

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL pH AIR PADA KOLAM
PEMBENIHAN IKAN LELE (*Clarias gariepinus*) DI BALAI
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN (BPTKP)
CANGKRINGAN, SLEMAN, YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana S-1 Sains



Oleh

**Dina Nur'aina Arief
NIM. 12306141021**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016**

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL pH AIR PADA KOLAM
PEMBENIHAN IKAN LELE (*Clarias gariepinus*) DI BALAI
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN (BPTKP)
CANGKRINGAN, SLEMAN, YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana S-1 Sains



Oleh

**Dina Nur'aina Arief
NIM. 12306141021**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016**

**PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR SKRIPSI**

JUDUL

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL pH AIR PADA KOLAM
PEMBENIHAN IKAN LELE (*Clarias gariepinus*) DI BALAI
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN (BPTKP)
CANGKRINGAN, SLEMAN, YOGYAKARTA**

Disusun Oleh:

Nama : Dina Nur'aina Arief
NIM : 12306141021
Prodi : Fisika

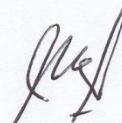
Skripsi ini telah memenuhi persyaratan dan siap diujikan

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing pada

Hari : Jumat
Tanggal : 21 Oktober 2016

Untuk dipertahankan di depan tim penguji skripsi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Yogyakarta, 21 - 10 - 2016
Menyetujui,
Dosen Pembimbing Skripsi



**Sumarna, M.Si., M.Eng
NIP. 19610308 199101 1 001**

SURAT PERNYATAAN

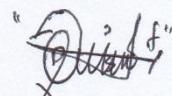
Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dina Nur'aina Arief
NIM : 12306141021
Jurusan : Pendidikan Fisika
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Kontrol pH Air pada Kolam Pemberian Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) di Balai Pengembangan Teknologi Kelautan dan Perikanan (BPTKP) Cangkringan, Sleman, Yogyakarta.

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain sebagai persyaratan menyelesaikan studi di perguruan tinggi lain kecuali pada bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 21 Oktober 2016

Yang menyatakan,



Dina Nur'aina Arief

NIM. 12306141021

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul **"RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL pH AIR PADA KOLAM PEMBENIHAN IKAN LELE (*Clarias gariepinus*) DI BALAI PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN (BPTKP) CANGKRINGAN, SLEMAN, YOGYAKARTA"** yang disusun oleh Dina Nur'aina Arief, NIM 12306141021 ini telah dipertahankan di depan Dewan Pengaji pada tanggal 4 November 2016 dan telah dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

Nama

Jabatan

Tanda Tangan

Tanggal

Sumarna, M.Si, M.Eng

NIP.19610308 199101 1 001

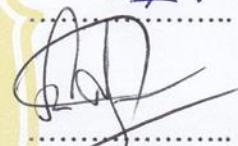
Ketua Pengaji


17-11-2016

Suparno, Ph.D

NIP.19600814 198803 1 003

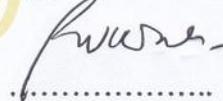
Sekretaris Pengaji


16/11 - 2016

Bambang Ruwanto, M.Si

NIP.19651225 199101 1 001

Pengaji Utama


8/11 - 2016

Yogyakarta, 21-11-2016

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dekan,


Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirohim

Karya ini dipersembahkan kepada:

Bapak dan ibuku tercinta yang selalu memberi semangat dan motivasi untuk segera menyelesaikan skripsi ini (Abdul Kholik dan Miftahur Roifah).

Kakak dan saudara serahimku yang tersayang (Moh. Iqbal Arif dan Dina Nur'aini Arief).

Pegawai dan staff di BPTKP bagian KSI BAT yang telah banyak berkontribusi selama penelitian ini.

Teman-teman yang telah membantu dan memotivasi untuk selalu semangat mengerjakan skripsi ini (Adilia, Niken, Endah, Didi, Nila, Sri, Ayu).

Teman diskusi sekaligus penyemangat dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini (Danang Priyo Sularso).

Rekan seperjuangan penelitianku di BPTKP (Mela Yusvarina dan Sutris).

Teman-teman Fisika B 2012.

Squad Elins UNY 2012.

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL pH AIR PADA KOLAM
PEMBENIHAN IKAN LELE (*Clarias gariepinus*) DI BALAI
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN (BPTKP)
CANGKRINGAN, SLEMAN, YOGYAKARTA**

Oleh
Dina Nur'aina Arief
12306141021

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem kontrol pH air kolam pada pembenihan ikan lele, mengkarakterisasi sensor pH fiber optik berbentuk "U", dan mengendalikan pH air kolam untuk mengetahui pertumbuhan benih ikan lele.

Sensor pH yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH-4001-1,3. Pada salah satu ujung POF dipasang laser diode dan ujung lainnya dipasang fotodiode. Intensitas cahaya yang diterima fotodiode dikonversi menjadi tegangan sebagai *output* sensor. Kemudian *output* sensor dibandingkan dengan *set point* oleh mikrokontroler Arduino untuk mengendalikan *relay* pada pompa asam dan basa.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kontrol pH dapat bekerja sesuai dengan *set point* yang dikehendaki yakni pada tegangan (4,01 – 4,08) volt atau jika dikonversi pH 6 sampai 9. Pertumbuhan benih ikan lele dari hasil pengukuran panjang tubuh ikan sebelum ditebar di kolam semen menunjukkan hasil bahwa ketika kolam diberi perlakuan sistem kontrol pH rata-rata memiliki panjang tubuh ikan lele 2,3 cm sedangkan pada kolam yang tidak diberi sistem kontrol pH rata-rata memiliki panjang tubuh 1,9 cm.

Kata Kunci : Kualitas air, Budidaya Lele, sistem kontrol pH, pH air kolam, Arduino

**WATER pH CONTROL SYSTEM DESIGN IN CATFISH
RESERVOIR GERMINATION (*Clarias gariepinus*) IN BALAI
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KELAUTAN DAN PERIKANAN
(BPTKP) CANGKRINGAN, SLEMAN, YOGYAKARTA**

By :
Dina Nur'aina Arief
12306141021

ABSTRACT

This research aimed to design and build pH water control system in catfish reservoir germination, characterized fiber optic pH sensor in "U" shaped, and to control water reservoir pH to know the catfish germs growth.

pH sensor that used was Polymer Optical Fiber (POF) type SH-4001-1,3. In one of the POF tip was set diode laser and in another tip was set photodiode. The light intensity that received by photodiode was converted to voltage as sensor's output. Then sensor's output was compared with the set point by microcontroller Arduino to control relay on acid and alkali pump.

The result of this research showed that pH control system worked appropriate to the set point that was set in (4.01-4.08) volt or if being converted to pH was 6 until 9. The catfish germs growth from the length of body before spread in the cement reservoir showed that after given a pH control system treatment had average body length about 2,3 cm, while in the reservoir without treatment had average body length about 1,9 cm.

Keywords : water quality, catfish cultivation, ph control system, water reservoir pH, Arduino.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Semesta Alam yang senantiasa melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi (TAS) yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol pH Air pada Kolam Pembenihan Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) di Balai Pengembangan Teknologi Kelautan dan Perikanan (BPTKP) Cangkringan, Sleman, Yogyakarta”.

Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penyusunan skripsi ini tidak dapat berjalan dengan lancar tanpa bantuan dan dorongan semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA UNY yang telah memberikan izin atas penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin penelitian ini.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Fisika yang telah memberikan izin atas penelitian ini.
4. Bapak Sumarna, M.Si., M.Eng., selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir Skripsi (TAS) yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasehat, dan kesabaran semasa proses pengeraaan tugas akhir skripsi ini.

5. Bapak Sugiyanto selaku laboran Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi FMIPA UNY yang telah bekerja sama selama penulis melakukan penelitian ini.
6. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
7. Teman-teman Fisika B Angkatan 2012 yang telah memberikan dorongan semangat dan berbagi pengalaman kepada penulis.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan dunia pendidikan, terutama fisika, serta bagi teman-teman mahasiswa pada khususnya.

Amin.

Yogyakarta,
Penulis,

2016

Dina Nur'aina Arief
NIM. 12306141021

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian.....	7
F. Manfaat Penelitian.....	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Lele Dumbo.....	8
B. pH air kolam.....	9
C. Sistem Kontrol.....	13
D. Perancangan Sistem Kontrol	16
1. Fungsi Alih	17
2. Diagram Blok	18
3. Penggambaran diagram blok	21
E. Rangkaian Sensor pH	24

1. Fiber Optik.....	24
2. Resin (Epoksi)	33
3. Laser diode	33
4. Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor	34
5. Mikrokontroler Arduino	39
6. Transistor	43
7. <i>Relay</i>	46

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	48
B. Variabel penelitian	48
C. Alat-alat Penelitian.....	49
D. Bahan Penelitian.....	50
E. Teknik Pengambilan Data	50
1. Perancangan dan pembuatan Sensor pH.....	50
2. Perancangan sistem kontrol pH air kolam pemberian ikan lele....	51
3. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal	53
4. Perancangan rangkaian sensor pH sebagai tegangan <i>input</i>	54
5. Perancangan rangkaian saklar transistor.....	55
6. Perancangan <i>driver relay</i>	55
7. Prinsip kerja rangkaian sistem kontrol pH	56
8. Perancangan program Arduino	57
9. Pengujian Alat	58
F. Teknik Analisis Data	61

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Catu Daya dan <i>Relay</i>	63
B. Analisis Rancang Bangun Alat	64
1. Proses perambatan cahaya di dalam fiber optik berbentuk “U”	65
2. Karakteristik sensitivitas dan analisis blok sensor pH	74
3. Blok mikrokontroler Arduino	79
4. Blok rangkaian saklar transistor	80

5. Blok <i>Relay</i>	81
6. Blok proses pengontrolan pH	83
7. Diagram blok rangkaian pengontrolan pH	84
C. Pengujian Alat	86
1. Pengujian kelengkungan fiber optik sebagai sensor.....	86
2. Pengujian rangkaian sensor pH	87
3. Pengukuran fluktuasi pH pada kolam tanpa adanya kontrol	88
4. Pengukuran fluktuasi pH pada kolam dengan kontrol pH.....	90
D. Pembahasan	92
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	96
B. Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	100

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram blok suatu sistem <i>loop</i> tertutup	14
Gambar 2. (a). Diagram blok kontroler <i>ON-OFF</i> (b). Diagram blok kontroler <i>ON-OFF</i> dengan jurang diferensial	16
Gambar 3. Elemen diagram blok	18
Gambar 4. Diagram blok titik penjumlahan.....	19
Gambar 5. Sistem <i>loop</i> tertutup dari diagram blok	19
Gambar 6. Sistem <i>loop</i> tertutup	20
Gambar 7. Susunan fiber optik	24
Gambar 8. Pematulan internal sempurna	26
Gambar 9. <i>Numerical Aperture</i>	26
Gambar 10. Cahaya terpencar ke segala arah	28
Gambar 11. Pemantulan Fresnel	30
Gambar 12. Rugi-rugi <i>macrobending</i>	30
Gambar 13. Rugi-rugi <i>microbending loss</i>	31
Gambar 14. Photodioda.....	35
Gambar 15. Konfigurasi pin IC TL 072.....	36
Gambar 16. Rangkaian <i>Transimpedance Amplifier</i>	37
Gambar 17. Arus-arus yang mengalir ke dalam rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode	38
Gambar 18. Rangkaian penguat operasional.....	39
Gambar 19. Arduino UNO.....	40
Gambar 20. (a) Saklar transistor (b) Garis beban DC transistor	44
Gambar 21. Rangkaian transistor sebagai saklar	45
Gambar 22. Rangkaian dasar <i>relay</i>	46
Gambar 23. Blok diagram pembuatan sensor pH	51
Gambar 24. Rancangan alat pengendali pH air kolam.....	52
Gambar 25. Rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode	53
Gambar 26. Perancangan rangkaian sensor pH dan rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode.....	55
Gambar 28. Diagram blok sistem pengendali pH keseluruhan.....	56

Gambar 29. <i>Flowchart</i> program Arduino	58
Gambar 30. Diagram blok pengujian karakteristik sensor pH.....	59
Gambar 31. Pengujian karakteristik sensor pH.....	59
Gambar 32. Skema rangkaian keseluruhan sistem kontrol pH air kolam pembenihan ikan lele	60
Gambar 33. Rangkaian catu daya.....	63
Gambar 35. Pemilihan sudut berada pada kisaran sudut penerimaan	66
Gambar 36. Cahaya memasuki <i>core</i>	67
Gambar 37. Garis normal berubah	67
Gambar 38. Perambatan jalannya berbagai sinar datang sebagai cara menentukan sudut kritis dari fiber optik	69
Gambar 39. Pemantulan cahaya di dalam <i>core</i>	70
Gambar 40. Perambatan sinar dalam sensor pH fiber optik.....	71
Gambar 41. Perambatan cahaya pada bentuk lengkung sensor pH	73
Gambar 42. Grafik dan hasil analisis fit eksponensial tegangan terhadap pH dengan lebar <i>sensing</i> 3 cm	74
Gambar 43. Grafik dan hasil analisis fit eksponensial tegangan terhadap pH dengan lebar <i>sensing</i> 4 cm	75
Gambar 44. Grafik dan hasil analisis linearitas tegangan terhadap pH dengan lebar <i>sensing</i> 5 cm	76
Gambar 45. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu (a) Pengujian Kenaikan pH (b) Pengujian Penurunan pH.....	77
Gambar 46. Diagram blok sensor pH.....	79
Gambar 47. Diagram blok mikrokontroler Arduino	80
Gambar 48. Diagram blok rangkaian saklar transistor.....	81
Gambar 49. Diagram blok rangkaian <i>relay</i>	83
Gambar 50. Grafik hubungan antara pH terhadap waktu di kolam pembenihan ikan lele	83
Gambar 51. Diagram blok proses penurunan pH.....	84
Gambar 52. Diagram blok rangkaian sistem kontrol pH keseluruhan	85
Gambar 53. Diagram blok rangkaian hasil penggabungan I.....	85
Gambar 54. Diagram blok rangkaian yang disederhanakan	85

Gambar 55. Grafik pengujian kenaikan pH	87
Gambar 56. Grafik penurunan pH terhadap waktu	88
Gambar 57. Grafik fluktuasi pH pada kolam pemberian ikan lele tanpa kontrol	89
Gambar 58. Grafik fluktuasi pH dengan sistem kontrol hari ke 2,3,dan 4	91

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Parameter kualitas air untuk lele	9
Tabel 2. Kondisi pH bagi perkembangan ikan lele	12
Tabel 3. Beberapa aturan penyederhanaan diagram blok	22
Tabel 4. Spesifikasi Arduino UNO	41
Tabel 5. Perbandingan tipe IC dengan kondisi gelap-terang	53
Tabel 6. Hasil pengukuran tegangan keluaran rangkaian catu daya	63
Tabel 7. Hasil pengukuran saklar transistor (pompa asam)	64
Tabel 8. Hasil pengukuran saklar transistor (pompa basa)	64
Tabel 11. Data pertumbuhan benih ikan lele	93
Tabel 12. Data pH air kolam menggunakan pH meter digital	94

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data pemilihan diameter lekukan sensor pH	101
Lampiran 2. Data sensor mulai mengalami atenuasi	12
Lampiran 3. Hasil perhitungan sudut kritis dengan berbagai variasi sudut datang	103
Lampiran 4. Tabel analisis karakteristik sensor pH	106
Lampiran 5. Program Arduino untuk mengaktifkan <i>relay</i> pompa asam-basa	106
Lampiran 6. Pengambilan data karakteristik sensor pH fiber optik	109
Lampiran 7. Data respon waktu penurunan pH sensor	109
Lampiran 8. Data respon waktu kenaikan pH sensor	110
Lampiran 9. Tabel pengujian sistem kontrol sebelum diberi aktuator	111
Lampiran 10. Tabel pengujian sistem kontrol setelah diberi aktuator	113
Lampiran 11. Pengisian air ke dalam bak fiber sebelum dipasang sistem kontrol pH	115
Lampiran 12. Pemasangan sesnsor pH fiber optik pada kolam pemberian ikan lele tanpa adanya kontrol pH	115
Lampiran 13. Kolam pemberian ikan setelah dipasang sistem kontrol pH	116
Lampiran 14. Perbandingan antara kolam menggunakan sistem kontrol pH dengan tidak menggunakan kontrol pH	116
Lampiran 15. Benih ikan lele hasil dari pengontrolan pH air kolam	117

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sektor perikanan merupakan salah satu penunjang perekonomian negara. Berdasarkan data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan, sektor perikanan mengalami kenaikan produksi 6,2% antara tahun 2010 hingga 2011 dengan kontribusi produksi perikanan budidaya yang naik sekitar 11,13% pada periode yang sama. Selain itu, tingkat konsumsi ikan masyarakat Indonesia juga sangat tinggi yaitu berkisar 31,64 kg/kapita/tahun pada tahun 2011. Nilai ini mengalami kenaikan sekitar 4,81% jika dibandingkan dengan tahun 2010 yang hanya mencapai 30,48 kg/kapita/tahun (Pardamean Simanjuntak Armanto, 2012).

Saat ini teknologi otomatisasi berkembang pesat dalam berbagai bidang, salah satunya bidang perikanan. Dalam bidang perikanan sistem pengendali otomatis dibutuhkan sebagai sarana untuk memudahkan pekerjaan dan lebih menghemat waktu dalam pembudidayaan ikan. Sistem otomatis ini digunakan untuk mengontrol kondisi air pada kolam dalam pembudidayaan ikan, salah satunya adalah mengontrol fluktuasi pH air kolam sebagai salah satu cara dalam meningkatkan pertumbuhan benih ikan.

