas produksi udang vaname, suhu adalah salah satu indikator yang perlu diperhatikan, karena fluktuasinya dapat terjadi dengan tiba-tiba dan berlangsung dalam waktu yang singkat. Hal ini dapat menyebabkan pertumbuhan udang terhambat atau bahkan dapat mematikan udang. Untuk suhu air yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan udang vaname yaitu berada pada kisaran 26 °C - 34 °C, pada suhu tersebut udang vaname dapat hidup, tumbuh dan berkembang dengan baik. Sedangkan jika terjadi perubahan suhu secara drastis dalam waktu yang singkat maka sebaiknya perubahan suhu tersebut tidak lebih dari 3 °C. Jika suhu terlalu tinggi, udang akan mengalami kram atau kejang, sedangkan jika suhu terlalu rendah maka udang akan bersifat pasif (diam) yang dapat mengakibatkan kekurangan nafsu makan (Rubiyanto, W. 2005). Tabel mutu kualitas air yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan udang dapat dilihat dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku mutu kualitas air

Parameter Mutu Air	Level opt	Keterangan
Suhu air (°C)	26 – 34	Fluktuasi harian < 3
pH air	7,5 – 8,5	Fluktuasi harian < 0,5
Salinitas (ppt)	10 – 25	Fluktuasi harian < 5
Kedalaman air (cm)	60 – 120	–
Kecerahan air (cm)	30 – 40	–
Oksigen (ppm)	5 – 6	–

Sumber: ternakpedia.com

2.2 Arduino Uno R3

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program di dalamnya. Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu perangkat elektronika digital yang mempunyai *input* dan *output* serta kontrol dengan program yang bisa ditulis dan dihapus. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data. Mikrokontroler digunakan dalam produk dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis.

Arduino UNO adalah sebuah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P. Arduino UNO mempunyai 14 pin untuk *input/output* digital (6 diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 input analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO memuat segala hal yang dibutuhkan mikrokontroler, dapat langsung disambungkan ke komputer menggunakan kabel USB atau dengan memberi adaptor AC ke DC atau dapat juga menggunakan baterai. Tampilan fisik Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan spesifikasinya dapat dilihat dalam Tabel 2.2.



Gambar 2.2 Arduino UNO R3

Sumber: store.arduino.cc

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino UNO

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5 Volt
Tegangan <i>Input</i> (disarankan)	7 – 12 Volt
Tegangan <i>Input</i> (batas akhir)	6 – 20 Volt
Pin I/O Digital	14 (16 pin sebagai <i>output</i> PWM)
Pin <i>Input</i> Analog	6
Arus DC per Pin I/O	40 mA
Arus DC untuk Pin 3.3 Volt	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (0.5 KB untuk <i>bootloader</i>)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
<i>Clock Speed</i>	16 Mhz

Sumber: store.arduino.cc

Masing-masing dari 14 pin Arduino UNO yang dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dijalankan dengan perintah fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()` yang menggunakan tegangan operasi sebesar 5 volt. Tiap pin dapat menerima arus maksimal hingga 40 mA dan besar resistansi internal *pull-up* antara 20 – 50 k Ω . Rincian fungsi dari tiap-tiap pin yang terdapat pada Arduino UNO adalah sebagai berikut:

1. Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Sebagai penerima (RX) dan pemancar (TX) TTL serial data. Pin ini terkoneksi untuk pin korespondensi *chip* Arduino.
2. *External Interrupts*: 2 dan 3. Pin ini berfungsi sebagai konfigurasi *trigger* pada saat interupsi nilai *value* turun, naik, dan tepi, atau berubah-ubah.
3. PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Melayani *output* 8-bit PWM dengan fungsi `analogWrite()`.
4. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin yang berfungsi untuk mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI library*.
5. LED: 13. Terdapat LED indikator bawaan (*built-in*) yang dihubungkan ke digital pin 13, ketika nilai *value* HIGH lampu led akan menyala dan ketika nilai *value* LOW lampu led akan padam.

2.3 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu merupakan salah satu komponen elektronika yang dapat menangkap perubahan temperatur lingkungan lalu mengkonversi ke besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis nilainya. Terdapat 4 macam sensor suhu, yaitu: termokopel, termistor, *Resistance Temperature Detectors* (RTD), dan IC LM 35. Tiap jenis sensor tersebut mempunyai cara kerja yang berbeda.

DS18B20 adalah sensor suhu digital seri terbaru dari Maxim IC. Sensor ini mampu membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12-bit, rentang -55°C hingga 125°C dengan ketelitian kurang lebih 0.5°C . Setiap sensor yang diproduksi memiliki kode unik sebesar 64-Bit yang disematkan pada masing-masing *chip*, sehingga memungkinkan penggunaan sensor dalam jumlah besar hanya melalui satu kabel saja (*single wire data bus/1-wire protocol*).



Gambar 2.3 Sensor Suhu DS18B20

2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

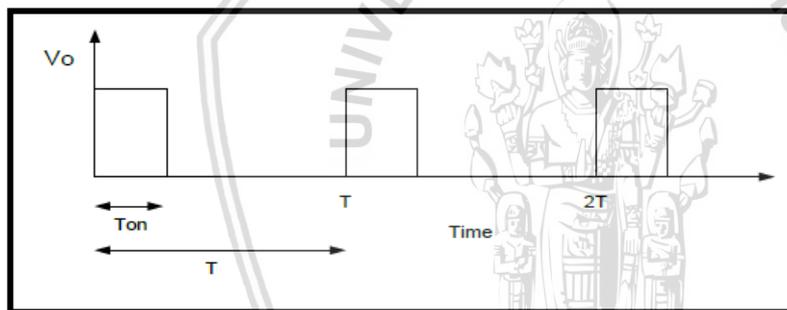
Pulse Width Modulation (PWM) adalah suatu proses modulasi yang dilakukan dengan cara mengubah lebar pulsa dari suatu pulsa data. Total 1 periode (T) pulsa dalam PWM adalah tetap, dan data PWM pada umumnya menggunakan perbandingan pulsa positif terhadap total pulsa. Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan *duty cycle* bervariasi dari 0 sampai 100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh *output* yang diinginkan. *Duty cycle* adalah besarnya sinyal yang diberikan pada *plant*.

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_{on}}{T} \times 100\%$$

Dengan:

T_{on} = Periode logika tinggi

T = Periode keseluruhan



Gambar 2.4 Sinyal PWM

2.5 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah sebuah sistem dimana terdapat lebih dari satu *output*. MIMO merupakan sistem yang lebih kompleks dari *Single Input Single Output* (SISO) karena dalam MIMO satu *output* satu *output* dipengaruhi oleh beberapa *input* dan satu *input* dapat mempengaruhi beberapa *output*.

2.6 Matlab

Matlab (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemrograman komputer generasi ke-empat. Dikembangkan oleh The MathWorks, Matlab memungkinkan untuk memanipulasi matriks, pembuatan plot fungsi dan data, pengimplementasian algoritma, pembuatan antarmuka pengguna, dan pengantarmukaan

dengan program dalam bahasa lainnya. Meskipun hanya bernuansa numerik, sebuah kotak kakas (*toolbox*) yang menggunakan mesin simbolik MuPAD, memungkinkan akses terhadap kemampuan aljabar komputer. Sebuah paket tambahan, Simulink dapat menambahkan simulasi grafis multi ranah dan Desain Berdasar Model untuk sistem terlekat dan dinamik.

2.7 Relay

Relay adalah saklar mekanik yang dikendalikan atau dikontrol secara elektronik (elektromagnetik). Saklar pada relay akan terjadi perubahan posisi *OFF* dan *ON* pada saat diberikan energi elektromagnetik pada armatur relay tersebut. Relay pada dasarnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu saklar mekanik dan sistem pembangkit elektromagnetik (induktor inti besi). Saklar atau kontraktor relay dikendalikan menggunakan tegangan listrik yang diberikan ke induktor pembangkit magnet untuk menarik armatur tuas saklar atau kontaktor relay. Relay yang ada di pasaran terdapat berbagai bentuk dan ukuran dengan tegangan kerja dan jumlah saklar yang bervariasi.

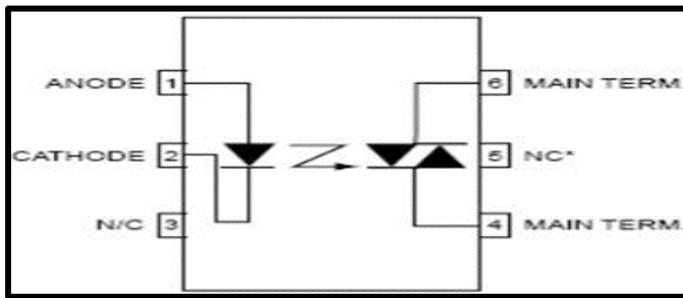
2.8 MOC 3021

Data yang telah diolah oleh kontroler PID pada mikrokontroler akan dikeluarkan oleh pin I/O mikrokontroler. Keluaran dari mikrokontroler ini akan menjadi masukan rangkaian *driver* elemen pemanas berupa opto triac tipe 3021.

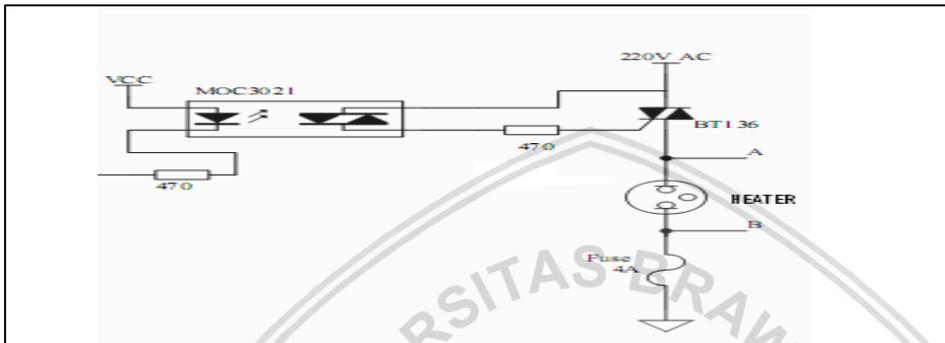
Komponen ini merupakan jenis opto isolator yang digunakan sebagai antarmuka (*interface*) antara peralatan dengan sumber tegangan DC (seperti mikrokontroler, PC), dengan peralatan yang menggunakan sumber tegangan AC (lampu, motor listrik, pemanas). MOC 3021 secara umum berfungsi hampir sama seperti sebuah saklar, dimana sebuah pemicu pada pin masukan dibutuhkan untuk *trigger* triac pada keluaran.

Konfigurasi pin MOC 3021 ditunjukkan pada Gambar 2.6. pin 1 merupakan pin masukan anoda, pin 2 merupakan pin masukan katoda, pin 3 dan 5 tidak digunakan, simbol NC sama dengan *No Connection* dalam artian tidak ada sambungan.

MOC 3021 sendiri tidak dapat berfungsi sama seperti triac pada umumnya, yang langsung dapat menjadi *driver* bagi beban, sehingga pin 6 (*main terminal* triac MOC) harus dihubungkan dengan *main terminal* triac eksternal. Pin 4 harus dihubungkan dengan *gate* triac eksternal. Sumber: MOC 3021 *Datasheet Book*: 1.



Gambar 2.5 Schematic MOC 3021



Gambar 2.6 Rangkaian Driver

2.9 Kontroler

Kontroler merupakan suatu subsistem dinamis yang dapat dimasukkan kedalam sistem untuk memanipulasi suatu persamaan matematis dari sebuah *plant*. Umumnya, kontroler juga dikenal dengan istilah kompensator, pengendali, maupun filter. Kegunaan kontroler adalah sebagai berikut (Ogata, 2010):

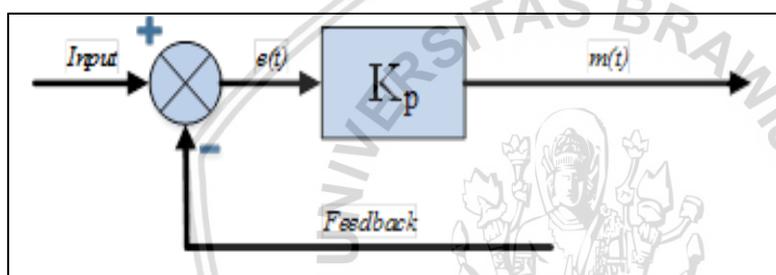
1. Membandingkan harga *set-pint* dengan respon *plant*.
2. Menentukan *error* dari sistem yang merupakan hasil selisih antara *set-point* dengan respon.
3. Menghasilkan sinyal yang berfungsi untuk mengurangi *error*.

Suatu sistem dapat dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* dimana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output* berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* suatu sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respon transien berupa osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

2.9.1 Kontroler Proporsional

Kontroler 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 kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

Pada Gambar 2.7 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara *input* (besaran referensi yang diinginkan), besaran aktual dengan besaran keluaran kontroler proporsional, dan besaran kesalahan (*error*). Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran setting dengan besaran aktualnya.



Gambar 2.7 Diagram blok kontroler proporsional.

Pada pengendali proporsional hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan $e(t)$ adalah

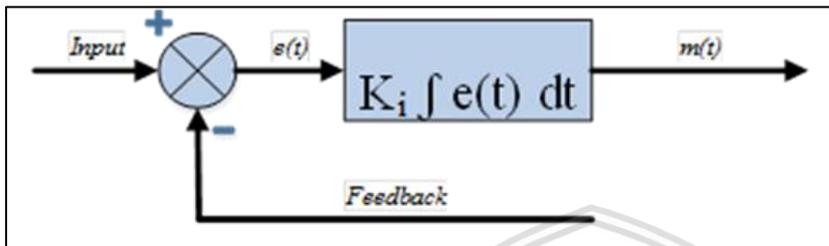
$$m(t) = K_p e(t) \quad (1)$$

dengan K_p adalah penguatan proporsional. Keluaran $m(t)$ hanya tergantung pada K_p dan *error*, semakin besar *error* maka semakin besar koreksi yang dilakukan. Penambahan K_p akan menaikkan penguatan sistem sehingga dapat digunakan untuk memperbesar kecepatan respon dan mengurangi kesalahan keadaan mantap.

2.9.2 Kontroler Integral

Kontroler integral berfungsi mengurangi kesalahan keadaan mantap yang dihasilkan pada kontroler proporsional sebelumnya. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol.

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 2.8 menunjukkan blok diagram kontroler integral.



Gambar 2.8 Diagram blok kontroler integral

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding dengan integral sinyal kesalahan $e(t)$,

Sehingga

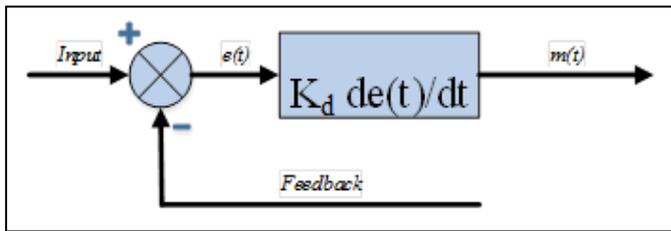
$$\frac{dm(t)}{dt} = Ki \cdot e(t) \quad (2)$$

$$m(t) = Ki \int_0^t e(t) dt \quad (3)$$

dengan K_i adalah konstanta integral. Jika sinyal kesalahan $e(t) = 0$, maka laju perubahan sinyal kendali integral $\frac{dm(t)}{dt} = 0$ atau sinyal keluaran kendali akan tetap berada pada nilai yang dicapai sebelumnya. Aksi control integral digunakan untuk menghilangkan kesalahan posisi dalam keadaan mantap (*error steady state*) tanpa memperhitungkan kecepatan respon.