Pengelolaan kualitas air adalah ilmu yang mempelajari tentang upaya mengontrol kualitas air sehingga tercapai kualitas air yang diinginkan, serta untuk menjamin agar kualitas air tetap dalam kondisi alamiahnya. Dalam kegiatan budidaya perairan, yang dimaksud dengan pengelolaan kualitas air meliputi program kegiatan yang mengarahkan perairan budidaya pada keseimbangan ekosistem perairan dalam suatu wadah yang terbatas, agar tercipta suatu kondisi

perairan yang menyerupai habitat alami biota air yang dibudidayakan, baik dari segi sifat, tingkah laku, maupun ekologinya (Anonim, 2013: 1).

Lele merupakan ikan air tawar yang paling populer sebagai ikan budidaya karena harganya yang terjangkau dan kemudahan dalam budi dayanya, sehingga banyak pembudidaya pemula yang memilih ikan ini sebagai komoditi andalan (Heru Susanto, 2006). Namun masih terdapat beberapa kendala dalam pembudidayaannya seperti kurang diperhatikannya kualitas air kolam sehingga kualitas benih ikan lele yang dihasilkan kurang maksimal.

Parameter kualitas air yang tidak sesuai dapat berakibat fatal bagi kehidupan biota air pada umumnya. Parameter kualitas air yang sangat berpengaruh dalam kehidupan ikan dan udang antara lain adalah suhu, *dissolved oxygen (DO)*, pH, alkalinitas, kesadahan, ammonia, nitrit dan nitrat, Hidrogen Sulfida, dan salinitas. Parameter kualitas air yang baik di kolam adalah oksigen terlarut (6 – 8) ppm, pH (6 – 8), suhu (28 – 30) °C, dan ammonium 0,1 ppm (Anonim, 2013:7).

Apabila air menjadi asam (pH di bawah 4), maka ikan akan mengeluarkan banyak lendir (karena pengaruh banyaknya jamur dan bakteri yang berkembang biak di air) sehingga hal ini dapat mengganggu pernafasan, demikian pula bila pH terlalu basa. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran kualitas air secara berkala untuk menjaga kualitas air pada kondisi yang normal (Anonim, 2013:10).

Untuk mempertahankan stabilitas pH air kolam pada nilai tertentu maka diperlukan suatu cara agar benih ikan lele dapat bertahan hidup yakni dengan menginjeksikan larutan basa yang berupa air kapur untuk menaikkan pH air kolam

(Andrian Kristianto, Iwan Setiawan, dan Sumardi, 2012:1) dan rendaman daun ketapang untuk menurunkan kadar pH air kolam (Budi Laksono, 2014). Penggunaan larutan asam menggunakan air rendaman daun ketapang juga membuat nyaman bagi hidupnya ikan lele karena kandungan asam *humic* yang dimiliki daun ketapang kering. Hal ini terlihat dari nafsu makan ikan lele yang meningkat seiring dengan penginjeksian larutan asam ke dalam kolam.

Fiber optik plastik adalah fiber optik dengan inti yang terbuat dari plastik bahan *polimerpolymethylmethacrylate* (PPMA) dan mulai dikembangkan pada tahun 1960-an, namun karena pelemahan tinggi maka pengembangan fiber optik ini sempat berhenti. Sejak awal 1990-an, teknologi fiber optik plastik kembali diminati setelah ditemukan bahan polimer terfluorinasi dengan atenuasi rendah. Fiber optik plastik ini merupakan alternatif dari fiber optik berbasis silika untuk tujuan pengurangan biaya pada sistem komunikasi. Selain itu, fiber optik plastik mudah dipreparasi dan determinasi, mudah dikopel dengan detektor dan *emitter* serta fleksibel. Hingga saat ini fiber optik plastik telah dapat menggantikan fiber optik silika, hal ini dikarenakan mudah dalam penanganannya, fleksibel dan ekonomis. Tingkat atenuasi fiber optik plastik juga sudah dapat direduksi secara signifikan, yaitu di bawah 30 dB/km (Akhiruddin Maddu, 2007 dalam Kunthi Aristiani, 2015: 2).

Saat ini, serat optik plastik mulai banyak digunakan untuk dekorasi, jaringan lokal, pencahayaan, pemandu gambar, dan sensor. Serat optik memiliki beberapa kelebihan yakni ringan, tidak mengalami korosi, tidak sensitif terhadap interferensi elektromagnetik, memiliki diameter yang cukup besar sehingga dalam

penyambungan antara satu bagian dengan bagian yang lain menjadi lebih mudah, serta memiliki nilai NA (*Numerical Apperture*) yang cukup besar. Kelemahan serat optik adalah panjang lintasan tidak terlalu jauh, hal ini disebabkan karena serat optik plastik memiliki rugi propagasi yang tinggi. Telah banyak jurnal yang berisi penelitian tentang pemanfaatan serat optik plastik sebagai sensor antara lain sensor *strain*, temperatur, kelembaban, sensor pH, dan lain sebagainya (Rahadiyanti Ayu Kholilah, 2008).

Telah banyak penelitian mengenai sensor pH dengan menggunakan serat optik antara lain penelitian dari E. Alvarado-M'endez dkk (2004: 518-522) membuat sensor pH dengan pelapis *cladding* menggunakan *bromophenol blue*. Range pH yang dapat diukur antara 5,0 hingga 7,0. Suozhu Wu dkk (2009: 255-259) membuat sensor pH menggunakan *bromocresol green* dan *cresol red*. Range pH yang dapat diukur antara 2,0 hingga 8,0 dan 9,0 hingga 13,0. Penelitian dari Lucky Wibisono (2009) telah mendemonstrasikan sensor pH menggunakan fiber optik plastik dengan rentang pengukuran pH 5 sampai 7 dan memiliki sensitivitas 0,27 pH/mV.

Penelitian ini akan mengkarakterisasi sensor pH fiber optik dengan *probe* sensor berbentuk "U" yang memiliki diameter *bending* 5 cm. Pemilihan *probe bending* karena lebih mudah digunakan dibandingkan dengan probe lurus dalam proses pengukuran pH (Nafi'ul Matiin, 2012: 1). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Nursukmasari Qomaria dan Endarko menjelaskan bahwa fiber optik dengan bentuk lekukan "U" menghasilkan nilai tegangan keluaran yang lebih besar daripada tegangan keluaran pada fiber optik dengan lekukan "V". Dimana

semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh fotoresistor, maka akan menyebabkan resistansinya juga semakin besar, sehingga tegangan keluaran akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada fiber optik dengan lekukan “U” menyebabkan *losses* cahaya dalam fiber optik lebih kecil daripada *losses* yang ditimbulkan oleh fiber optik dengan lekukan “V” (Nursukmasari Qomaria dan Endarko, 2012: 3).

Pembuatan sistem kontrol pH air kolam pemberian ikan lele ini berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan pegawai BPTKP mengenai salah satu parameter kualitas air yang berpengaruh bagi pertumbuhan ikan lele di BPTKP adalah pH air. Pemilihan Balai Pengembangan Teknologi Kelautan dan Perikanan (BPTKP) Cangkringan, Sleman, Yogyakarta sebagai mitra kerja karena BPTKP merupakan salah satu produsen berbagai jenis benih ikan air tawar salah satunya yakni ikan lele. Selain itu, pihak BPTKP juga menyediakan fasilitas berupa benih ikan lele dan bak fiber yang dapat digunakan sebagai objek penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat yang dapat mengontrol fluktuasi pH air kolam. Selain itu, akan diteliti juga pengaruh pH air kolam terhadap pertumbuhan benih ikan lele. Untuk mengetahui pengaruh pH air terhadap pertumbuhan benih ikan lele maka dilakukan perbandingan antara dua kolam pemberian ikan lele yakni satu kolam dipasang sistem kontrol pH dan kolam lainnya tanpa sistem kontrol pH.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah berikut:

1. Banyaknya permintaan ikan untuk dikonsumsi di kalangan masyarakat.
2. Belum diketahui apakah sensor pH yang akan dibuat mampu untuk mendeteksi fluktuasi pH air kolam atau tidak.
3. Perlunya dibuat suatu sensor pH yang dapat digunakan untuk mengendalikan fluktuasi pH pada pembudidayaan ikan lele dengan harga yang terjangkau dan hasil pengukuran yang akurat.
4. Pemantauan kualitas air terutama dalam hal pH selama ini masih dilakukan secara manual dengan cara menabur kapur pada dasar kolam.
5. Pemilihan larutan asam-basa yang sesuai bagi pertumbuhan ikan untuk mengendalikan fluktuasi pH air pada kolam pemberian ikan lele.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang diperoleh tentang pengendalian pH air kolam ikan lele, penelitian ini dibatasi pada pengendalian fluktuasi pH air kolam pemberian ikan lele di BPTKP Cangkringan, Sleman, Yogyakarta dan diasumsikan distribusi larutan pH tersebar merata di seluruh kolam ikan lele.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang muncul dapat dirumuskan:

1. Bagaimana rancang bangun sistem kontrol pH air kolam pada pemberian ikan lele?
2. Bagaimana cara mengkarakterisasi sensor pH fiber optik berbentuk “U”?
3. Bagaimana pengendalian pH air kolam untuk mengetahui pertumbuhan benih ikan lele.?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem kontrol pH air kolam pada pemberian ikan lele.
2. Mengkarakterisasi sensor pH fiber optik berbentuk “U”.
3. Mengendalikan pH air kolam untuk mengetahui pertumbuhan benih ikan lele.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat antara lain dengan adanya alat kontrol pH air kolam ini dapat mengurangi tingkat kematian benih ikan lele pada proses pendederan dan untuk meningkatkan produktivitas ikan lele di BPTKP Cangkringan khususnya serta daerah Yogyakarta dan sekitarnya pada umumnya.

Sistem kontrol pH air kolam ini merupakan salah satu hasil teknologi tepat guna yang diupayakan sesederhana mungkin sehingga alat ini mudah dioperasikan dan dapat diterapkan pada pengusaha kecil dan menengah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Lele Dumbo

Di beberapa daerah, ikan lele dikenal dengan nama lele, lendi di Jawa Tengah, ikan kalang di Sumatra, ikan pintet di Kalimantan, ikan keeling di Sulawesi. Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) termasuk keluarga *Claridae* dan marganya *Clarias* (Heru Susanto, 2006).

Kriteria benih ikan yang sehat antara lain:

- a) Sehat, tidak ada luka, dan tidak menunjukkan gejala terserang hama dan penyakit.
- b) Pertumbuhannya seragam dan gerakannya lincah dan gesit.
- c) Memiliki ukuran seragam dan berwarna cerah (mengilap).
- d) Proporsi badan dan kepala ideal.
- e) Posisi ikan dalam air normal, tidak menggantung (Moch. Syambas Basahudin dan Usnie Arie, 2014:16).

Air merupakan faktor utama dan mutlak diperlukan dalam kegiatan pembesaran lele. Sebagai media hidup ikan, air perlu diketahui sebelum memulai usaha. Berhasil atau tidaknya pembesaran lele tersebut sangat ditentukan oleh kondisi airnya. Kualitas air yang baik dapat memberikan hasil yang memuaskan. Sebaliknya, kualitas air yang kurang baik tidak akan memberikan hasil sesuai dengan yang diharapkan (Moch. Syambas Basahudin dan Usnie Arie, 2014:18).

Tabel 1. Parameter kualitas air untuk lele

Parameter	Kisaran atau indikasi
Suhu	(25 – 30) °C
Warna	Hijau kecokelatan
Kekeruhan	(20 – 40) cm oleh plankton
Oksigen Terlarut	Minimal 3 mg/l
Karbondioksida	Maksimal 25 mg/l
pH	6 sampai 9
Amoniak	Maksimal 0,1 mg/l
Alkalinitas	(50 – 300) mg/l

(Moch.Syambas Basahudin dan Usnie Arie, 2014:19).

B. pH air kolam

Menurut Arrhenius, asam adalah zat yang di dalam air melepaskan ion H^+ atau dapat dikatakan pembawa sifat asam adalah ion H^+ . Basa adalah senyawa yang di dalam air dapat melepaskan ion hidroksida (OH^-). Jadi, pembawa sifat basa adalah ion OH^- .

Kata pH adalah singkatan dari "*pondus Hydrogenium*". Secara harfiah pH berarti berat *hydrogen*. Michael Purba (2006: 9-10) menjelaskan bahwa derajat atau tingkat keasaman larutan bergantung pada konsentrasi ion H^+ dalam larutan. Semakin besar konsentrasi ion H^+ , semakin asam larutan tersebut. Nilai konsentrasi ion H^+ tersebut biasanya sangat kecil. Misalnya pada asam cuka 0,1M adalah 0,001 M; dan konsentrasi ion H^+ pada akuades adalah 1×10^{-7} . Analogi dengan pH, konsentrasi ion OH^- juga dapat dinyatakan dengan pOH, yakni tingkat kebasaan suatu larutan yang bergantung pada konsentrasi ion OH^- . Semakin tinggi pOH maka semakin bertambah basa larutan tersebut.

Parameter yang berkaitan dengan kekuatan asam yakni derajat ionisasi (α).

Derajat ionisasi dapat didefinisikan sebagai:

$$\alpha = \frac{\text{jumlah zat yang mengion}}{\text{jumlah zat mula-mula}} \quad (2-1)$$

Apabila besarnya derajat ionisasi (α) diketahui, maka dapat diperoleh hubungan antara konsentrasi ion H^+ dengan derajat ionisasi asam sebagai berikut

$$[H^+] = M \times \alpha \quad (2-2)$$

Lele dapat tumbuh dengan baik pada toleransi pH 6 sampai 9, namun kondisi hidup ideal bagi lele berada pada rentang pH 7 sampai 8. Beberapa penyebab perubahan pH menjadi asam adalah air hujan yang masuk ke dalam kolam, sisa makanan ikan, dan kotoran ikan. Kondisi air kolam yang menjadi asam menyebabkan jamur dan bakteri tumbuh, selain itu juga dengan pH di luar standar berdampak pada metabolisme dan nafsu makan yang menurun.

Cara untuk menaikkan pH air kolam yang asam yakni dengan pemberian kapur tohor/dolomit, sedangkan pemberian air rendaman daun ketapang dapat berfungsi untuk menurunkan pH air kolam yang terlalu basa. Untuk menghindari tumbuhnya jamur dan penyakit pada ikan dilakukan dengan pemberian garam grasak/non-yodium pada kolam ikan.

1. Alkalinitas

Untuk menjaga pH air tetap stabil pada kisaran 6 sampai 9 maka perlu suatu proses kimia yang dinyatakan dalam alkalinitas. Alkalinitas adalah kemampuan pem-buffer-an dari ion bikarbonat, ion karbonat, dan hidroksida dalam air. Ketiga ion tersebut di dalam air akan bereaksi dengan ion hidrogen sehingga dapat menurunkan keasaman atau menaikkan pH.

Alkalinitas merupakan besaran yang menunjukkan kandungan ion bikarbonat (HCO_3^-) dan karbonat ($\text{CO}_3^{=}$) di dalam air. Dalam perairan tawar, untuk keadaan pH netral maka ion bikarbonat lebih dominan, sedangkan pada perairan laut maka ion karbonat lebih berperan.

Perairan mempunyai kemampuan untuk menjaga kestabilan pH sampai batas tertentu atau dapat bertahan terhadap berbagai perubahan pH. Mekanisme pertahanan terhadap berbagai perubahan pH dikenal dengan istilah kapasitas *buffer-an* pH.

Pertahanan air terhadap perubahan pH dilakukan melalui proses alkalinitas dengan proses sebagai berikut:



$\text{CO}_3^{=}$ (ion karbonat) pada keseimbangan kimia di atas, dinyatakan sebagai alkalinitas air, sedangkan H^+ (ion H) merupakan sumber keasaman. Proses keseimbangan di atas merupakan reaksi bolak-balik, artinya reaksi dapat berjalan ke arah kanan (menghasilkan H^+) atau ke arah kiri (menghasilkan CO_2).

Oleh karena itu, apabila perairan tersebut diberikan asam (ion H^+), maka H^+ tersebut akan segera diikat oleh ion $\text{CO}_3^{=}$ dan reaksi bergerak ke kiri menghasilkan CO_2 , (CO_2 lepas ke udara). Pada saat asam ditambahkan, pH akan terukur rendah, tapi setelah beberapa waktu kemudian, ketika reaksi mulai bergerak ke kiri, pH akan kembali bergerak ke angka semula. Sehingga apabila menghendaki penurunan pH pada perairan yang mengandung kapur tinggi, kurang efektif jika hanya dengan penambahan asam.

Bila hanya dengan penambahan asam maka jumlah yang diberikan harus dalam jumlah lebih banyak yaitu untuk mengatasi alkalinitasnya terlebih dahulu, seperti ditunjukkan pada reaksi di atas. Oleh karena itu perlu menurunkan alkalinitas dahulu dengan mendidihkan air atau dengan melarutkan air pada gambut. Sedangkan untuk menaikkan alkalinitas dengan menambahkan kalsium karbonat (CaCO_3) (KEMENDIKBUD RI, 2013:10 – 12).

2. Kesadahan

Pengaruh kalsium karbonat (CaCO_3) dalam air dapat pula dinyatakan sebagai kesadahan yaitu kemampuan air untuk membentuk busa apabila dicampur dengan detergen (sabun). Pada air yang mempunyai kesadahan rendah akan mudah membentuk busa apabila dicampur dengan sabun. Sedangkan pada air yang mempunyai kesadahan tinggi tidak akan terbentuk busa. Kesadahan sangat penting bagi kehidupan ikan. Tidak semua ikan dapat hidup pada nilai kesadahan yang sama. Dengan kata lain, setiap jenis ikan memerlukan nilai kesadahan pada kisaran tertentu untuk hidupnya. Disamping itu, kesadahan juga merupakan petunjuk yang penting dalam hubungannya dengan usaha untuk mengubah nilai pH.

Kesadahan merupakan ukuran yang menunjukkan jumlah ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion magnesium (Mg^{2+}) dalam air. Ion-ion lain sebenarnya ikut pula mempengaruhi nilai kesadahan, akan tetapi pengaruhnya diketahui sangat kecil dan relatif sulit diukur sehingga diabaikan (Anonim, 2013:13)

Tabel 2. Kondisi pH bagi perkembangan ikan lele

No.	Kondisi pH	Dampak
1.	pH 4	Ikan mati
2.	pH 5	Ikan tidak berkembang dengan baik
3.	pH 6	Pertumbuhan ikan menurun
4.	pH 7 – 8	Pertumbuhan baik
5.	pH 9	Pertumbuhan ikan menurun
6.	pH 10	Ikan tidak berkembang dengan baik
7.	pH 11	Ikan mati

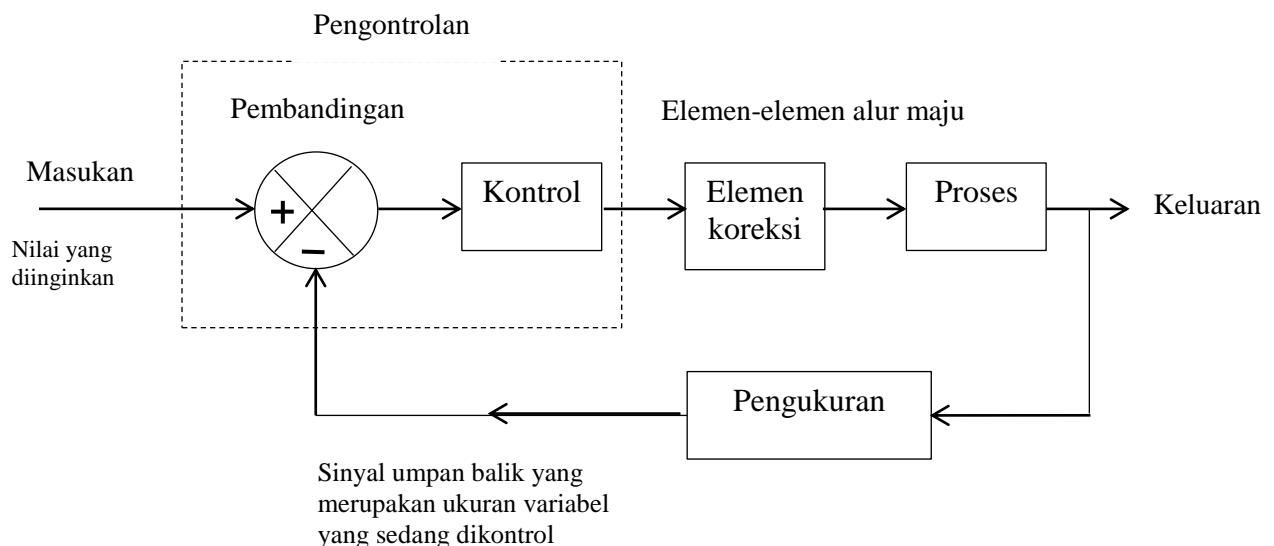
(Sumber: <https://www.banyudadi.com/ph-air-kolam-untuk-ikan-lele/>)

C. Sistem Kontrol

Ogata (1996: 197) mengatakan bahwa sistem kontrol adalah sistem yang membandingkan nilai sebenarnya dari keluaran sistem secara keseluruhan (*plant*) dengan mengacu pada masukan (nilai yang dikehendaki), menentukan penyimpangan, dan menghasilkan sinyal kendali yang mengurangi penyimpangan menjadi nol atau nilai yang kecil.

Menurut W. Bolton (2004: 86) sistem kontrol dapat dipandang sebagai sistem dimana suatu masukan atau beberapa masukan tertentu digunakan untuk mengontrol keluarannya pada nilai tertentu, memberikan urutan kejadian tertentu, atau memunculkan suatu kejadian jika beberapa kondisi tertentu terpenuhi.

Diagram blok sistem kontrol untuk elemen-elemen dasar dari sistem *loop* tertutup (W. Bolton, 2004: 89) ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok suatu sistem *loop* tertutup

Gambar 1 menunjukkan elemen-elemen dasar suatu diagram blok dari suatu sistem kontrol tertutup yang terdiri atas pengontrol, elemen koreksi, proses, dan elemen pengukuran (sensor).

W. Bolton (2004: 89-90) menjelaskan bahwa elemen pembanding akan membandingkan nilai yang dikehendaki dari variabel yang sedang dikontrol dengan nilai yang terukur yang diperoleh sehingga menghasilkan sinyal *error*. Jadi, apabila keluarannya merupakan nilai yang diinginkan, maka tidak akan muncul sinyal *error* sehingga tidak ada sinyal yang diumpulkan untuk memulai kontrol. Kemudian elemen kontrol akan menentukan tindakan apa yang akan diambil sehingga bisa menerima sinyal *error*. Sedangkan elemen koreksi atau elemen kontrol akhir menghasilkan suatu perubahan di dalam proses yang bertujuan untuk mengoreksi atau mengubah kondisi yang dikontrol. Elemen dari sebuah unit koreksi yang membangkitkan daya untuk menjalankan aksi kontrol disebut aktuator. Proses adalah sistem dimana terdapat sebuah variabel yang

dikontrol. Elemen pengukuran menghasilkan sebuah sinyal yang berhubungan dengan kondisi variabel dari proses yang sedang dikontrol.

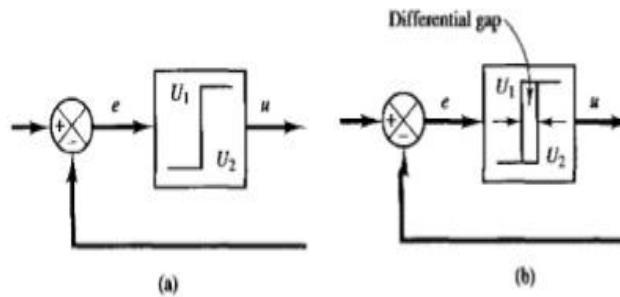
Perancangan sistem kontrol pH air kolam pada pemberian ikan lele ini menggunakan dua posisi pengontrolan yakni *ON-OFF*. Keluaran pengontrol hanya akan mempunyai dua nilai yang mungkin, yang ekuivalen dengan kondisi *ON-OFF*, karenanya pengontrol *ON-OFF* sering disebut sebagai *pengontrol dua-langkah*. W. Bolton (2004: 104) menjelaskan dengan mode kontrol *ON-OFF*, pada intinya pengontrol merupakan sebuah saklar yang diaktifasi oleh sinyal *error*. Sinyal kontrol akan memulai aksi kontrol apabila terdapat perbedaan antara nilai yang diinginkan dengan nilai variabel sebenarnya (*error*).

Sinyal kontrol hanya akan tetap berada pada suatu keadaan dan akan berubah ke keadaan lain tergantung pada nilai *error*, hal ini dapat dituliskan dengan persamaan

$$u(t) = U_1 \text{ untuk } e(t) > 0 \quad (2-3)$$

$$u(t) = U_2 \text{ untuk } e(t) < 0 \quad (2-4)$$

Dimana $u(t)$ merupakan sinyal keluaran dari kontroler, U_1 dan U_2 konstan. Nilai minimum U_2 biasanya nol atau $-U_1$, dan $e(t)$ merupakan sinyal *error*, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. (a). Diagram blok kontroler *ON-OFF* (b). Diagram blok kontroler *ON-OFF* dengan jurang diferensial (Ogata, 1996:200)

Pada sistem kontrol pH ini, jika *output* lebih besar dari *set point* maka aktuator akan *ON*, dan *output* akan turun hingga mencapai *set point*. Apabila telah mencapai *set point*, maka kontrol akan kembali *OFF*, begitu pun seterusnya sinyal kontrol akan bekerja hingga keadaan kolam sesuai dengan yang dikehendaki. Namun, terdapat kelemahan dari kontroler *ON-OFF* yakni jika *output* berosilasi di sekitar *set point* maka menyebabkan kontroler akan cepat aus dan menghabiskan banyak energi.

Ogata (1996: 200-201) mengatakan bahwa untuk mengatasi hal ini maka dibuat suatu *band* pada *set point* sehingga mengurangi frekuensi *ON-OFF* dari kontroler. Sinyal kontroler akan *OFF* ketika *output* menyentuh batas atas dan akan *ON* kembali ketika *output* menyentuh batas bawah. *Band* dari *set point* ini disebut juga *jurang diferensial*.

D. Perancangan Sistem Kontrol

Menurut Yuliani (2015:16-17) untuk keperluan analisis dan desain sistem kendali maka perlu dibuat model suatu sistem fisis yang dapat menggambarkan karakteristik dinamis sistem kendali tersebut. Untuk dapat menggambarkan

bagaimana keluaran sistem bergantung pada parameter masukannya serta bagaimana keluaran sistem berubah terhadap waktu ketika terjadi perubahan masukannya, maka diperlukan sebuah persamaan matematis yang menghubungkan parameter masukan dan keluaran sistem. Hubungan antara parameter masukan dan keluaran sistem dapat diperoleh dengan cara memandangnya sebagai sistem yang terbentuk dari beberapa elemen dasar. Sedangkan model matematis digunakan untuk memperkirakan bagaimana sistem akan memberikan tanggapan pada kondisi-kondisi spesifik yang pasti tanpa menguji sistem fisis yang sebenarnya.

1. Fungsi Alih

Ogata (1996: 45-46) menjelaskan bahwa dalam teori kontrol, fungsi alih digunakan untuk mencirikan hubungan masukan dan keluaran dari komponen atau sistem yang dapat digambarkan dengan persamaan diferensial linear. Fungsi alih diferensial linear didefinisikan sebagai perbandingan antara transformasi Laplace keluaran terhadap transformasi Laplace masukan dengan anggapan semua kondisi awal sama dengan nol. Untuk sistem diferensial linear, maka persamaannya didefinisikan sebagai berikut

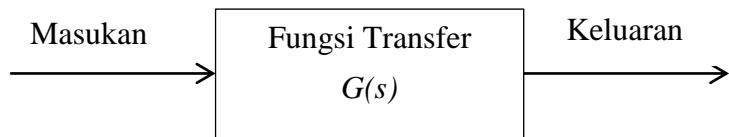
$$a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y = b_0 x^m + b_1 x^{m-1} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + b_m x \quad (2-5)$$

Dengan ($n \geq m$), y adalah keluaran sistem dan x adalah masukan sistem. Fungsi alih sistem ini diperoleh dengan mencari transformasi Laplace kedua sisi pada persamaan (2-5) dengan anggapan semua kondisi awal sama dengan nol (kondisi saat sistem belum dikenai masukan).

$$\begin{aligned}
 \text{Fungsi alih } G(s) &= \left. \frac{L[\text{keluaran}]}{L[\text{masukan}]} \right|_{\text{keadaan awal nol}} \\
 &= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}
 \end{aligned} \tag{2-6}$$

2. Diagram Blok

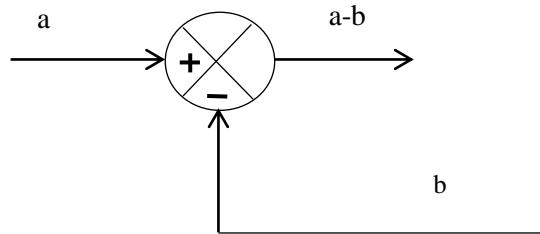
Ogata (1996: 48) menerangkan bahwa diagram blok suatu sistem adalah suatu penyajian bergambar dari fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya. Dalam suatu diagram blok, semua variabel sistem saling dihubungkan dengan menggunakan blok fungsional. Blok fungsional atau blok adalah suatu simbol operasi matematik pada sinyal masukan blok yang menghasilkan keluaran. Fungsi alih dari komponen biasanya ditulis di dalam blok, yang dihubungkan dengan anak panah untuk menunjukkan arah aliran sinyal. Sinyal hanya dapat mengalir pada arah yang ditunjukkan anak panah. Jadi, diagram blok suatu sistem kontrol menunjukkan suatu sifat searah. Elemen diagram blok ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Elemen diagram blok

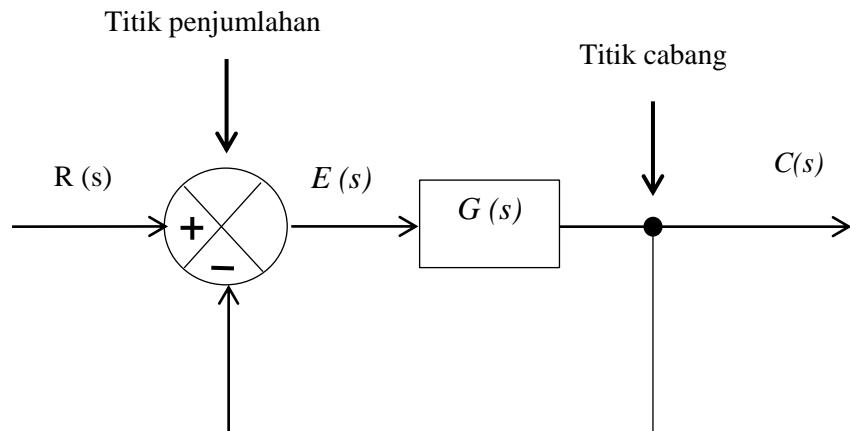
Diagram blok mengandung informasi perilaku dinamik, tetapi tidak mengandung informasi mengenai konstruksi fisik dari sistem. Oleh karena itu, beberapa sistem yang berbeda dan tidak mempunyai relasi satu sama lain dapat

dinyatakan dengan diagram blok yang sama. Diagram blok dari titik penjumlahan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok titik penjumlahan

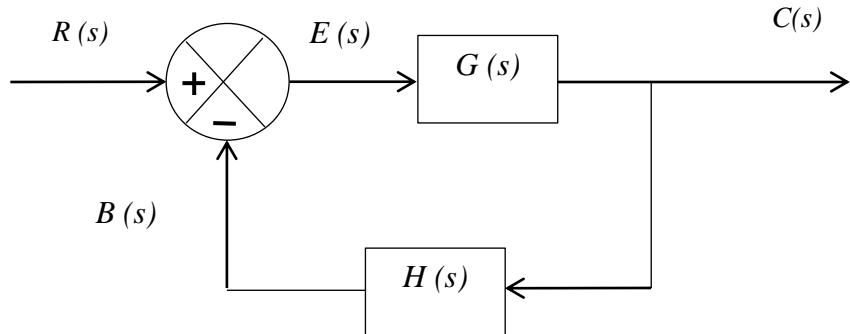
Pada Gambar 4 bentuk lingkaran dengan tanda silang menunjukkan simbol operasi penjumlahan. Tanda plus atau minus pada tiap kepala panah menunjukkan apakah sinyal ditambahkan atau dikurangkan. Hal ini penting karena penjumlahan atau pengurangan mempunyai dimensi dan satuan yang sama.



Gambar 5. Sistem *loop* tertutup dari diagram blok

Gambar 5 menunjukkan suatu contoh diagram blok sistem *loop* tertutup. Keluaran $C(s)$ diumpam-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan acuan $R(s)$. Keluaran blok $C(s)$ diperoleh dengan mengalikan fungsi alih $G(s)$ dengan masukan blok $E(s)$. Setiap sistem kontrol linear dapat dinyatakan dengan suatu diagram blok yang terdiri dari beberapa blok, titik penjumlahan, dan

titik cabang. Titik cabang adalah titik, tempat sinyal keluaran blok secara bersamaan menuju ke blok lain atau titik penjumlahan (Ogata,1996: 49).



Gambar 6. Sistem *loop* tertutup

Ogata (1996:49-50) menyatakan jika keluaran diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan, maka perlu mengubah bentuk sinyal keluaran agar sama dengan bentuk sinyal masukan. Pada gambar 6, sinyal umpan balik yang diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan sinyal masukan adalah $B(s) = H(s) C(s)$.

Rasio sinyal umpan balik $B(s)$ terhadap sinyal kesalahan yang timbul $E(s)$ disebut fungsi alih terbuka, karenanya

$$\text{Fungsi alih terbuka} = \frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s) \quad (2-7)$$

Rasio keluaran $C(s)$ terhadap sinyal kesalahan yang muncul $E(s)$ disebut fungsi alih umpan-maju, sehingga

$$\text{Fungsi alih umpan - maju} = \frac{C(s)}{E(s)} = G(s) \quad (2-8)$$

Jika fungsi alih umpan-balik $H(s)$ berbentuk satuan, maka fungsi alih *loop* terbuka dan fungsi alih umpan majunya sama.

Untuk sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 6, keluaran $C(s)$ dan masukan $R(s)$ dihubungkan sebagai berikut

$$C(s) = G(s)E(s) \quad (2-9)$$

$$\begin{aligned} E(s) &= R(s) - B(s) \\ &= R(s) - H(s)C(s) \end{aligned} \quad (2-10)$$

Dengan mensubstitusi $E(s)$ dari persamaan (2-10) ke persamaan (2-9)

$$C(s) = G(s)[R(s) - H(s)C(s)] \quad (2-11)$$

Atau dapat dituliskan

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (2-12)$$

Fungsi alih yang menghubungkan $C(s)$ dengan $R(s)$ disebut fungsi alih loop tertutup. Fungsi alih ini menghubungkan dinamika sistem *loop* tertutup dengan dinamika elemen umpan-maju dan elemen umpan-balik.

Dari persamaan (2-12) , besarnya $C(s)$ dapat dituliskan

$$C(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}R(s) \quad (2-13)$$

Berdasarkan persamaan (2-13) terlihat bahwa keluaran dari sistem *loop* tertutup tergantung pada fungsi alih *loop* tertutup dan masukan aslinya.