2.9.3 Kontroler Diferensial

Kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.9 berikut menunjukkan blok diagram pada kontroler diferensial.



Gambar 2.9 Diagram blok kontroler diferensial

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding laju sinyal kesalahan $\frac{de(t)}{dt}$. Hubungan ini dapat ditulis sebagai:

$$m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Kontroler diferensial akan memberikan sinyal kendali keluaran $m(t) = 0$, untuk sinyal kesalahan $e(t)$ yang konstan sehingga kontroler diferensial tidak mempengaruhi keadaan mantap. Kontroler diferensial digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respontransien sebuah sistem serta dapat meredam osilasi.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler diferensial hanyalah efek dari lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler diferensial tidak bisa digunakan tanpa ada kontroler lain.

Dari ketiga aksi kontrol dasar di atas dapat dibuat kombinasi dari ketiganya, yaitu:

2.9.4 Kontroler Proporsional-Integral (PI)

Aksi kontrolnya dinyatakan dalam persamaan:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (5)$$

kontroler ini menghasilkan sinyal kesalahan $\int e(t) dt$ kemudian ditambahkan dengan sinyal kesalahan $e(t)$.

2.9.5 Kontroler Proporsional-Diferensial (PD)

Aksi kontrolnya dinyatakan dalam persamaan:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Kontroler PD selalu mengukur kemiringan (*slope*) sinyal kesalahan $\frac{de(t)}{dt}$ dan memperkirakan akan besar *overshoot* yang akan terjadi serta memberikan koreksi sebelum terjadi lewatannya sehingga diperoleh *maximum overshoot* yang kecil.

Jika kesalahan keadaan mantap tidak berubah terhadap waktu maka turunannya terhadap waktu sama dengan nol, sehingga kontroler PD tidak mempunyai pengaruh terhadap kesalahan keadaan mantap, tetapi jika terdapat perubahan kesalahan, kontroler PD akan mengurangi besar kesalahan keadaan mantap. Jadi kontroler PD digunakan untuk memperbaiki suatu sistem pengendalian yang tanggapan peralihannya mempunyai *maximum overshoot* yang berlebihan tanpa memperhitungkan kecepatan responnya.

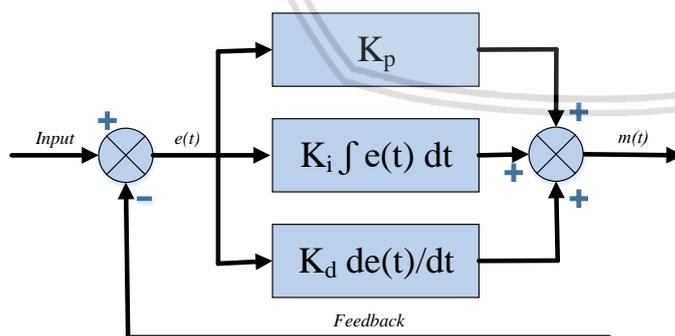
2.9.6 Kontroler Proporsional-Integral-Diferensial (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional integral diferensial (PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar (Gunterus, 1994, 8-10). Kontroler PID memiliki diagram kendali seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.10.

Aksi kontrolnya dinyatakan sebagai:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

Jenis kontroler ini digunakan untuk memperbaiki kecepatan respon, mencegah terjadinya kesalahan keadaan mantap serta mempertahankan kestabilan.



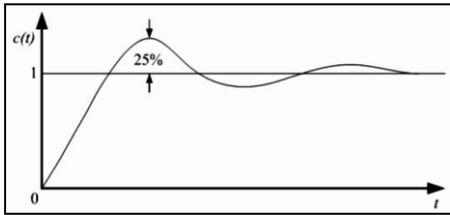
Gambar 2.10 Diagram blok kontroler PID

2.10 Metode *Auto-Tuning* PID Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari *gain* proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik

respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan. (Ogata, K. 1997)

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon *unit step*.

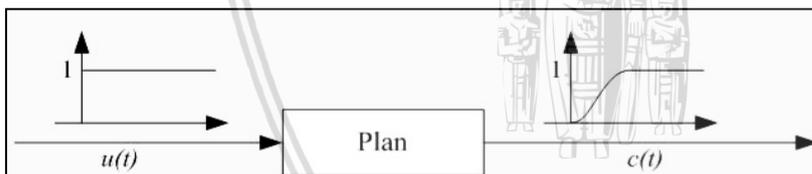


Gambar 2.11 Kurva respon *unit step* yang menunjukkan 25% *maximum overshoot*

Sumber: Ogata, K. 1997

a. Metode Pertama

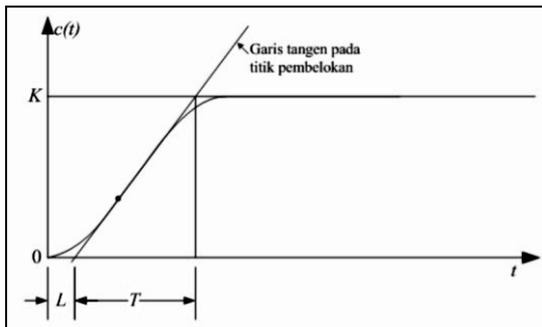
Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step.



Gambar 2.12 Respon *plant* terhadap masukan *unit step*.

Sumber: Ogata, K. 1997

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respon *unit step* berbentuk seperti huruf S. Jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata, K. 1997)



Gambar 2.13 Kurva respon berbentuk S

Sumber: Ogata, K. 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $C(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.12. Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (8)$$

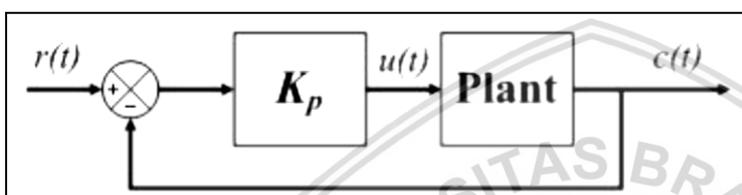
Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.3. (Ogata, K. 1997)

Tabel 2.3 Aturan penalaan Ziegler-Nichols berdasarkan respon *unit step* dari *plant*

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

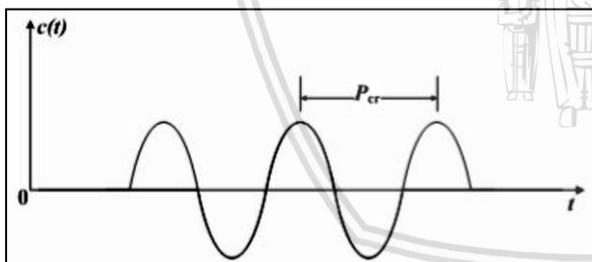
b. Metode Kedua

Dalam metode kedua Ziegler-Nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetulan nilai parameter K_p , T_i , T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.4. (Ogata, K. 1997).



Gambar 2.14 Sistem loop tertutup dengan kontroler proposional

Sumber: Ogata, K. 1997



Gambar 2.15 Osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr}

Sumber: Ogata, K. 1997

Tabel 2.4 Aturan dasar Ziegler-Nichols berdasarkan *critical gain* K_{cr} dan *critical period* P_{cr}

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d

P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1,2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Sumber: Ogata, K. 1997

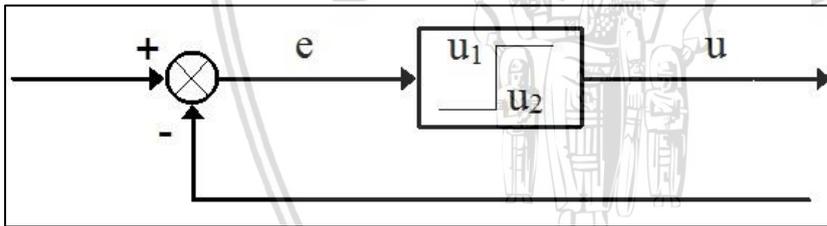
2.11 Kontroler *On-Off*

Sistem dengan menggunakan kontroler *on-off* hanya memiliki dua kondisi/posisi, yaitu *on* dan *off*. Kontroler *on-off* sangat sederhana dan biayanya tidak mahal, sehingga sangat banyak digunakan pada sistem kontrol yang ada di industri maupun di kehidupan sehari-hari. Diagram blok kontroler *on-off* tersebut dapat dilihat dalam Gambar 4.34, dimana

$$m(t) = U_1 \quad \text{untuk } e(t) > \text{ atau posisi "on"}$$

$$m(t) = U_2 \quad \text{untuk } e(t) < \text{ atau posisi "off"}$$

dengan U_1 dan U_2 konstan. Harga minimal U_2 biasanya nol atau U_1 . Kontroler *on-off* merupakan perangkat listrik dan sebuah katub yang dioperasikan dengan selenoida.