3. Penggambaran diagram blok

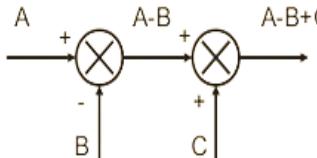
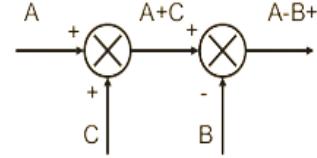
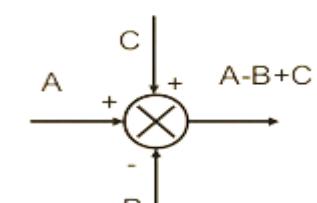
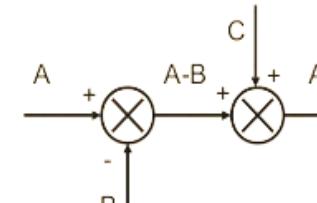
Menurut Ogata (1996: 51-52) untuk menggambar diagram blok suatu sistem, pertama kali ditulis persamaan yang menggambarkan dinamika kelakuan tiap-tiap komponen. Kemudian kenakan transformasi Laplace kepada persamaan

tersebut, anggap kondisi awal sama dengan nol, dan menyatakan tiap persamaan transformasi Laplace dalam bentuk blok. Terakhir, menyusun elemen-elemen dalam diagram blok lengkap.

Suatu blok lengkap yang meliputi beberapa *loop* umpan-balik dapat disederhanakan dengan menyusun kembali langkah demi langkah menggunakan aturan aljabar diagram blok. Penyederhanaan diagram blok dengan penyusunan kembali dan substitusi akan memudahkan dalam menganalisis matematik. Beberapa hal yang perlu diingat untuk menyederhanakan diagram blok adalah sebagai berikut

1. Hasil fungsi alih dalam arah umpan maju harus tetap sama.
2. Hasil fungsi alih sekitar *loop* harus tetap sama.

Tabel 3. Beberapa aturan penyederhanaan diagram blok (Ogata,1996:53)

No.	Diagram blok asal	Diagram blok pengganti
1.		
2.		

3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		

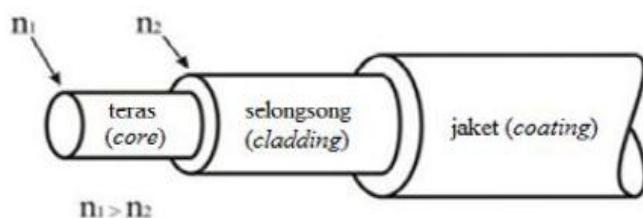
E. Rangkaian Sensor pH

1. Fiber Optik

Fiber optik yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat optik plastik *single mode type* SH-4001-1,3 dengan spesifikasi bahan *core* yakni *Polymethyl Methacrylate Resin* yang memiliki diameter 980 μm dan bahan *cladding* yakni *Fluorinataate Polymer* dengan diameter 1000 μm .

Menurut Shivang Ghetia yang dikutip oleh Kunthi Aristiani (2015: 7) fiber optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya bebentuk silinder yang dikembangkan di akhir tahun 1960-an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama semakin membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi. Fiber optik umumnya terbuat dari bahan dielektrik berbentuk seperti kaca (*glass*). Di dalam fiber inilah energi cahaya yang dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan sehingga dapat diterima di ujung unit penerima (*receiver*). Sekarang ini, kecepatan data yang tinggi adalah faktor kunci dari transmisi data. Ada banyak keuntungan dari fiber optik untuk komunikasi seperti keamanan data, data *multiplexing*, kemudahan untuk membuat sumber optik, dan detektor optik.

a. Susunan Fiber Optik



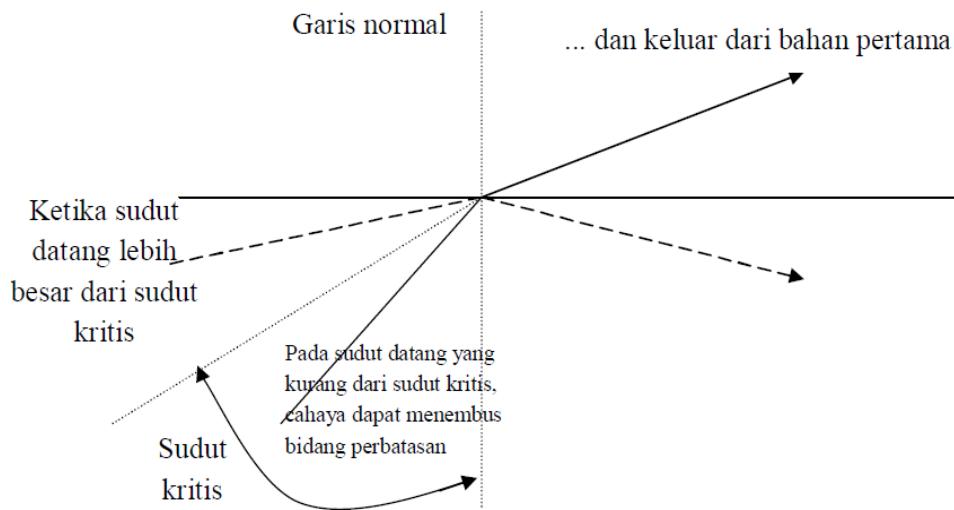
Gambar 7. Susunan fiber optik

Secara garis besar kabel serat optik terdiri dari 2 bagian utama, yaitu *cladding* dan *core*. *Cladding* adalah selubung dari inti (*core*). Nilai indeks bias *cladding* (n_2) lebih rendah daripada indeks bias *core* (n_1), sehingga *core* akan memantulkan kembali cahaya yang mengarah keluar dari *core* dan menyebabkan cahaya terkurung di dalam serat optik.

Dalam aplikasinya serat optik biasanya diselubungi oleh lapisan resin yang disebut dengan *jacket*, biasanya berbahan plastik. Lapisan ini dapat menambah kekuatan untuk kabel serat optik, walaupun tidak memberikan peningkatan terhadap sifat gelombang pandu optik pada kabel tersebut. Namun lapisan resin ini dapat menyerap cahaya dan mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran cahaya yang keluar dari selubung inti (Qomaria Nursukmasari dan Endarko, 2012).

b. Pemantulan Internal Sempurna

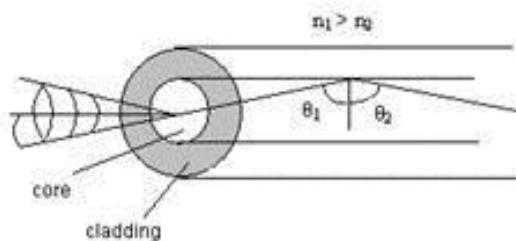
Sudut kritis berperan sangat penting di dalam prinsip kerja fiber optik. Jika cahaya merambat dengan sudut datang yang kurang dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dibiaskan keluar dari bahan pertama. Akan tetapi, jika cahaya merambat menuju bidang perbatasan dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali (oleh bidang perbatasan) ke dalam bahan pertama. Dalam kasus ini, bidang perbatasan hanya berperan sebagai sebuah bidang pemantul ('cermin'). Efek semacam ini disebut sebagai pemantulan internal sempurna (*total internal reflection* atau *TIR*).



Gambar 8. Pematulan internal sempurna (John Crisp dan Barry Elliott, 2010: 16)

c. Numerical Aperture (NA)

Apertur numerik dari sebuah fiber optik adalah parameter yang mengukur kemampuan fiber optik mengumpulkan atau memperangkap cahaya. Semakin besar nilai NA menandai semakin tinggi efisiensi dari suatu sumber optik dalam mengkopling cahaya-cahaya ke dalam fiber optik (John Crisp dan Barry Elliott, 2005: 36).



Gambar 9. Numerical Aperture (Daniyati dkk, 2011: 4)

Besarnya nilai NA dipengaruhi oleh indeks bias *core* dan *cladding* sesuai dengan persamaan (2-14).

$$NA = \sin \theta_{maks} = \sqrt{(n_{inti}^2 - n_{mantel}^2)} \text{ (tanpa satuan)} \quad (2-14)$$

Sudut penerimaan juga mengindikasikan seberapa banyaknya cahaya yang dapat diterima masuk ke dalam serat optik. Sehingga terdapat suatu hubungan antara apertur numerik dan sudut penerimaan, karena pada dasarnya dua besaran ini mengukur dua hal yang sama. Besarnya sudut penerimaan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\text{sudut penerimaan} = \arcsin (NA) \quad (2-15)$$

d. Pelemanahan Daya Fiber Optik

1) Absorbsi

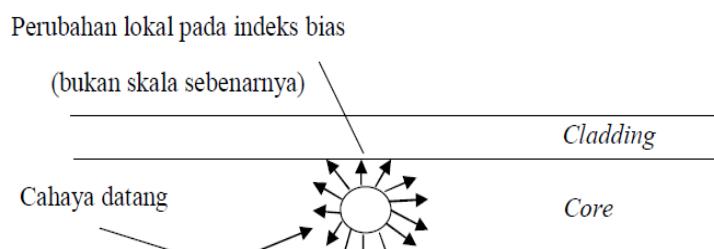
Zat kotoran (*impurity*) apa pun yang tersisa di dalam bahan inti akan menyerap sebagian dari energi cahaya yang merambat di dalam fiber optik. Kontaminan yang menimbulkan efek paling serius adalah ion-ion hidroksil dan zat-zat logam.

Ion-ion hidroksil sebenarnya adalah wujud lain dari air yang akan menyerap secara besar-besaran energi gelombang dengan panjang 1380 nm. Demikian pula, zat-zat logam logam akan menyerap energi gelombang dengan berbagai nilai panjang tertentu. Untuk permasalahan ini, jawaban yang paling tepat adalah mencegah timbulnya kontaminan atau tertinggalnya zat-zat kotoran di dalam kaca saat proses manufaktur dilakukan. Kandungan kontaminan harus dapat ditekan sekecil mungkin, dengan nilai perbandingan ideal 1 di dalam 10^9 untuk air, dan 1 di dalam 10^{10} untuk zat logam (John Crisp dan Barry Elliot, 2005:58–59).

2) Pancaran Rayleigh

Pancaran Rayleigh (*Rayleigh Scatter*) adalah efek terpancarnya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan *core* dan bahan *cladding*. Dikatakan bersifat ‘lokal’ karena perubahan itu hanya terjadi di lokasi-lokasi tertentu saja di dalam bahan, dan ukuran daerah yang terkena pengaruh perubahan ini sangat kecil, yaitu kurang dari satu panjang gelombang cahaya.

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini, dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Sebab pertama adalah terdapatnya ketidakmerataan di dalam ‘adonan’ bahan-bahan pembuat fiber optik. Ketidakmerataan dalam jumlah yang sangat kecil dan bersifat acak ini mustahil untuk sepenuhnya dihilangkan. Penyebab kedua adalah pergeseran-pergeseran kecil pada kerapatan bahan yang biasanya terjadi saat kaca silika mulai membeku dan menjadi rapat. Salah satu lokasi ‘cacat’ ini dan efek pancaran Rayleigh yang ditimbulkannya diilustrasikan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Cahaya terpencar ke segala arah

Dalam Gambar 10 diperlihatkan bahwa cahaya terpecah dan terpencar ke segala arah. Semua komponen pencaran cahaya yang kini merambat dengan sudut datang kurang dari sudut kritis akan dapat menembus *cladding* dan hilang sebagai

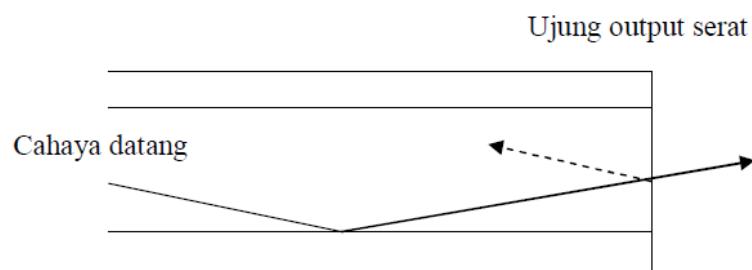
pelemahan daya. Akan tetapi, sebagian besar cahaya tidak akan ‘melewati’ daerah cacat lokal tersebut, karena ukurannya memang sangat kecil.

Intensitas efek ini pada cahaya yang menumbuk daerah perubahan tergantung pada ukuran daerah perubahan relatif terhadap panjang gelombang cahaya yang bersangkutan. Sehingga, cahaya dengan panjang gelombang paling kecil, atau frekuensi tertinggi, akan paling besar terkena dampak pancaran ini (John Crisp dan Barry Elliot, 2005: 59-60).

3) Pemantulan Fresnel

Ketika cahaya menumbuk sebuah bintik perubahan indeks bias dan terpencar ke segala arah, komponen pencaran yang merambat dengan sudut datang mendekati garis normal (90°) akan lewat begitu saja menembus bidang perbatasan. Lebih tepatnya, sebagian besar dari komponen itu akan menembus bidang perbatasan. Akan tetapi, tidak semua bagian dari cahaya yang datang dengan sudut mendekati garis normal akan menembus bidang perbatasan. Sebagian kecil dari cahaya itu akan terpantul balik di bidang perbatasan. Efek ini dapat menjadi masalah bagi cahaya yang meninggalkan ujung *output* fiber optik, seperti ditunjukkan pada gambar 11. Di titik ini, terjadi perubahan seketika dari indeks bias inti *cladding*. Perubahan lokal pada indeks bias (bukan skala sebenarnya) cahaya datang *core* ke indeks bias udara yang ada di luar fiber optik. Efek yang sama juga terjadi pada arah yang berlawanan. Sebagian kecil dari cahaya yang datang dan hendak memasuki fiber optik akan terpantul balik oleh bidang perbatasan udara-inti.

Seberapa besar proporsi cahaya yang menembus bidang perbatasan dan seberapa besar yang terpantul balik ditentukan oleh perubahan indeks bias di bidang perbatasan (John Crisp dan Barry Elliot, 2005: 60-61).



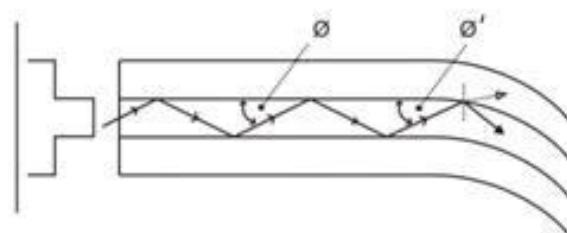
Gambar 11. Pemantulan Fresnel

4) Pelemahan Lekukan Kabel

Ada dua jenis pembengkokan yang menyebabkan rugi-rugi dalam fiber, yaitu pembengkokan-mikro (*microbending*) dan pembengkokan-makro (*macrobending*).

a) Pembengkokan-Makro (*Macrobending Loss*)

Rugi-rugi karena pelengkungan (*bending loss*) ini terjadi pada saat sinar melalui serat optik yang dilengkungkan, dimana sudut datang sinar lebih kecil dari pada sudut kritis sehingga sinar tidak dipantulkan sempurna tapi dibiaskan.

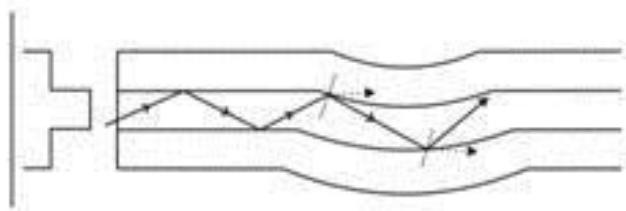


Gambar 12. Rugi-rugi *macrobending* (Daniyati dkk, 2011: 4)

Untuk mengurangi rugi-rugi karena pelengkungan maka harga *Numerical Aperture* dibuat besar.

b) Pembengkokan-Mikro (*Microbending Loss*)

Rugi-rugi *microbending loss* ini termasuk sebagai akibat adanya permukaan yang tidak rata (dalam orde mikro) sebagai akibat proses perbaikan bahan yang kurang sempurna.



Gambar 13. Rugi-rugi *microbending loss*

c) *Coupling*

Rugi-rugi *coupling* ini timbul karena pada saat serat optik dikopel/ disambungkan dengan sumber cahaya atau *photodetektor*. Hal ini dapat terjadi karena energi yang diradiasikan oleh sumber optik dapat dimasukkan ke dalam serat optik. Kualitas kopling dinyatakan dengan efisiensi kopling seperti dinyatakan dengan rumus berikut

$$\mu = \frac{P_t}{P_s} \quad (2-16)$$

dimana :

P_s = daya yang dipancarkan oleh sumber cahaya

P_t = daya yang dimasukkan ke dalam serat optik (Daniyati dkk, 2011:5)

d) *Splicing Loss*

Rugi-rugi ini timbul karena adanya gap antara dua serat optik yang disambung. Hal ini terjadi karena dimensi serat optik yang demikian kecil

sehingga penyambungan menjadi tidak tepat sehingga sinar dari bahan serat optik ke serat optik lainnya tidak dapat dirambatkan seluruhnya. Beberapa kesalahan dalam penyambungan yang dapat menimbulkan rugi-rugi *splicing* antara lain sambungan kedua serat optik membentuk sudut, kedua sumbu berimpit namun masih ada celah diantara keduanya, ada perbedaan ukuran antara kedua serat optik yang disambung. Untuk mengukur besarnya rugi-rugi karena sambungan digunakan rumus :

$$L (dB) = -10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (2-17)$$

dimana :

P_{out} = daya sesudah sambungan

P_{in} = daya sebelum sambungan (Daniyati dkk, 2011: 5)

e) Analisis rugi daya akibat pemolesan resin

Rancangan pemanfaatan rugi daya optis karena lengkungan dan pemolesan sebagai sensor pH. Laser dioda merah sebagai sumber cahaya dipancarkan dan dipandu oleh serat optik. Ketika sinar laser diode melewati *probe* maka akan terjadi rugi daya atau terdapat sinar yang diloloskan. Dapat diperkirakan jumlah *probe* yang terendam dengan larutan akan mempunyai hubungan dengan perubahan rugi daya optis pada serat optik tersebut.

Menurut A. Zaini Arif (2014), secara matematis rugi daya dalam desibel adalah perbandingan logaritmik antara daya masukan (P_{out}) dengan daya keluaran (P_{in}) sehingga dapat di tulis

$$Rugi\ daya = -10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (2-18)$$

Karena yang terukur oleh detektor adalah tegangan (V) dan $P \approx V^2$ maka persamaan diatas menjadi

$$\text{Rugi daya} = -20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (2-19)$$

dimana V_{out} = tegangan keluaran dan V_{in} = tegangan masukan.