Gambar 2.16 Diagram blok *on-off*.

BAB III

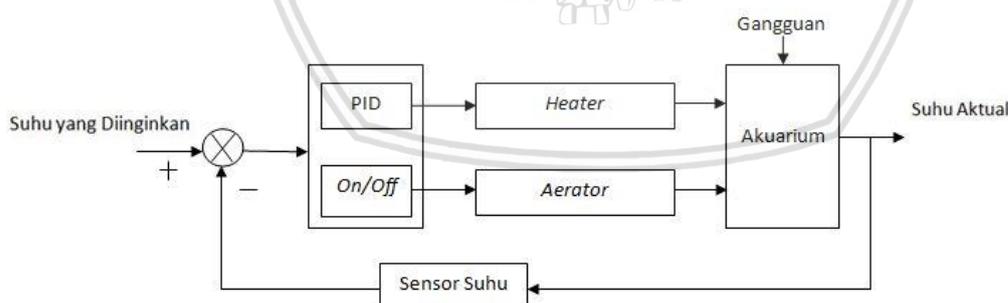
METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Perancangan blok diagram sistem
2. Spesifikasi desain
3. Spesifikasi alat
4. Karakterisasi setiap blok
5. Pembuatan perangkat keras
6. Perancangan algoritma

3.1 Perancangan Diagram Blok Sistem

Sistem pengendalian suhu air pada penelitian ini menggunakan sebuah variabel masukan dan keluaran yaitu suhu. Suhu dapat dideteksi oleh sensor suhu DS18B20. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID. Perancangan blok diagram sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem. Blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram blok sistem

Keterangan dari diagram blok sistem dalam Gambar 3.1 adalah sebagai berikut:

- Pusat pengendali sistem adalah papan mikrokontroler Arduino Uno R3 yang memberikan sinyal PWM untuk rangkaian *dimmer* AC.

- Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID untuk aktuator *heater* dan *on-off* untuk aktuator *aerator*.
- Akuarium digunakan sebagai *plant*.
- Sensor suhu berupa sensor DS18B20, digunakan sebagai umpan balik (*feedback*).
- Gangguan berupa batu es.

3.2 Spesifikasi Desain

Desain yang diinginkan pada perancangan sistem mempunyai spesifikasi yaitu:

1. *Error Steady State*

Error Steady State < 2%, karena sistem yang baik memiliki *output* dengan nilai akhir 2% dari *set-point*.

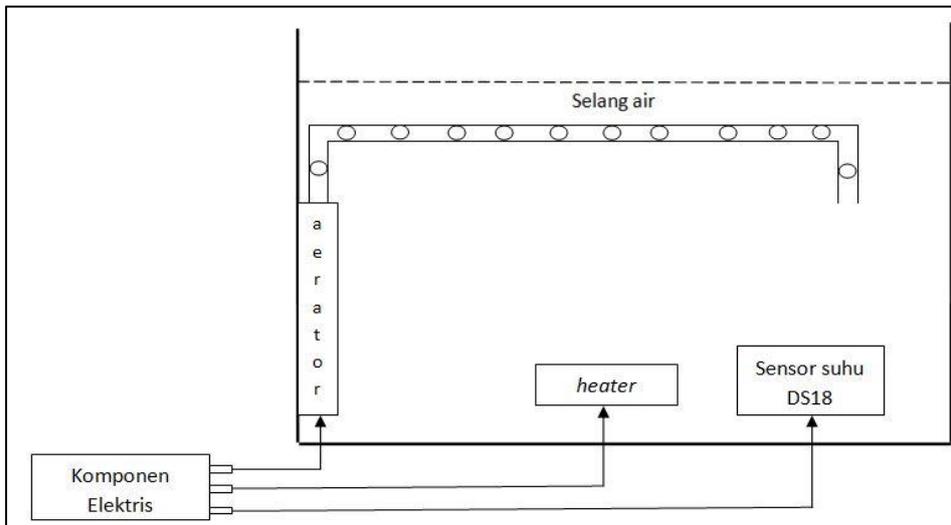
2. *Overshoot* < 5%

3.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi untuk setiap komponen pada sistem pengendalian suhu menggunakan Arduino UNO adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan akuarium dengan ukuran 60cm x 35cm x 30cm sebagai miniatur tambak.
2. Menggunakan Arduino UNO sebagai pengontrol.
3. Sensor suhu yang digunakan adalah DS18B20
4. Aktuator yang digunakan adalah pemanas (*heater*) dan sirkulasi udara pada selang air (*aerator*).

Skema perancangan sistem pengendalian suhu pada miniatur tambak ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Alat

3.4 Karakterisasi Setiap Blok

3.4.1 Karakterisasi Aktuator

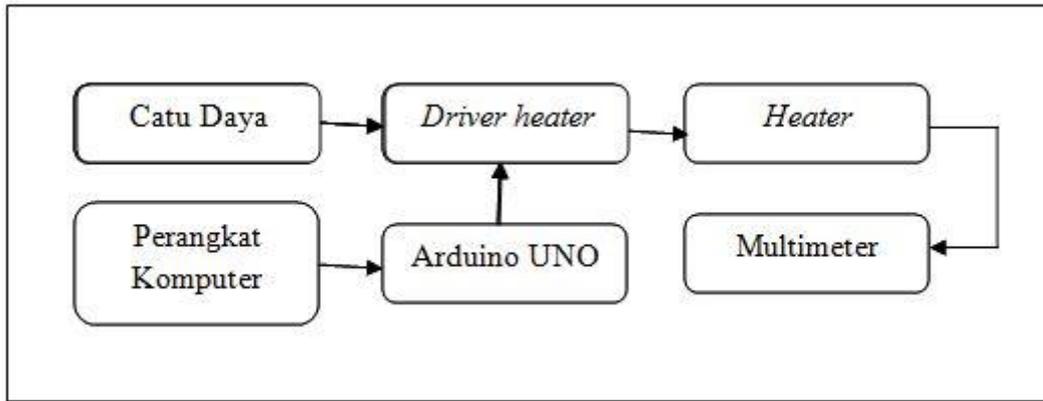
Karakterisasi aktuator berupa pemanas (*heater*) dilakukan agar mengetahui kinerja dari *heater* pada saat dikontrol oleh PWM. Hal ini dilakukan dengan menganalisis tegangan pada lampu saat PWM diberi keluaran tertentu.

Peralatan yang digunakan saat melakukan karakterisasi *heater* adalah sebagai berikut:

1. *Heater*
2. *Driver heater*
3. Arduino UNO
4. Multimeter
5. Perangkat Komputer
6. Kabel Penghubung

Langkah-langkah saat melakukan karakterisasi *heater* adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian pengujian karakterisasi *heater*

2. Menghubungkan *driver heater* dengan sumber AC.
3. Membuat program pengontrolan driver pada software Arduino UNO.
4. Percobaan dilakukan dengan menganalisis *heater* pada saat PWM 0 hingga 255 dengan beda 15 satuan setiap percobaan.
5. Mengamati dan mencatat tegangan pada tampilan multimeter.

Hasil karakterisasi *heater* dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai tegangan keluaran *driver heater* terhadap masukan sinyal PWM

Nilai PWM	Tegangan keluaran <i>heater</i> dengan multimeter (Volt)
0	0
15	182
30	183
45	184
60	184
75	185
90	185
105	186
120	186
135	186
150	187
165	187

Nilai PWM	Tegangan keluaran <i>heater</i> dengan multimeter (Volt)
180	188
195	188
210	188
225	189
240	189
255	189

3.4.2 Karakteristik Sensor Suhu DS18B20

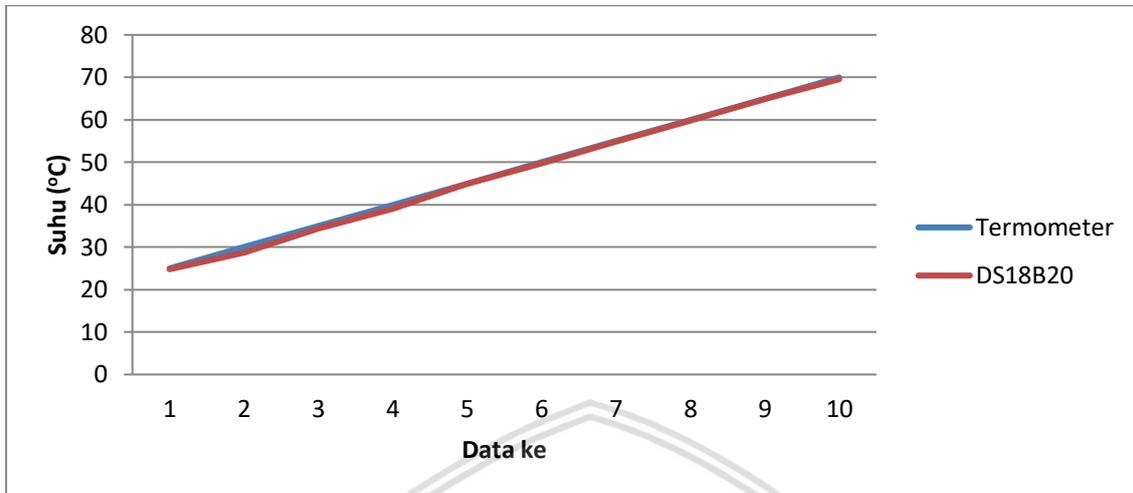
Hasil pengujian sensor DS18B20 ditunjukkan dalam Tabel 3.2. Didapatkan grafik linear antara suhu dengan termometer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.

Tabel 3.2 Perbandingan pembacaan sensor suhu dengan termometer

Suhu Termometer ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Pembacaan Sensor DS18B20 ($^{\circ}\text{C}$)	<i>Error</i>
25	24,8	0,2
30	28,75	1,25
35	34,38	0,62
40	39,13	0,87
45	44,94	0,06
50	49,69	0,31
55	54,89	0,11
60	59,88	0,12
65	64,97	0,03
70	69,56	0,44
Nilai rata-rata dari <i>error</i>		0,401

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 3.2, nilai rata-rata *error* antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan *serial monitor* adalah $0,401^{\circ}\text{C}$. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan *serial monitor* dapat dilihat

dalam Gambar 3.4. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk linear.



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Termometer dengan Sensor DS18B20

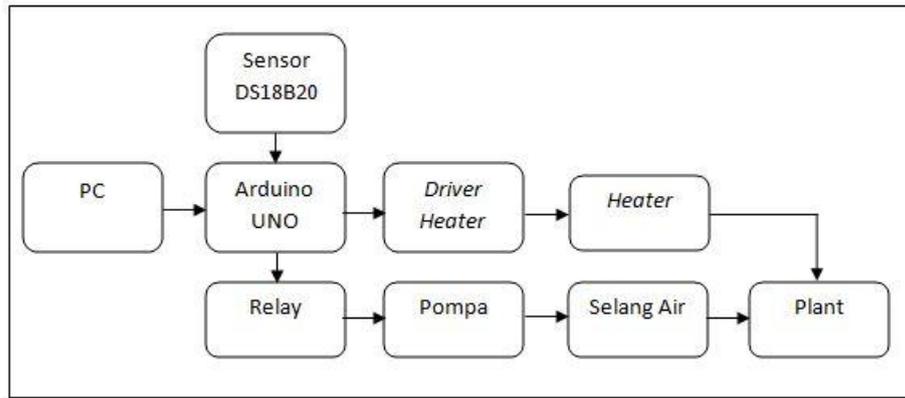
3.4.3 Karakterisasi Plant

Karakterisasi plant yang berupa udang di dalam air dilakukan untuk mengetahui *gain steady state* dari plant. Hal ini diperoleh dengan membandingkan antara suhu keluaran plant dengan tegangan masukkan pada aktuator. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Driver heater*
2. *Heater*
3. Selang air
4. Pompa
5. Plant
6. Relay
7. Arduino UNO
8. Sensor DS18B20
9. Perangkat komputer.

Langkah-langkah saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti pada Gambar 3.5.

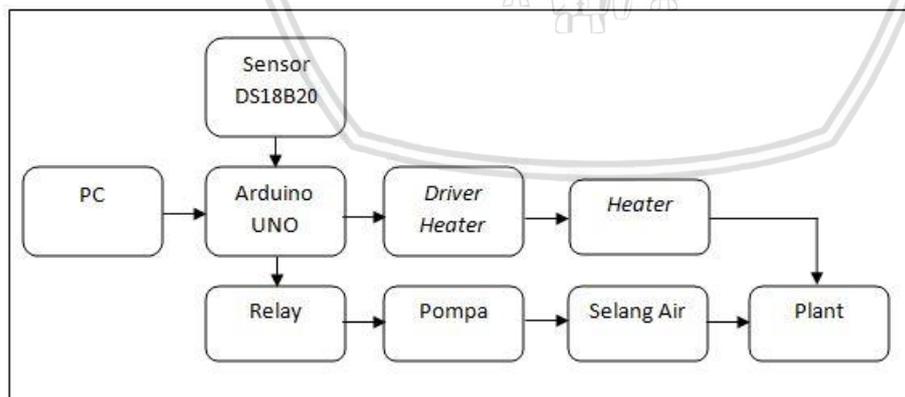


Gambar 3.5 Rangkaian pengujian karakterisasi *plant*.

2. Menghubungkan rangkaian pengujian dengan sumber AC.
3. Respon plant ditampilkan pada *serial monitor* dan plot ke dalam grafik dengan Matlab.

3.5 Perancangan Pembuatan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta pemrogramannya. Hal ini agar pemodelan pada sistem pengendalian suhu air pada miniatur tambak udang yang menggunakan kontrol PID dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan. Skema perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema Perangkat Keras.

Penentuan modul elektronik yang digunakan meliputi:

1. Mikrokontroler Arduino UNO sebagai perangkat komputer.
2. Sensor DS18B20 sebagai *feedback* suhu.
3. Relay sebagai penggerak pompa *aerator* untuk sirkulasi air.
4. *Heater* sebagai aktuator pemanas.