2. Resin (Epoksi)

Resin digunakan sebagai sensor pH yang dioleskan pada ujung lengkungan fiber optik (*probe* sensor). Resin atau epoksi merupakan polimer yang mengandung gugus epoksi yakni gugus berisi atom oksigen yang terikat pada dua atom karbon berdampingan. Epoksi adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. yakni resin dan hardener. Resin epoksi dibuat dengan mengkopolimerisasi *bisphenol-A* dan *epiklorohidrin* sehingga diperoleh rantai epoksi dengan bobot molekul rendah. Penambahan *poliamina* atau *poliamida* akan mematangkan (mengeraskan) polimer dengan terbentuknya hubungan silang dan pemanjangan rantai. Epoksi tersebut biasa digunakan dalam optik, serat optik, dan kedokteran gigi. Resin dalam penelitian ini digunakan untuk meng-*coating cladding*, pemilihan bahan resin ini bertujuan untuk mengikat ion H^+ dan OH^- yang ada di dalam kolam pembenihan ikan lele. Sehingga sensor ini mampu membaca perubahan fluktuasi pH air di dalam kolam.

3. Laser diode

Laser diode yang digunakan menggunakan sumber tegangan 5 volt untuk mengaktifkannya. Laser dioda adalah semikonduktor laser yang dipompa secara

elektrik di mana media aktifnya dibentuk oleh *P-N junction* semikonduktor yang sama ditemukan pada LED.

Laser diode bekerja ketika *P-N junction* mendapat arus listrik. Ketika kedua bagian tersebut mendapatkan arus, semikonduktor P mengasilkan *hole*, sedangkan semikonduktor N menghasilkan elektron. *Hole* dan elektron ini akan saling bertemu pada celah di bagian tengah *P-N junction* dan akan melepaskan foton. Pada celah di bagian tengah dari *P-N junction* dilapisi oleh bahan kaca yang mampu memenjarakan foton.

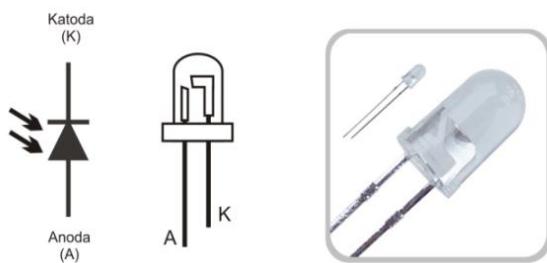
Ketika berada di celah *P-N junction*, foton akan memantul ke atas dan ke bawah pada dinding kaca dan mengakibatkan lepasnya foton lain ke dalam celah tersebut. Foton-foton yang terlepas tersebut akan memiliki fase polarisasi dan arah yang sama dengan foton yang pertama kali terlepas. Pemantulan foton ini akan terus berlanjut hingga seluruh celah dari *P-N junction* terisi penuh oleh foton. Ketika celah pada *P-N junction* penuh, maka sebagian sinar laser akan dilepaskan menuju photodioda yang ada di belakang untuk mengatur tegangan yang dibutuhkan oleh laser diode, sedangkan sebagian sinar laser akan dipancarkan ke bagian depan

(<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/22686/3/Chapter%20II.pdf>).

4. Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor

Rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode ini terdiri dari resistor, kapasitor, dan IC *op-amp* TL072 yang berfungsi sebagai pengkondisi sinyal yang masuk ke rangkaian.

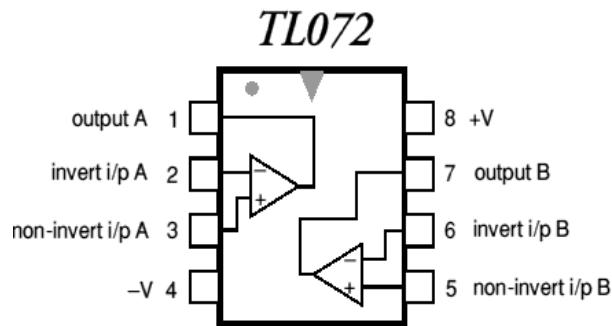
Sensor cahaya yang digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya yang masuk fiber optik adalah fotodiode. Fotodiode berbeda dengan dioda biasa. Jika fotodiode persambungan P-N bertegangan balik disinari, maka arus akan berubah secara linier dengan kenaikan fluks cahaya yang dikenakan pada persambungan tersebut. Berdasarkan hal tersebut dapat dibuat alat untuk mendeteksi intensitas cahaya dengan memanfaatkan karakteristik fotodiode sebagai salah satu alternatif pendekripsi intensitas cahaya (Rahadiyanti Ayu Kholilah, 2013).



Gambar 14. Fotodiode

Pengkondisi sinyal digunakan untuk penggunaan sinyal keluaran sensor sehingga dapat diolah dengan baik pada tahapan berikutnya seperti rangkaian mikrokontroler dan sebagainya. Pengkondisi sinyal dalam sistem instrumentasi dapat berupa rangkaian penguat, penjumlahah, pengurang, *filter*, atau bisa berupa gabungan dari beberapa rangkaian tersebut.

Penguat *Op-amp* merupakan rangkaian terpadu yang dikemas dalam satu IC. Umumnya kaki-kaki IC dari *op-amp* terdiri atas *input* membalik atau *inverting input* (-), *input* tak membalik atau *non-inverting input* (+), *output offset*, dan catu daya. Konfigurasi kaki-kaki IC TL072 yang digunakan sebagai pengkondisi sinyal fotodiode ditunjukkan pada gambar 15.

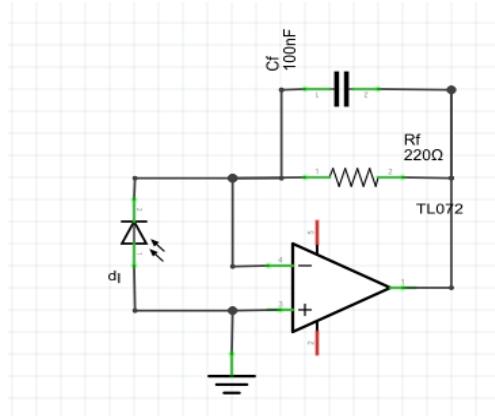


Gambar 15. Konfigurasi pin IC TL072

Rangkaian *Transimpedance Amplifier* (TIA) merupakan jenis rangkaian yang mampu mengubah energi cahaya ke dalam bentuk tegangan. Pada rangkaian ini, fotodiode digunakan untuk menangkap energi cahaya dan mengubahnya ke dalam arus yang lemah. Arus tersebut bersifat proporsional dengan tingkat pencahayaan dari sumber cahaya. Kemudian sebuah *pre-amplifier* akan mengubah arus fotodiode ke dalam bentuk tegangan. *Transimpedansi amplifier* dapat dibedakan menjadi dua mode, yakni mode *photovoltaic* dan mode *fotokonduktif*.

Fotodiode yang dikonfigurasikan ke dalam mode *photovoltaic* memiliki tegangan bias nol (tidak disambungkan dengan sumber tegangan). Dalam mode ini, respon cahaya terhadap arus dimaksimalkan untuk sensitivitas cahaya dan linearitas. Sedangkan untuk fotodiode yang dikonfigurasikan ke dalam mode *fotokonduktif* memiliki tegangan bias balik. Dalam mode ini, fotodiode dioptimalkan untuk respon yang cepat terhadap sumber cahaya. Aplikasi tersebut sangat ideal jika digunakan dalam saluran komunikasi digital

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00692b.pdf>, 2004 dalam Nur Taufik Zamari, 2014:25).



Gambar 16. Rangkaian *Transimpedance Amplifier* sebagai rangkaian pengondisi sinyal fotodiode

Keterangan gambar:

V_{IN} = Tegangan Sumber

I_P = Arus fotodiode

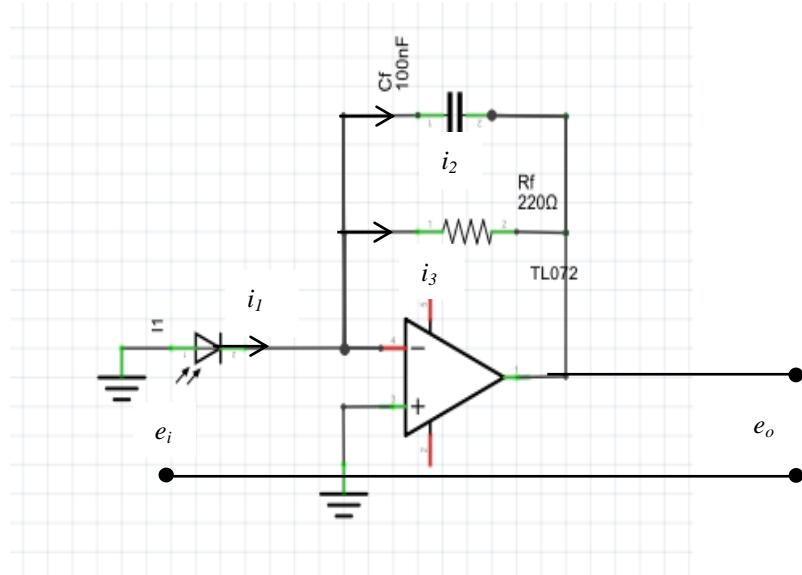
C_F = Kapasitor referensi

R_F = Resistor referensi

V_{OUT} = Tegangan keluaran

Pada Gambar 16 terlihat bahwa fotodiode dikonfigurasikan pada mode *photovoltaic*. Ketika cahaya meninari fotodiode, hal ini menyebabkan arus diode mengalir dari katoda ke anoda. Karena impedansi masukan dari *inverting input op-amp* sangat tinggi, arus yang dihasilkan oleh fotodiode akan mengalir melalui resistor *feedback* (R_F).

Ogata (1996:124) menjelaskan analisis dari sebuah rangkaian listrik yang mempunyai penguat operasional. Seperti halnya rangkaian gambar 16 dapat digambarkan arus-arus yang mengalir dalam rangkaian seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Arus-arus yang mengalir ke dalam rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode

Misalkan dari Gambar 17 ditentukan arus-arus yang mengalir dalam rangkaian sebagai berikut

$$i_1 = e_i - e'; \quad i_2 = C \frac{d(e' - e_o)}{dt}; \quad i_3 = \frac{e' - e_o}{R_F}; \quad (2-20)$$

Arus yang mengalir ke dalam *op-amp* dapat diabaikan, sehingga

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (2-21)$$

Jadi

$$e_i - e' = C \frac{d(e' - e_o)}{dt} + \frac{e' - e_o}{R_F} \quad (2-22)$$

Karena $e' \doteq 0$ sehingga

$$e_i = -C \frac{de_o}{dt} - \frac{e_o}{R_F} \quad (2-23)$$

Dengan memakai transformasi Laplace terhadap persamaan (2-23) dan menganggap keadaan awal sama dengan nol, diperoleh

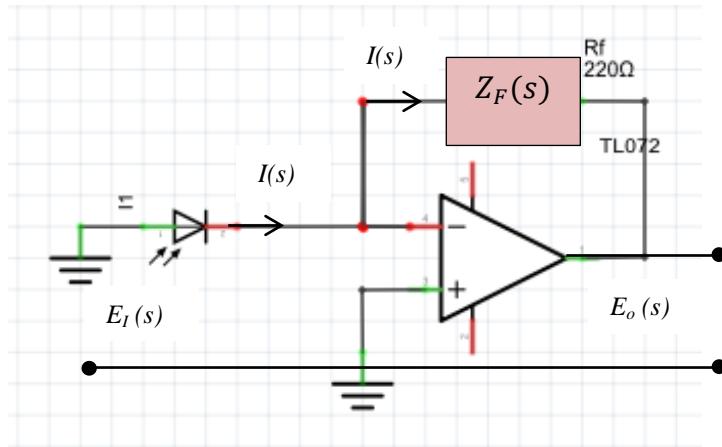
$$E_i(s) = -\frac{R_F Cs + 1}{R_F} E_o(s) \quad (2-24)$$

Atau dapat dituliskan

$$\frac{E_0(s)}{E_i(s)} = -\frac{R_F}{R_F Cs + 1} \quad (2-25)$$

Menggunakan pendekatan impedansi dapat diterapkan terhadap rangkaian op-amp untuk memperoleh fungsi alihnya. Untuk rangkaian yang ditunjukkan dalam Gambar 17, diperoleh

$$E_i(s) = I(s); \quad E_o(s) = -Z_F(s)I(s) \quad (2-26)$$



Gambar 18. Rangkaian penguat operasional

Jadi, fungsi transfer untuk rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode adalah

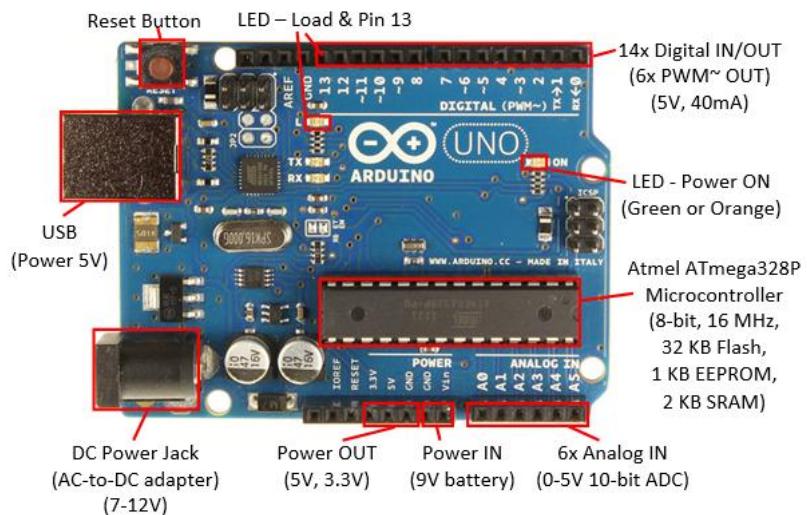
$$\frac{E_0(s)}{E_i(s)} = -Z_F(s) \quad (2-27)$$

5. Mikrokontroler Arduino

Untuk mengatasi masalah pada pengendalian pH air kolam pada pembelahan ikan lele yakni dilakukan cara mengaktifkan pompa larutan asam-basa pada kolam ikan menggunakan alat kendali berupa mikrokontroler Arduino.

1. Arduino UNO

Arduino UNO adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino UNO memiliki 14 pin digital dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP *header*, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *Board* Arduino UNO ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau adaptor AC ke DC atau memberikan tegangan DC dari baterai untuk menjalankannya. Arduino UNO menggunakan Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter *USB-to-serial* berbeda dengan *board* sebelumnya yang menggunakan *chip* FTDI *driver USB-to-serial* (Sumber: <http://ilearning.me/sample-page-162/arduino/pengertian-arduino-uno/>).



Gambar 19. Arduino UNO

(Sumber:

<https://www.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/arduino/Arduino.html>)

Tabel 4. Spesifikasi Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recommended)	(7 – 12) V
Input Voltage (limit)	(6 – 20) V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

(Sumber: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>)

2. Catu Daya dan Pin Tegangan Arduino UNO

Arduino UNO dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Catu daya eksternal dapat berasal baik dari ke adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan ke soket *POWER* pada Arduino UNO sedangkan jika menggunakan baterai maka ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam *GND* dan *Vin* pin *header* dari konektor *POWER*.

Kebutuhan daya yang disarankan untuk *board* Arduino UNO adalah 7 sampai 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 V kemungkinan pin 5 V UNO dapat

beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12 V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak *board UNO*.

Pin-pin tegangan pada Arduino UNO adalah:

- a. *Vin* adalah pin untuk sumber tegangan masuk ke *board* Arduino UNO ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai pengganti dari 5 V koneksi USB atau sumber daya lainnya).
- b. 5V adalah pin yang menyediakan tegangan sebesar 5 V berasal dari regulator Arduino UNO.
- c. 3v3 adalah pin yang menyediakan tegangan sebesar 3,3 V berasal dari regulator Arduino UNO.
- d. *GND* adalah pin *ground*.

3. Pin Masukan dan Keluaran Arduino UNO

Masing-masing dari 14 pin digital di UNO dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode ()*, *digitalWrite ()*, dan *digitalRead ()*, setiap pin beroperasi dengan tegangan 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal *pull-up* resistor (secara *default* terputus) dari 20-50 kOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

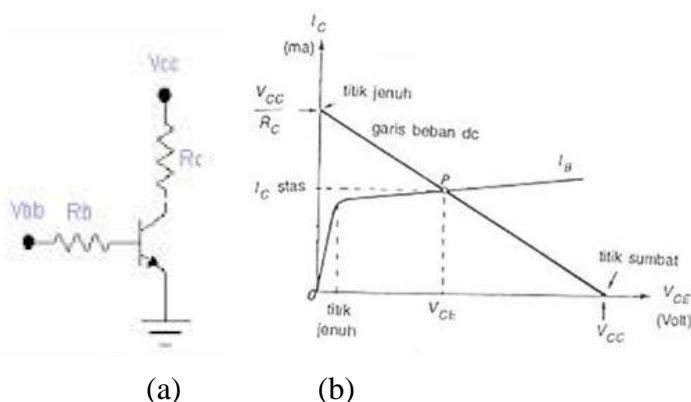
- a. *Serial*: pin 0 (RX) dan 1 (TX), digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data serial.
- b. *Eksternal Interrupt*: pin 2 dan pin 3, pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu *interrupt* pada nilai yang rendah, dengan batasan tepi naik atau turun, atau saat terjadi perubahan nilai.

- c. *Pulse Width Modulation (PWM)*: pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11, menyediakan *output PWM* 8-bit dengan fungsi *analogWrite ()*.
- d. *Serial Peripheral Interface (SPI)*: pin 10 (SS), 11 (Mosi), 12 (MISO), 13 (SCK), pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI library*.
- e. *LED*: pin 13, terdapat *built-in LED* terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai nilai *HIGH* maka LED menyala, ketika pin bernilai *LOW* maka LED mati.

Arduino UNO memiliki 6 masukan analog yang berlabel A0 sampai dengan A5, setiap label menyediakan resolusi 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

- a. *Inter Integrated Circuit (I2C)*: pin A4 (SDA) dan A5 (SCL), digunakan untuk komunikasi *Two Wire Interface (TWI)* menggunakan *Wire Library*.
- b. *AREF*: pin yang mengukur tegangan referensi dari 0 sampai 5V untuk *input analog*. Digunakan fungsi *analogReference ()*.
- c. *Reset* : pin ini digunakan untuk me-reset mikrokontroler.

6. Transistor



Gambar 20. (a) Saklar transistor (b) Garis beban DC transistor

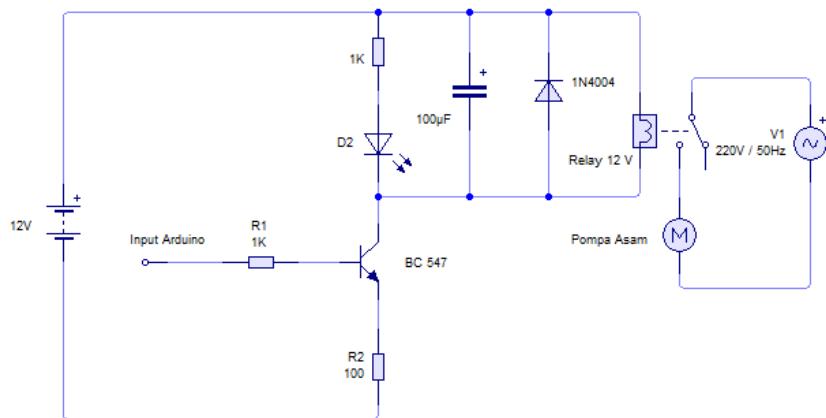
Berdasarkan Gambar 20 diketahui bahwa transistor dapat bekerja pada dua keadaan yakni tertutup dan terbuka. Penggunaan transistor sebagai saklar artinya mengoperasikan transistor pada salah satu kondisi yaitu antara saturasi atau *cut-off*. Jika sebuah transistor berada dalam keadaan saturasi maka transistor berlaku seperti saklar tertutup antara kolektor dan emitter. Jika transistor *cut off* transistor berlaku seperti saklar terbuka.

Gambar 20 menunjukkan penggunaan sebuah transistor sebagai saklar beserta garis beban DC. Pengaturan *ON-OFF* transistor yakni dengan mengatur besar tegangan pada kaki basis transistor tersebut. Jika arus basis lebih besar atau sama dengan arus basis saat saturasi, titik kerja transistor berada pada ujung atas garis beban DC, kondisi ini berlaku sebagai saklar tertutup. Arus basis pada kondisi saklar tertutup dapat ditentukan sebagai berikut

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (2-28)$$

Sebaliknya jika arus basis nol, titik kerja transistor berada pada titik P atau pada titik jenuhnya karena arus kolektor tidak bertambah. Kondisi ini berlaku sebagai saklar terbuka. Arus basis pada kondisi saklar terbuka dapat ditentukan sebagai berikut

$$I_B = 0 \quad (2-29)$$



Gambar 21. Rangkaian transistor sebagai saklar

Berdasarkan Gambar 21 diketahui transistor mempunyai dua keadaan, yakni transistor bersaturasi dan *cut off*. Untuk membuat transistor menghantarkan arus, maka pada masukan basis harus diberi tegangan yang harus lebih besar dari V_{BE} (0,3 V untuk *Germanium* dan 0,7 V untuk *Silicon*). Agar transistor bersaturasi maka dibutuhkan arus basis (I_B) yang mengendalikan kolektor yang akan mengendalikan *relay*.

Arus juga mengalir dari emitor ke kolektor tanpa hambatan. Besarnya arus yang mengalir adalah

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (2-30)$$

Karena $V_{CE} \approx 0$, sehingga

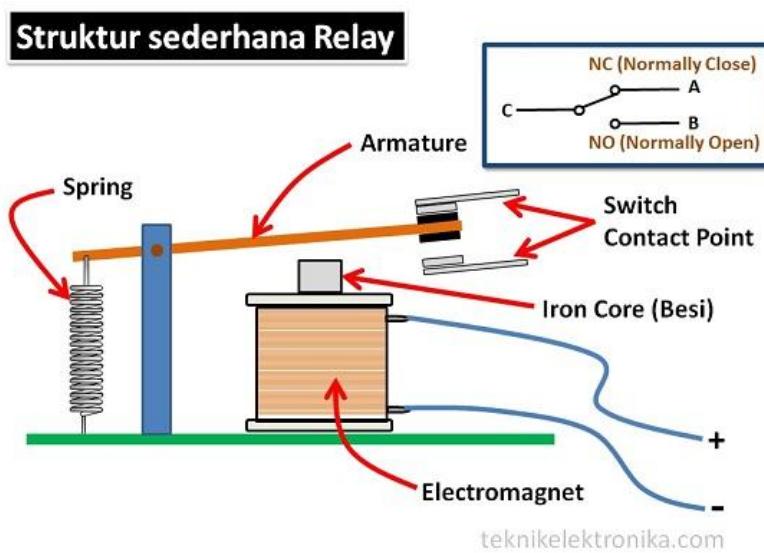
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (2-31)$$

Sedangkan untuk transistor berada pada keadaan *cut off* karena pada daerah ini transistor tidak dapat menghantarkan arus dari emitor ke kolektor. Pada keadaan ini transistor dapat dianalogikan sebagai saklar terbuka pada hubungan

emitor-kolektor. Dengan membuat $I_B = 0$ maka transistor dalam keadaan *cut off* sehingga tidak ada arus yang mengalir dari emitor ke kolektor $I_C = 0$, sehingga besarnya tegangan antara kolektor dan emitor pada keadaan ini adalah $V_{CE} = V_{CC}$.

7. Relay

Relay adalah saklar yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari 2 bagian utama yakni elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi (<http://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>).



Gambar 22. Rangkaian dasar *relay*

Suatu arus kecil pada nilai tegangan rendah yang dikenakan pada sebuah solenoid (*electromagnet*) menghasilkan medan magnet, yaitu elektromagnet. Apabila arusnya cukup tinggi, *electromagnet* akan menarik jangkar (*armature*) kearah potongan kutub (*iron core*) sehingga mengoperasikan kontak-kontak *relay*

(*switch* dan *contact poin*). Arus yang lebih besar lagi selanjutnya akan dapat dialirkan. Ketika arus yang mengalir melewati solenoid jatuh di bawah level kritisnya, maka sifat pegas alami yang dimiliki oleh *strip* dimana kontak-kontaknya dipasang akan menekan jangkar kembali ke posisi *off*. Jadi jika sinyal *error* diberikan pada *relay*, maka *relay*-nya akan terus bekerja saat *error* mencapai suatu besaran tertentu dan selanjutnya dapat digunakan untuk mengalirkan arus yang lebih besar pada aktuator (W. Bolton, 2006:105-106).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini melalui dua tahap yakni pembuatan sensor pH menggunakan fiber optik *single mode* dan perancangan sistem kontrol pH air kolam pemberian ikan lele. Proses perancangan alat, pengambilan data karakteristik sensor, dan pemasangan sistem kontrol pH air pada kolam pemberian ikan lele dilakukan dari bulan November 2015 hingga Agustus 2016.

Pengambilan data karakteristik sensor dilaksanakan di Laboratorium Gelombang Fisika FMIPA UNY dan Laboratorium Spektroskopi Fisika FMIPA UNY. Sedangkan pengambilan sampel larutan pH dan data pH menggunakan fiber optik *single mode* dilakukan di kost jalan Perkutut No. 9 Demangan Baru, Catur Tunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta. Untuk pengambilan data pengujian sistem kontrol pH pada kolam pemberian ikan lele dilakukan di BPTKP Cangkringan, Yogyakarta selama kurang lebih 20 hari.

B. Variabel penelitian

1. Variabel bebas : pH air kolam pemberian ikan lele
2. Variabel terikat : pH air kolam pemberian ikan lele pada rentang 6 sampai 9.
3. Variabel kontrol : larutan asam-basa yang masuk ke kolam dibuat dengan pH larutan asam 6,5 dan pH larutan basa 9.

C. Alat-alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bak fiber berukuran 2x1x1 m
2. pH meter *type* Pen PH-009 (I)
3. Multimeter digital
4. Arduino UNO
5. Modul SD *Card*
6. Mikrometer sekrup
7. *Fiber Optic single mode type* SH-4001-1,3
8. Isi pulpen bekas
9. Jarum suntik 1 mm
10. Rangkaian catu daya, dengan komponen yakni:

a) PCB	e) Resistor
b) Trafo 1 A	f) IC Regulator 7805,7809,7812,
c) Diode 1N4002	7905,7909, dan 7912
d) Kapasitor	g) Kabel penghubung
11. Rangkaian sensor photodioda, dengan komponen yakni:

a) IC TL072	d) Fotodioda
b) Kapasitor 100 nF	e) Laser 5 V
c) Resistor 220 ohm	
12. Rangkaian *relay*

a) <i>Relay</i> AC 2 buah	c) Resistor 1 Kohm, 100 ohm
b) Transistor BC548	d) Kabel – kabel penghubung

D. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

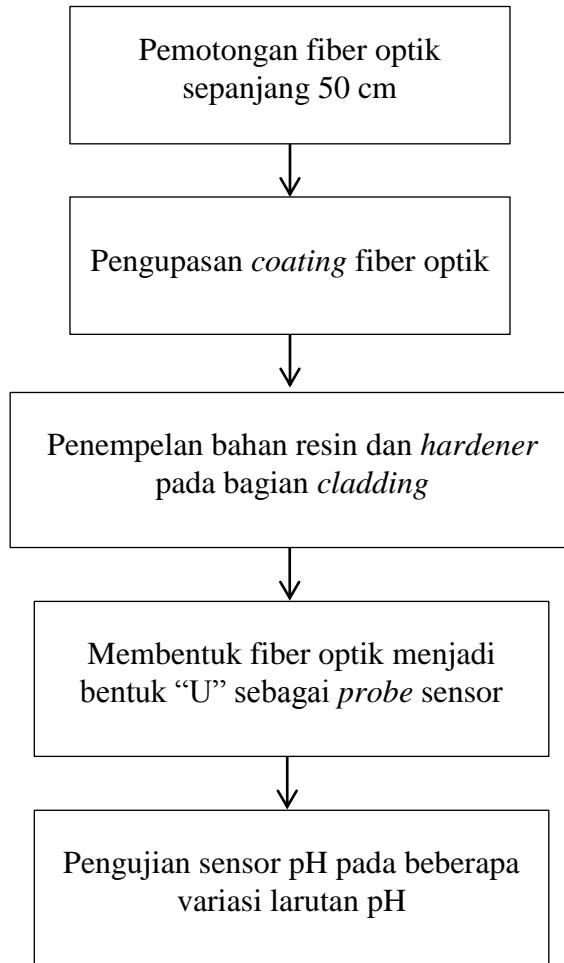
1. Aseton (pembersih cat kuku) *merk* Viva
2. Resin + *hardener* *merk* Avian
3. Akuades
4. NaOH 2M
5. Asam Cuka (CH_3COOH)

E. Teknik Pengambilan Data

1. Perancangan dan pembuatan Sensor pH

Tahap ini merupakan tahap pembuatan sensor pH. Fiber optik *single mode* tipe SH-4001-1,3 digunakan sebagai sensor pH pada kolam benih ikan lele. Pembuatan sensor pH menggunakan fiber optik ini merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Nursukmasari Qomaria dan Endarko yang merancang fiber optik *multimode* tipe FD-620-10 sebagai sensor pH.

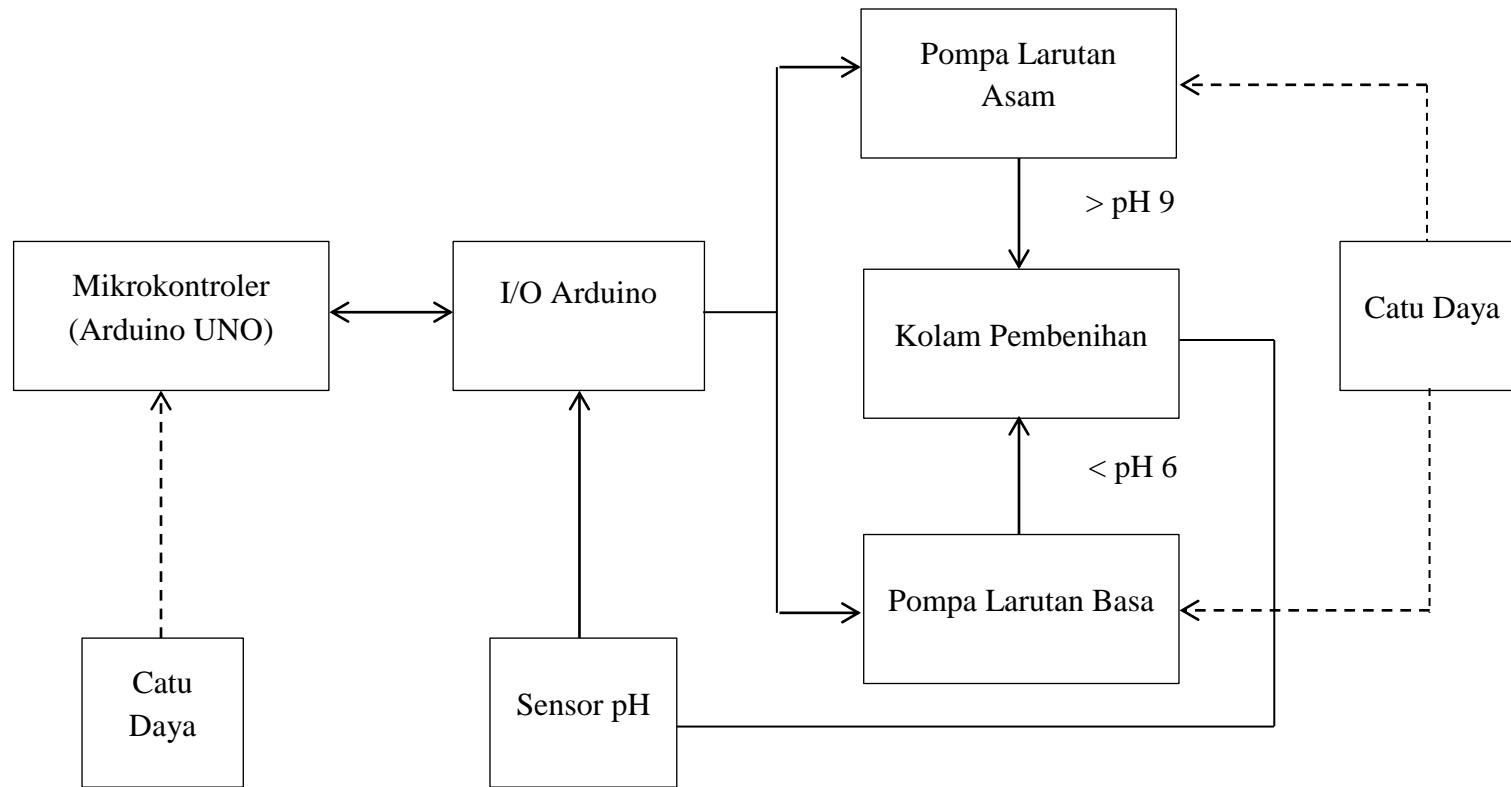
Prosedur kerjanya meliputi pembuatan variasi larutan pH menggunakan CH_3COOH (sebagai larutan asam) dan NaOH (sebagai larutan basa), pembuatan rangkaian catu daya dan rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode, pengupasan *cladding*, pemberian *coating* dengan bahan campuran resin dan *hardener* pada fiber optik, dan mengkarakteristik sensor pH. Diagram sistem pembuatan sensor pH ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Blok diagram pembuatan sensor pH

2. Perancangan sistem kontrol pH air kolam pemberian ikan lele

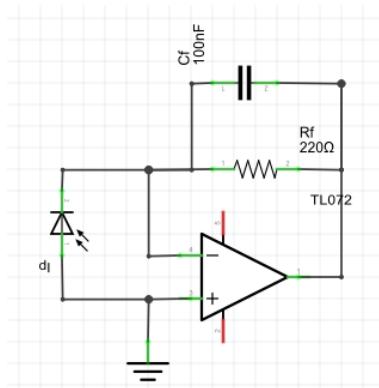
- Perancangan sistem kontrol pH air kolam pemberian secara keseluruhan di ilustrasikan pada gambar 24.