3.6 Perancangan Algoritma

Dalam perancangan algoritma, hal pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui karakteristik sistem dari miniatur tambak udang. Setelah itu dilakukan perhitungan dan percobaan untuk menentukan algoritma kontrol PID. Setelah didapatkan algoritma, kemudian dibuat program untuk mikrokontroler menggunakan *software* Arduino. Perancangan algoritma melalui beberapa tahap berikut

1. Perancangan Kontrol PID

Untuk mengetahui parameter kontroler yang tepat pada sistem pengendalian suhu air pada miniatur tambak udang diperlukan suatu perancangan kontroler. Perancangan kontroler menggunakan metode Zieger-Nichols 1. Langkah awal *tuning* parameter dengan metode Zieger-Nichols 1 adalah menarik garis tangen pada titik infleksi grafik karakteristik plant. Kemudian mencari perpotongan garis tangen dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan besarnya K_p , K_i , dan K_d yang tepat sesuai dengan Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Aturan *Tuning* Metode Zieger Nichols 1

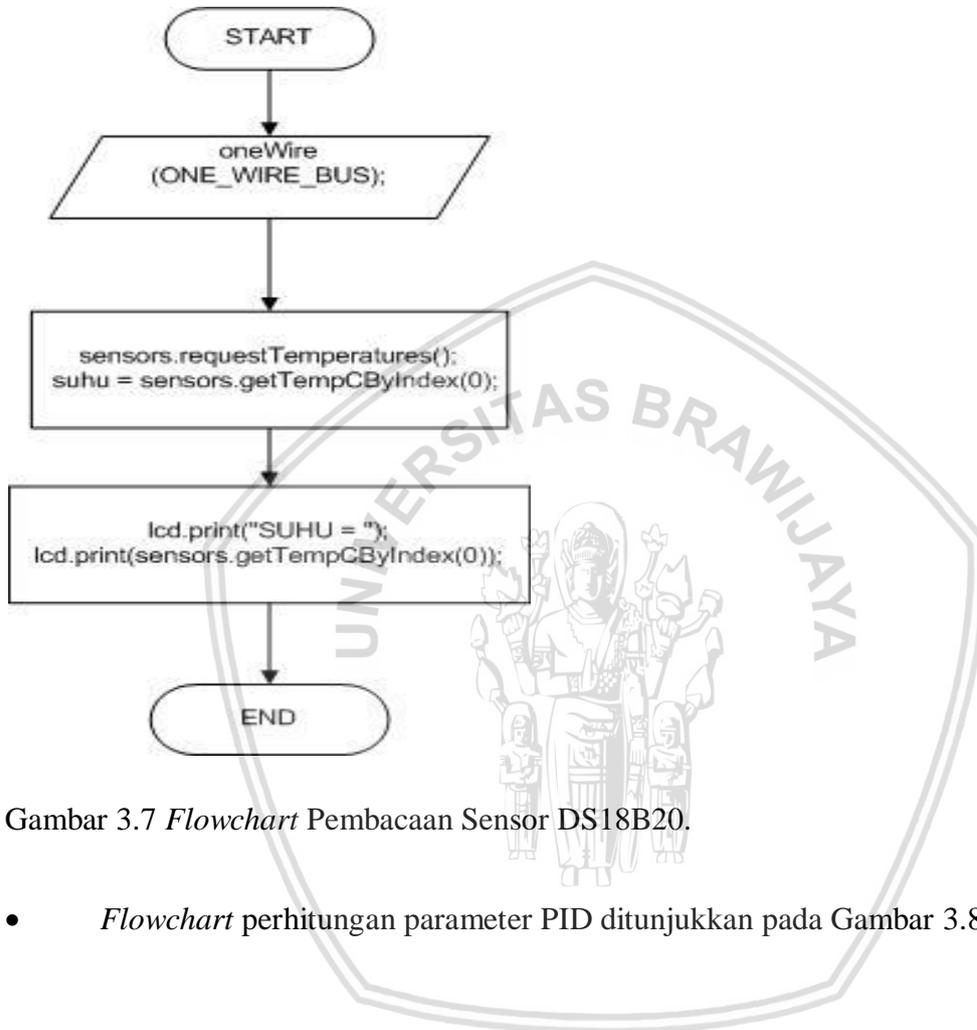
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

Sumber: Ogata, K. 1997

2. Pembuatan *Flowchart*

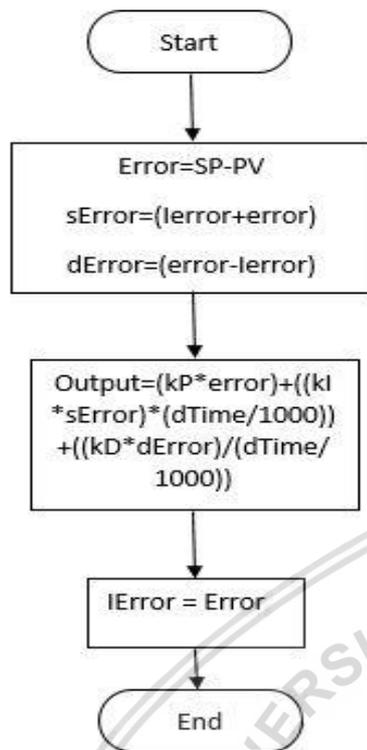
Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang dirancang sesuai pada Gambar 3.1, perangkat lunak meliputi penulisan program pada Arduino dengan diagram alir sebagai berikut:

- *Flowchart* pembacaan sensor DS18B20 ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Flowchart* Pembacaan Sensor DS18B20.

- *Flowchart* perhitungan parameter PID ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Flowchart* Perhitungan Parameter PID.

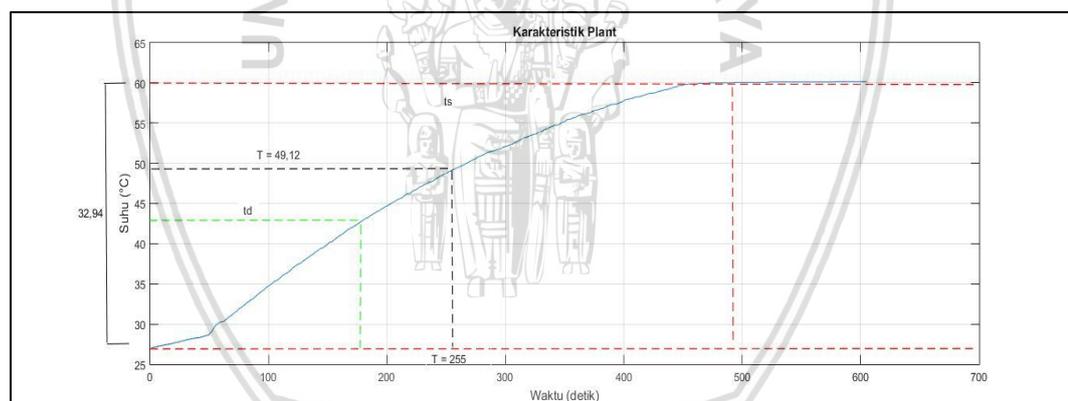
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan diperoleh melalui pengujian sistem. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan skema pembuatan. Pengujian pada sistem meliputi pengujian plant, pengujian sistem secara menyeluruh yang dilakukan sebanyak 3 kali pada saat siang hari dan malam hari serta pengujian sistem dengan diberikan gangguan dan perbandingan hasil perlakuan udang vaname. Pengujian dilakukan dengan menggunakan fungsi keanggotaan nilai K_p , K_i , dan K_d yang telah ditentukan.

4.1 Pengujian Plant

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dilakukan dengan cara mengubah sistem menjadi *open loop*. Tegangan diberikan sebesar 189 volt pada saat PWM 255 dengan tegangan dc dari arduino sebesar 5 volt dan menghasilkan respon seperti dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Karakteristik Respon Suhu pada Plant

Berdasarkan Gambar 4.1 didapatkan nilai parameter:

$$t_d = 0,5 \times (\text{suhu tertinggi} - \text{suhu awal}) + \text{suhu awal}$$

$$t_d = 0,5 \times (60 - 27,06) + 27,06$$

$$t_d = 43,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_d = 186 \text{ detik}$$

$$T = \frac{2}{3} \times (\text{suhu tertinggi} - \text{suhu awal}) + \text{suhu awal}$$

$$T = \frac{2}{3} \times (60 - 27,06) + 27,06$$

$$T = 49,12^\circ\text{C}$$

$$T = 255 \text{ detik}$$

dan

$$K = \frac{tss}{vss} = \frac{60^\circ\text{C}}{5 \text{ Volt dc}} = 12^\circ\text{C/V}$$