Gambar 24. Rancangan alat pengendali pH air kolam

3. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal

Rangkaian sensor pH dengan fiber optik ini menggunakan fotodiode sebagai detektor intensitas cahaya. Intensitas cahaya yang dibaca oleh fotodiode diperoleh dari cahaya laser diode yang masuk ke dalam fiber optik. Perubahan intensitas dari fotodiode akan dikonversi ke nilai tegangan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal, kemudian nilai tegangan tersebut akan dikalibrasi menjadi nilai pH menggunakan software *Microsoft Excel*. Rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode ditunjukkan pada Gambar 25



Gambar 25. Rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode

Rangkaian penkondisi sinyal fotodiode menggunakan IC *Op-Amp* TL072. Pemilihan IC tipe ini telah dilakukan pengujian dengan hasil perbandingan nilai tegangan saat keadaan gelap dan terang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan tipe IC dengan kondisi gelap-terang

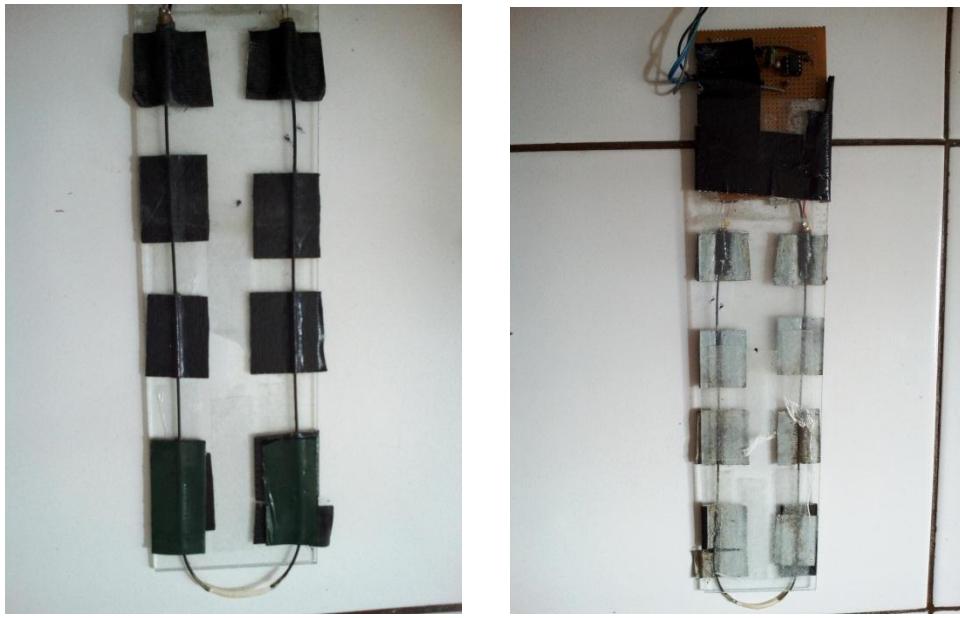
No.	Tipe IC op-amp	Kondisi Gelap	Kondisi Terang
1.	TL 072	3,87 Volt	185,0 mV
2.	UA 741	2,546 Volt	0,465 Volt
3.	LM 358	3,166 Volt	138,5 mV
4.	LM 324	3,188 Volt	36,9 mV

Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa untuk IC TL072 memiliki nilai tegangan dengan perbedaan yang cukup tinggi sehingga cukup baik jika digunakan sebagai IC untuk rangkaian pengkondisi sinyal.

Tegangan *output* dari rangkaian pengkondisi sinyal kemudian dibandingkan dengan *set point* yang telah diatur menggunakan program. Program untuk membandingkan nilai tegangan *output* dan *set point* dimasukkan ke dalam mikrokontroler Arduino UNO. Besarnya *set point* diperoleh dari hasil pengujian karakteristik sensor pH menggunakan variasi nilai pH terhadap tegangan, dan berdasarkan kajian teori maka dipilih nilai pH berkisar antara 6 sampai 9.

4. Perancangan rangkaian sensor pH sebagai tegangan *input* (V_{in})

Rangkaian sensor pH yang digunakan adalah fiber optik berbentuk “U” dengan diameter *bending* sebesar 5 cm. Tegangan *output* dari sensor pH akan mengalami fluktuasi sesuai dengan pH air kolam yang terdeteksi. Kemudian tegangan *output* sensor pH berfungsi sebagai tegangan *input* (V_{in}) yang akan dibandingkan dengan nilai *set point* pada mikrokontroler Arduino untuk mengendalikan *relay*.



Gambar 26. Perancangan rangkaian sensor pH dan rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode

5. Perancangan rangkaian saklar transistor

Rangkaian saklar transistor digunakan untuk mengendalikan *relay* pompa asam-basa dengan sumber tegangan dari catu daya berupa tegangan dan arus DC. Ketika transistor sebagai saklar, maka terdapat dua keadaan yakni transistor mengalami saturasi atau *cut-off*. Apabila kaki basis mendapat tegangan $\geq 0,7$ V maka kaki basis akan mengalirkan arus dari kaki kolektor ke emitor sehingga transistor mencapai keadaan saturasi dan menyebabkan *relay ON*. Sedangkan apabila kaki basis mendapatkan tegangan $\leq 0,7$ V maka kaki basis tidak dapat mengalirkan arus dari kaki kolektor ke emitor sehingga transistor berada pada keadaan *cut-off* dan menyebabkan *relay OFF*.

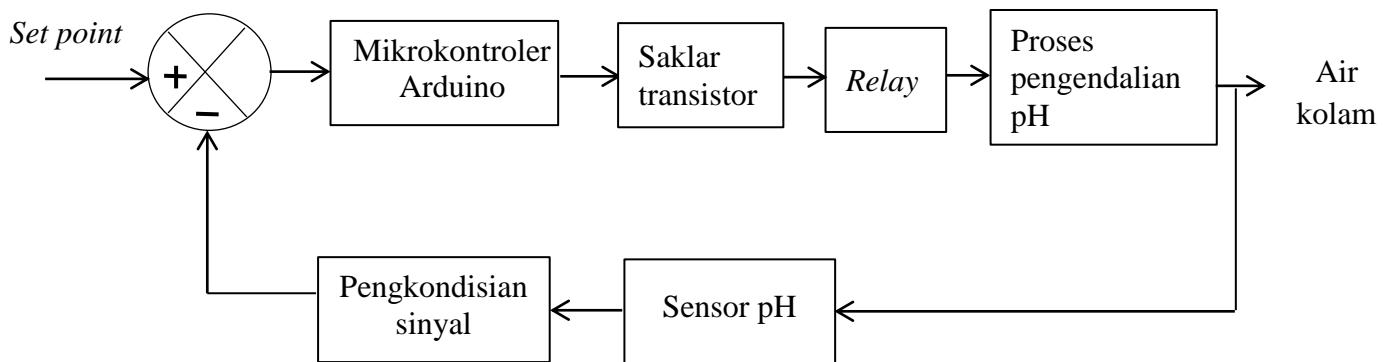
6. Perancangan *driver relay*

Pada rangkaian *driver relay* terdapat transistor yang berfungsi sebagai *switch* untuk mengendalikan *relay*. Ketika *relay ON*, maka kondisi kontaknya terbuka kemudian tuas kontaknya akan tertarik dan tertutup, sehingga arus

terputus atau mengalir ke beban. Rangkaian *driver relay* selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 21.

7. Prinsip kerja rangkaian sistem kontrol pH

Sistem kerja keseluruhan sistem pengendalian pH pada kolam ikan lele ditunjukkan pada Gambar 27.



Gambar 27. Diagram blok sistem pengendali pH keseluruhan

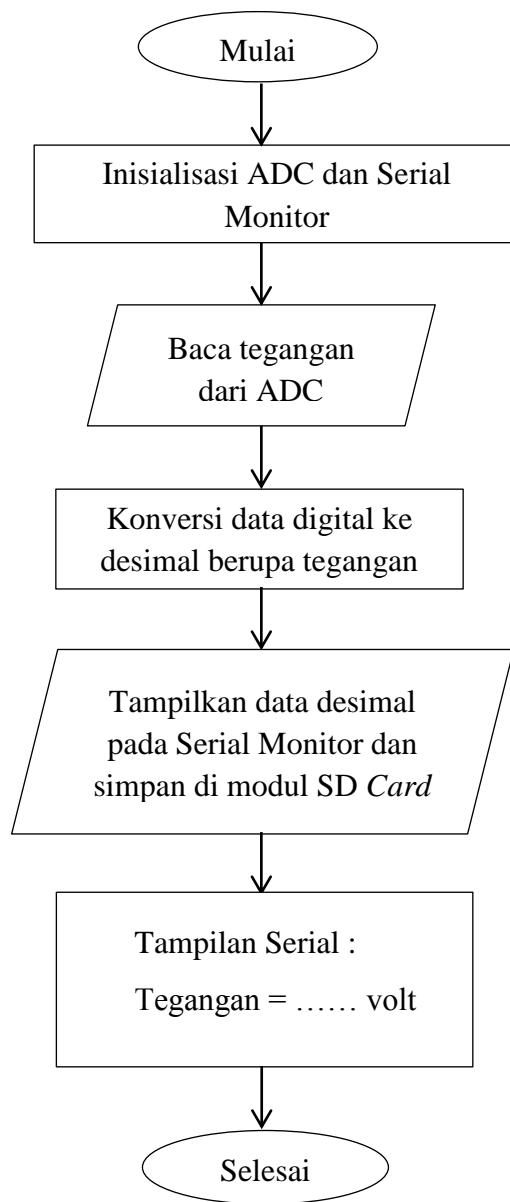
Berdasarkan Gambar 27 terlihat bahwa terdapat dua masukan yakni dari *set point* yang telah diatur dan sinyal *feedback* dari sensor pH. Besarnya tegangan *input* yang berasal dari tegangan *output* sensor pH dapat berubah-ubah sesuai dengan keadaan pH air kolam. Dua masukan tegangan pada mikrokontroler kemudian dikomparator sehingga menghasilkan sinyal *error*. Sinyal inilah yang akan membuat transistor berperan sebagai saklar yang apabila transistor mencapai titik saturasi maka *relay ON* atau mencapai titik *cut-off* sehingga *relay* akan *OFF*.

Tegangan *output* dari sensor pH ini yang mempengaruhi pengendalian *relay*. Ketika tegangan *output* sensor pH mengenai kaki basis sebesar 0,77 V

membuat transistor mencapai titik saturasi sehingga saklar transistor mengalirkan arus listrik ke pompa asam-basa. Selanjutnya apabila tegangan *output* sensor pH mengenai kaki basis sebesar $-0,77$ V maka transistor mencapai titik *cut-off* sehingga saklar transistor tidak dapat mengalirkan arus listrik ke pompa asam-basa.

8. Perancangan program Arduino

Untuk mengaktifkan *driver relay* supaya pompa larutan asam-basa dapat bekerja sesuai dengan pH air kolam yang dikehendaki yakni pH 6 sampai 9 maka diperlukan suatu program untuk menjalankan perintah tersebut. Diagram alir dari pembuatan program Arduino ditunjukkan pada Gambar 28.



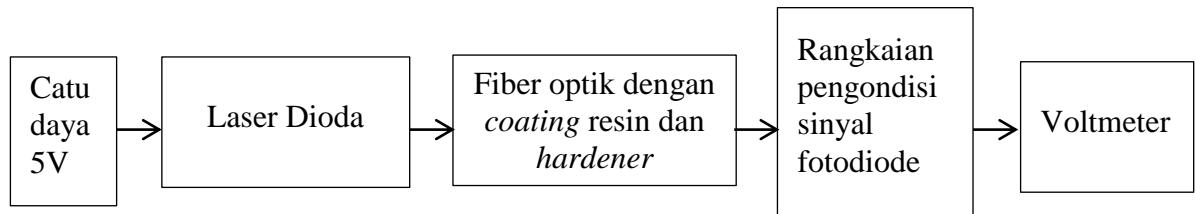
Gambar 28. *Flowchart* program Arduino

9. Pengujian Alat

a) Pengujian sensor pH

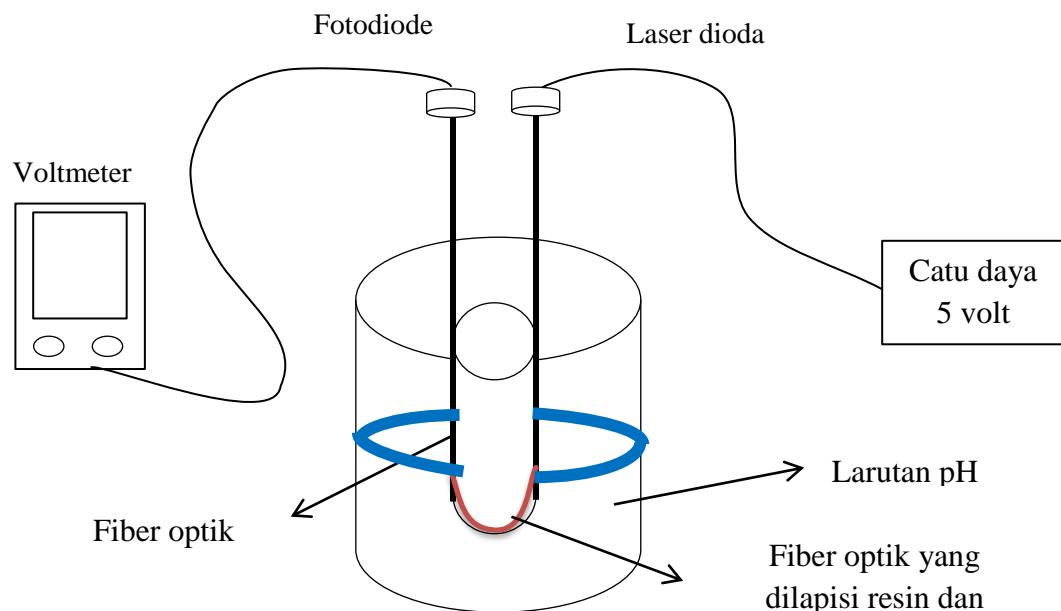
Cahaya yang dipancarkan oleh Laser dioda berasal dari catu daya 5 volt, kemudian cahaya tersebut melewati fiber optik yang telah di *coating* resin dan *hardener*. Selanjutnya fiber optik tersebut dicelupkan ke dalam larutan pH

yang telah dibuat variasi mulai dari 3 sampai dengan 8. Cahaya yang melewati fiber optik akan terabsorbsi oleh larutan pH tersebut lalu sebagian cahaya akan diterima oleh sensor fotodiode yang kemudian diteruskan akan ditampilkan ke voltmeter. Diagram blok sistem pengujian sensor pH menggunakan fiber optik ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29. Diagram blok pengujian karakteristik sensor pH

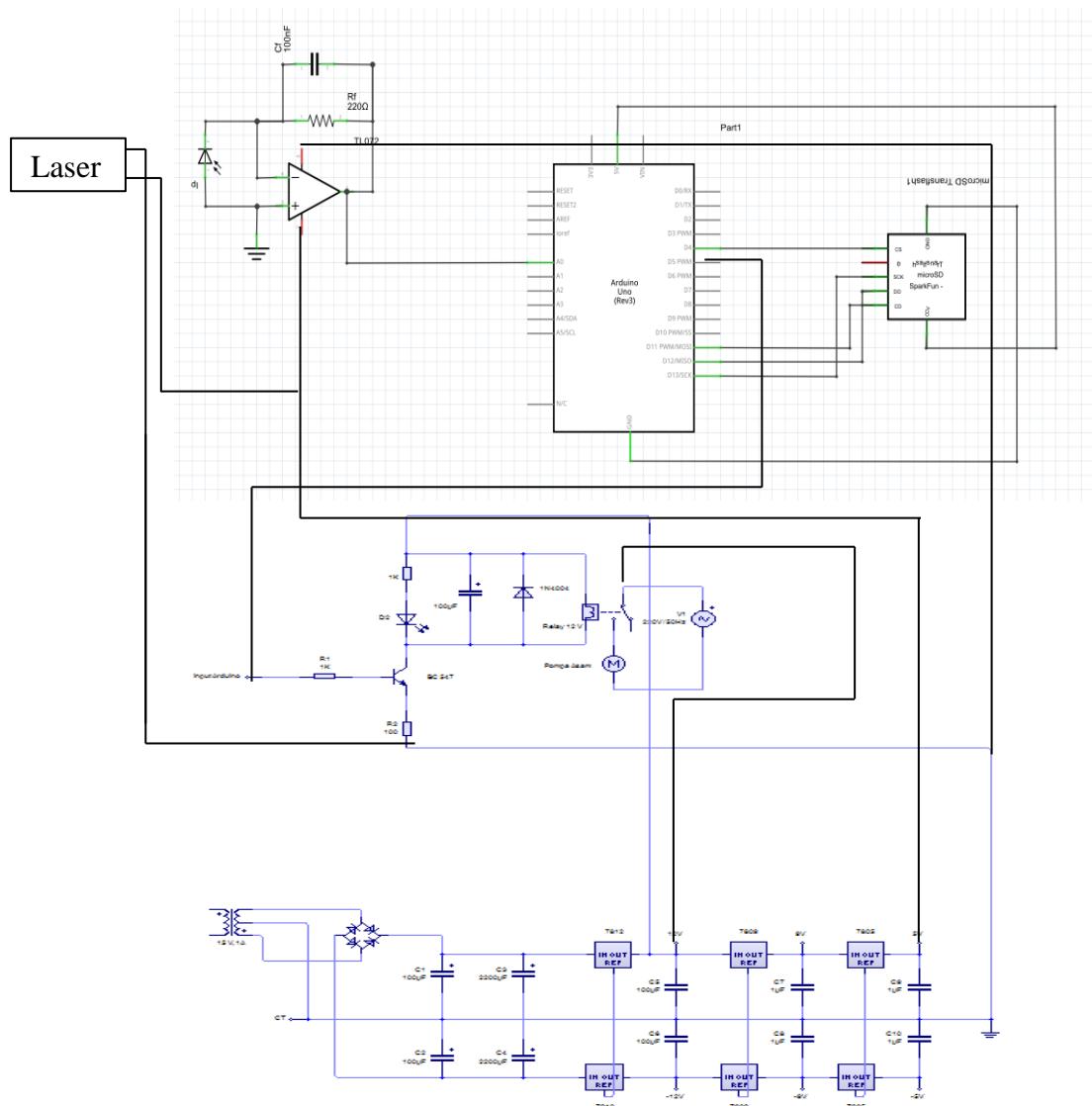
Sedangkan untuk skema rancangan sistem dalam mengkarakteristik sensor pH fiber optik ditunjukkan pada Gambar 30.



Gambar 30. Pengujian karakteristik sensor pH

b) Menguji rangkaian sistem kontrol pH

Pengujian sensor pH bertujuan untuk mengetahui sensitivitas sensor pH yang telah dirancang dari hasil *fitting* grafik. Hasil pengujian sensitivitas sesnsor pH dapat digunakan untuk mengkonversi nilai tegangan ke nilai pH, sehingga selanjutnya memilih *set point* yang dikehendaki yakni pH 6 sampai 9. Skema rangkaian keseluruhan sistem kontrol pH air kolam ditunjukkan pada Gambar 31.