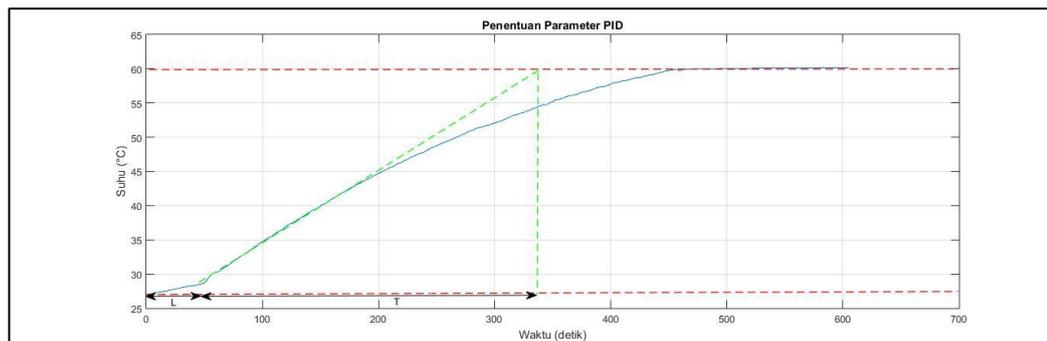
Sehingga didapatkan fungsi alih sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{Ts + 1} = \frac{K}{255s + 1} = \frac{12}{255s + 1}$$

Diperlukan suatu perancangan kontroler untuk mengetahui parameter kontroler yang tepat untuk sistem pengendalian suhu air pada miniatur tambak udang. Perancangan kontroler menggunakan metode Ziegler-Nichols1 karena grafik respon suhu yang diperoleh pada karakteristik plant adalah berbentuk kurva s. Langkah awal *tuning* parameter dengan metode Ziegler-Nichols 1 adalah menarik garis tangen pada titik infleksi grafik karakteristik plant. Kemudian mencari perpotongan garis tangen dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan besarnya K_p , T_i , T_d yang tepat, sesuai dengan Tabel 4.1 aturan tuning metode Ziegler-Nichols 1. Tabel 4.1 Aturan Tuning Metode Ziegler-Nichols 1 (Ogata, K.1997).

Tabel 4.1 Aturan *Tuning* Metode Zieger-Nichols.

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$



Gambar 4.2 Grafik Penentuan Parameter PID

Berdasarkan pada Gambar 4.2 didapatkan nilai T dan L sebagai berikut:

$$T = 279 \text{ detik}$$

$$L = 57 \text{ detik}$$

Diperoleh nilai Kp, Ki, Kd sebagai berikut:

$$K_p = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times \frac{279}{57} = 5,87$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{K_p}{2 \times L} = \frac{5,87}{2 \times 57} = 0,051$$

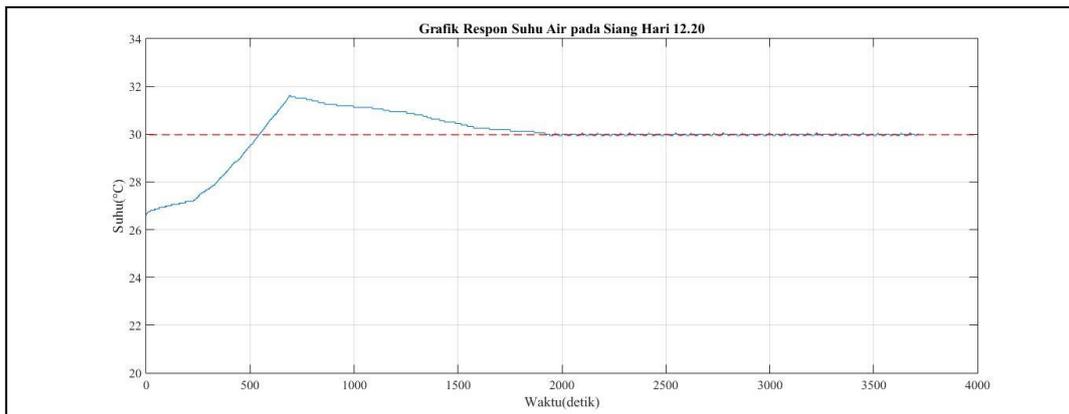
$$K_d = K_p \times T_d = 5,87 \times (0,5 \times 57) = 5,87 \times 28,5 = 167,295$$

Berdasarkan Gambar 4.2 maka diperoleh nilai L = 57 detik dan T = 279 detik. Mengacu pada tabel Ziegler-Nichols 1, didapatkan nilai Kp = 5,87; Ki = 0,051; dan Kd = 167,295.

4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respon suhu pada sistem dengan penambahan kontroler pada saat siang hari dan malam hari.

1. Hasil pengujian siang hari pukul 12.20.



Gambar 4.3 Respon Suhu Sistem pada Siang Hari Tanpa Gangguan

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 4.3 respon sistem keseluruhan pada saat siang hari, diperoleh kinerja sistem antara lain:

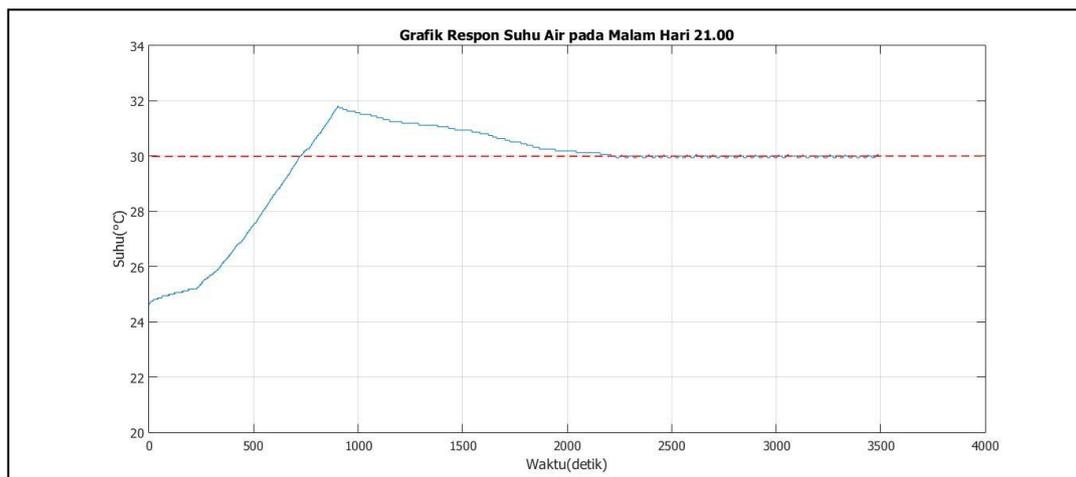
- t_d (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. Berdasarkan pengujian t_d adalah 28,5 detik.
- t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. Berdasarkan pengujian t_s adalah 1919 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 30°C.
- *Error Steady State*

$$\%E = \left| \frac{\text{Setpoint} - \text{presentvalue}}{\text{setpoint}} \right| \times 100\%$$

$$\%E = \left| \frac{30 - 30,31}{30} \right| \times 100\%$$

$$\%E = 1,03 \%$$

2. Hasil pengujian saat malam hari pukul 21.00.



Gambar 4.4 Respon Suhu Sistem pada Malam Hari Tanpa Gangguan

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 4.4 respon sistem keseluruhan pada saat malam hari, diperoleh kinerja sistem antara lain:

- t_d (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. Berdasarkan pengujian t_d adalah 28,5 detik.
- t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. Berdasarkan pengujian t_s adalah 2211 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 30°C.
- *Error Steady State*

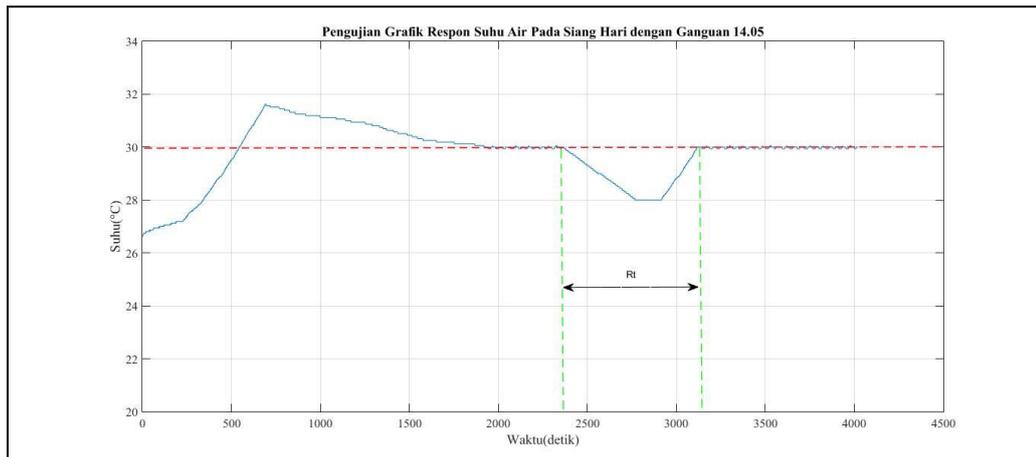
$$\%E = \left| \frac{\text{Setpoint} - \text{presentvalue}}{\text{setpoint}} \right| \times 100\%$$

$$\%E = \left| \frac{30 - 30,25}{30} \right| \times 100\%$$

$$\%E = 0,83\%$$

4.3 Pengujian Sistem dengan Gangguan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respon kontroler terhadap *set-point* ketika mendapatkan gangguan berupa perubahan suhu yang turun. Setelah melakukan pengujian pada saat siang hari dengan gangguan didapatkan hasil respon yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Respon Suhu Sistem pada siang hari dengan diberi gangguan

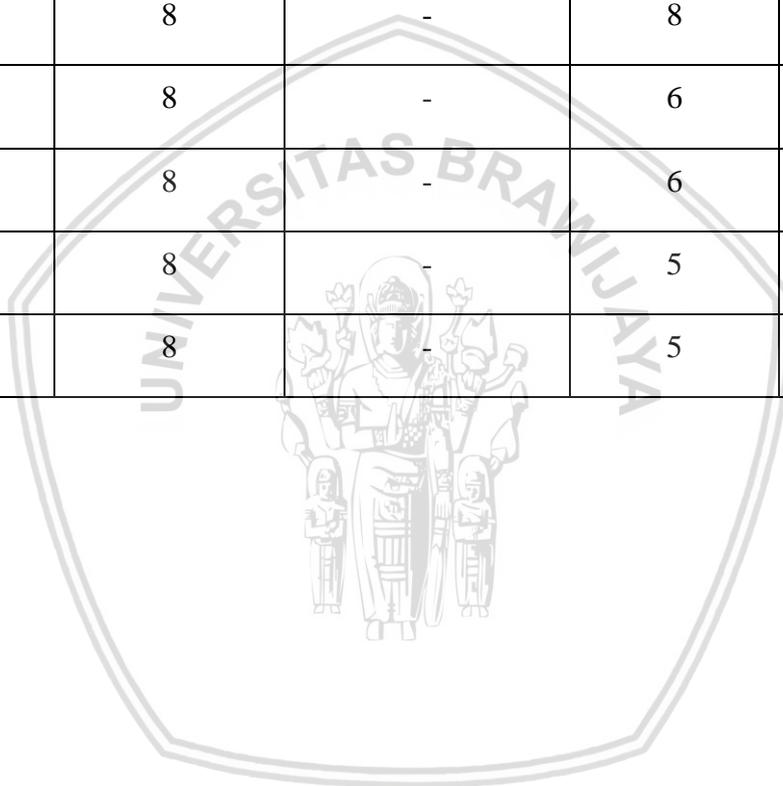
Dari Gambar 4.5, dapat dilihat respon sistem terhadap gangguan berupa perubahan suhu yang dingin. Sistem dapat kembali pada keadaan *steady state* setelah terjadinya gangguan dan mengalami proses *recovery time* selama 728 detik.

4.4 Perbandingan Hasil

Tabel 4.2 Perbandingan Perlakuan Udang

Hari ke	Perlakuan Udang			
	Menggunakan Kontroler		Tanpa menggunakan Kontroler	
	Jumlah udang	Jumlah udang mati	Jumlah udang	Jumlah udang mati
1	10	-	10	-
2	10	-	10	-
3	10	-	10	-
4	10	-	10	-
5	10	-	9	1
6	9	1	8	1
7	9	-	8	-

Hari ke	Perlakuan Udang			
	Menggunakan Kontroler		Tanpa menggunakan Kontroler	
	Jumlah udang	Jumlah udang mati	Jumlah udang	Jumlah udang mati
8	9	-	8	-
9	9	-	8	-
10	8	1	8	-
11	8	-	8	-
12	8	-	6	2
13	8	-	6	-
14	8	-	5	1
15	8	-	5	-





BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pengujian, dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode Zieger-Nichols 1, maka parameter kontroler PID dapat ditentukan pada *plant* yang mempunyai nilai $K_P = 5,87$; $K_i = 0,051$; $K_d = 167,295$.
2. Hasil pengujian tanpa gangguan terhadap kontroler PID berbasis Arduino UNO menunjukkan bahwa sistem dapat mencapai *set-point* 30°C dengan *setling time* (t_s) = 1919 detik, waktu tunda (t_d) = 28,5 detik, dan toleransi *error steady state* tidak lebih dari 2%.
3. Hasil pengujian dengan menggunakan gangguan terhadap kontroler PID berbasis Arduino UNO menunjukkan bahwa respon sistem dapat kembali pada keadaan *steady state* dan mengalami proses *recovery time* selama 728 detik.
4. Pada hari pertama pengujian, kondisi air masih dalam keadaan baik dan udang dalam kondisi sehat dengan jumlah udang sebanyak 10 ekor. Pengujian perbandingan perlakuan udang dilakukan selama 15 hari. Saat hari terakhir pengujian (hari kelima belas), udang yang berada dalam kondisi suhu air yang dikontrol tersisa 8 ekor, sedangkan udang yang berada dalam kondisi suhu air yang tidak dikontrol tersisa 5 ekor.

5.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan dan kekurangan. Oleh karena itu, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk meningkatkan kesempurnaan alat lebih lanjut sebagai berikut:

1. Diperlukan pemikiran lebih lanjut untuk menentukan parameter PID yang sesuai, mengingat keterbatasan fisik yang ada pada sistem untuk memperbaiki kinerja alat.

2. Penggunaan sensor suhu yang lebih baik dapat meningkatkan tingkat keakuratan sensor dalam pembacaan suhu.



DAFTAR PUSTAKA

- Dinas Kelautan dan Perikanan Daerah Provinsi Sulawesi Tengah. 2009. *Udang Vaname: Teknologi Ekstensif Plus*. Dinas Kelautan dan Perikanan Daerah Provinsi Sulawesi Tengah.
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Pengendalian Proses*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Nababan, Edward. 2015. *Pemeliharaan Udang Vaname (Litopus vannamei) dengan Persentase Pemberian Pakan yang Berbeda*. Riau: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau.
- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering (5th Edition)*. Prentice Hall inc.
- Pirzan, A. 2013. *Pengaruh Variabel Kualitas Air Terhadap Produktivitas Udang Vaname (Litopus vannamei) di Kawasan Pertambakan Kabupaten Gresik, Jawa Timur*. Maros: Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau.
- Qolik, Abdul. 2014. *Budidaya Udang*. Yogyakarta: Pustaka Berdikari.
- Rubiyanto, W. 2005. *Udang Vannamei*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Setiawan, I. 2008. *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Tim Perikanan WWF-Indonesia. 2014. *Budidaya Udang Vannamei: Tambak Semi Intensif dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Edisi 1)*. Jakarta: WWF-Indonesia.
- Yudaningtyas, E. 2017. *Belajar Sistem Kontrol*. Malang: UB Press.