Gambar 31. Skema rangkaian keseluruhan sistem kontrol pH air kolam pemberian ikan lele

c) Menguji kestabilan rangkaian sistem kontrol pH

Untuk mengetahui kerja dari sistem kontrol pH yang dibuat telah sesuai dengan keinginan atau belum, maka perlu dilakukan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan. Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut

- 1) Memasang sensor pH pada tengah kolam pemberian ikan lele.
- 2) Mengaktifkan catu daya sebagai sumber tegangan rangkaian dan mikrokontroler Arduino sebagai komparator antara *set point* dan nilai yang terbaca oleh sensor pH.
- 3) Membiarkan sensor pH terpasang tanpa adanya kontrol selama satu hari untuk mengetahui kondisi pH air kolam. Selain itu, agar benih ikan lele terbiasa dan tidak stress terhadap gangguan pemasangan sensor pH.
- 4) Membuat larutan asam dari rendaman daun ketapang dengan pH 6,5 dan larutan basa menggunakan larutan kapur dolomit dengan pH 9, kemudian meletakkan selang keluaran larutan asam-basa di dalam kolam.
- 5) Mengaktifkan semua rangkaian pada kotak alat dan membiarkan data tersimpan pada SD *card* selama beberapa hari.

F. Teknik Analisis Data

Langkah-langkah menganalisis data dalam penelitian ini adalah

1. Mengukur sensitivitas sensor pH dengan membandingkan pH yang terukur pada voltmeter dan pH meter digital.

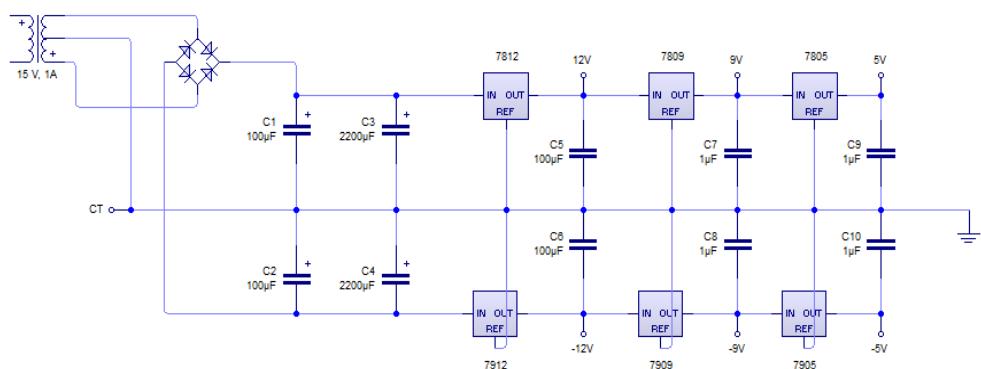
2. Mencari nilai sensitivitas sensor pH menggunakan analisis gradien garis dari grafik hasil kalibrasi sensor pH, sehingga diperoleh *set point* dari sensor pH.
3. Menganalisis fungsi transfer rangkaian sistem kontrol pH yang terdiri dari sensor pH, mikrokontroler Arduino sebagai komparator, rangkaian pensaklaran, dan rangkaian *driver relay* sesuai dengan blok sistem masing-masing rangkaian.
4. Membandingkan data hasil pengukuran fluktuasi pH dengan adanya sistem kontrol pH dan tanpa sistem kontrol pH.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Catu Daya dan *Relay*

Rangkaian catu daya yang digunakan antara lain rangkaian penyearah, trafo CT, dan 6 IC regulator (yang digunakan untuk tegangan positif dan negatif). Catu daya digunakan sebagai sumber tegangan rangkaian sensor pH dan *driver relay* dengan skema rangkaian ditunjukkan pada Gambar 32.



Gambar 32. Rangkaian catu daya

Susunan rangkaian catu daya pada Gambar 32 menghasilkan tegangan keluaran yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran tegangan keluaran rangkaian catu daya

No.	IC Regulator	Tegangan positif (V)	Tegangan negatif (V)
1.	7812/7912	+12,14	-12,13
2.	7809/7909	+8,86	-9,25
3.	7805/7905	+5,00	-4,98

Pengujian rangkaian *driver relay* bertujuan untuk mengetahui kondisi *relay* apakah sesuai dengan perintah dari mikrokontroler Arduino.

Tabel 7. Hasil pengukuran saklar transistor (pompa asam)

No	Pengukuran	Pompa Asam (ON)	Pompa Asam (OFF)
1	V_{BE}	0,758 V	201,3 mV
2	V_{CE}	88,1 mV	11,67 V
3	i_B	0,49 mA	-0,15 mA
5	Keterangan	<i>Relay ON</i>	<i>Relay OFF</i>

Tabel 8. Hasil pengukuran saklar transistor (pompa basa)

No	Pengukuran	Pompa Basa (ON)	Pompa Basa (OFF)
1	V_{BE}	0,726 V	15,8 mV
2	V_{CE}	120,8 mV	12,12 V
3	i_B	0,19 mA	-0,1 mA
5	Keterangan	<i>Relay ON</i>	<i>Relay OFF</i>

B. Analisis Rancang Bangun Alat

Pengujian pH dilakukan dengan mencelupkan bagian fiber optik yang telah di *coating* resin dan *hardener* ke dalam variasi larutan pH. Kemudian pada ujung fiber optik dipasang fotodiode sebagai detektor intensitas cahaya yang keluar dari fiber optik dengan tegangan *output* fotodiode yang dikonversi menjadi nilai pH.

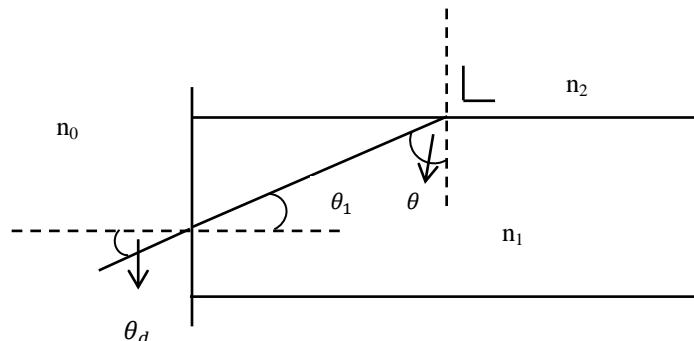
Pertama dilakukan pengujian sensor pH menggunakan fiber optik yang telah di *coating* menggunakan resin + *hardener* dengan bagian *cladding* tidak dikupas. Pemilihan untuk tidak mengkupas bagian *cladding* fiber optik telah diuji coba, karena dengan tidak dikupasnya bagian *cladding* akibatnya tidak ada cahaya yang memancar keluar dari fiber optik (cahaya masih terkurung dalam fiber optik) sehingga rugi daya fiber optiknya tidak sebesar jika *cladding*-nya dikupas.

Alat pengontrolan pH kolam pemberian ikan lele ini dirancang menggunakan beberapa rangkaian berdasarkan karakteristiknya untuk mengkondisikan kondisi pH kolam dengan rentang pH 6 sampai 9.

1. Proses perambatan cahaya di dalam fiber optik berbentuk “U” dengan diameter lengkungan 5 cm.

Bahan *core* yang digunakan adalah *Polymethyl-Methacrylate Resin* dengan diameter 940 μm , sedangkan bahan *cladding*-nya *Fluorinated Polymer* dengan diameter 1000 μm . Indeks bias *core* sebesar 1,49 dan *cladding* sebesar 1,41.

Perambatan cahaya di dalam fiber optik dimulai dengan mengetahui nilai apertur numerik (NA). Nilai NA bertujuan untuk mengetahui kemampuan fiber optik dalam mengumpulkan atau memperangkap cahaya. Nilai apertur numerik dari fiber optik yang digunakan diperoleh dari persamaan berikut



$$NA = n_0 \sin \theta_d = n_1 \sin \theta_1 \quad (4-1)$$

Dimana: $\sin \theta_1 = \cos \theta$ dan $\cos \theta = (\cos^{\frac{1}{2}} \theta)^2$

$$NA = n_1 \left(\cos^{\frac{1}{2}} \theta \right)^2 = n_1 (1 - (\sin^{\frac{1}{2}} \theta))^2 \quad (4-2)$$

Dengan $n_1 \sin \theta = n_2 \sin 90^\circ$ sehingga $\sin \theta = \frac{n_1}{n_2}$

$$NA = n_1 \left(1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4-3)$$

Jadi, diperoleh $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2} = \sqrt{1,49^2 - 1,41^2} = 0,48 \quad (4-4)$$

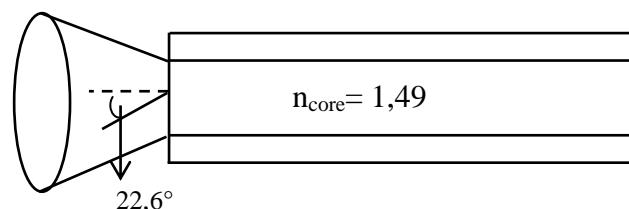
Karena sudut penerimaan juga mengindikasikan seberapa banyaknya intensitas cahaya yang dapat diterima masuk ke dalam serat optik. Maka terdapat suatu hubungan antara apertur numerik dan sudut penerimaan, karena pada dasarnya dua besaran ini mengukur dua hal yang sama. Besarnya sudut penerimaan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\text{sudut penerimaan} = \arcsin (NA)$$

$$\text{sudut penerimaan} = \arcsin (0,48)$$

$$\text{sudut penerimaan} = 28,8^\circ \quad (4-5)$$

Dari hasil perhitungan sudut penerimaan maka diuji coba dengan membuat sudut penerimaan maksimal 28° hingga 0° untuk mendapatkan nilai sudut kritis, sehingga dapat diketahui pemilihan sudut datang dari udara ke *core* saat fiber optik berada pada keadaan lurus dan pemantulan dapat terjadi secara sempurna sehingga cahaya hanya terkurung di dalam fiber optik.



Gambar 33. Pemilihan sudut berada pada kisaran sudut penerimaan

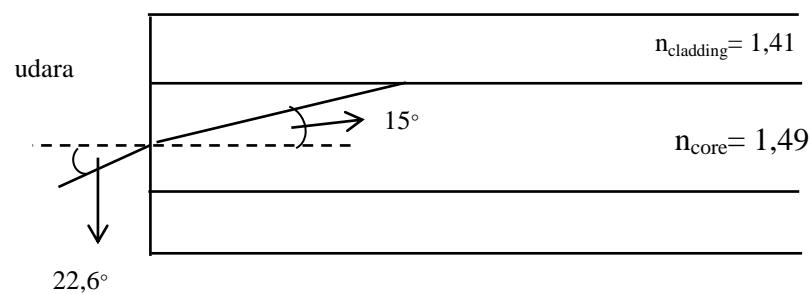
Menggunakan Hukum Snellius untuk menentukan sudut yang memasuki *core*.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (4-6)$$

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}}$$

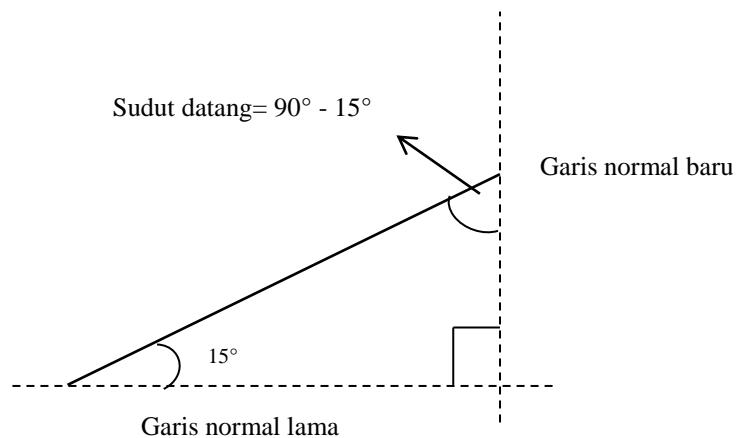
$$1 \sin 22,6^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}}$$

$$\theta_{\text{core}} = 15^\circ$$



Gambar 34. Cahaya memasuki *core*

Cahaya yang memasuki *core* akan terus bergerak hingga tiba pada bidang perbatasan antara *core* dan *cladding*.

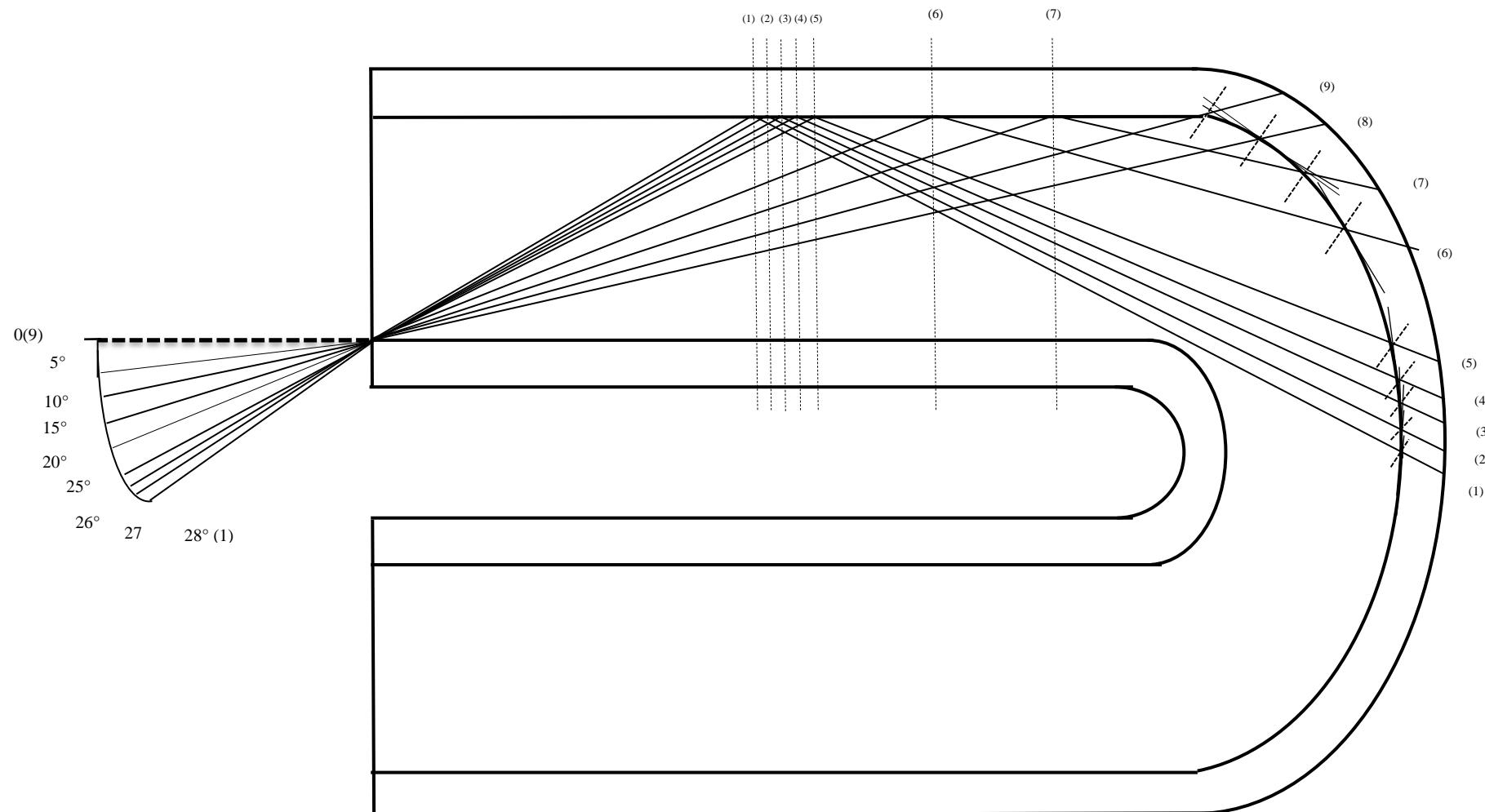


Gambar 35. Garis normal berubah

Gambar 35 menunjukkan antara garis normal yang lama dan baru membentuk sebuah segitiga siku-siku. Pada segitiga, jumlah sudutnya yakni 180° . Sehingga untuk mendapatkan nilai salah satu sudutnya maka akan menghasilkan sudut datang sebesar

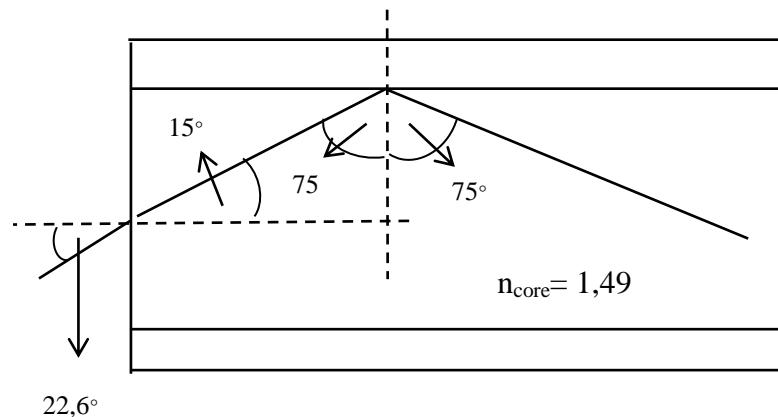
$$90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$$

Untuk mengetahui apakah sudut datang sebesar 75° dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan *core-cladding* ataukah cahaya menembus *cladding* maka harus diketahui sudut kritisnya pada bidang perbatasan *core-cladding*. Pada pengujian nilai sudut kritis ini digunakan gambar perambatan cahaya untuk berbagai sudut datang ditunjukkan pada Gambar 36.



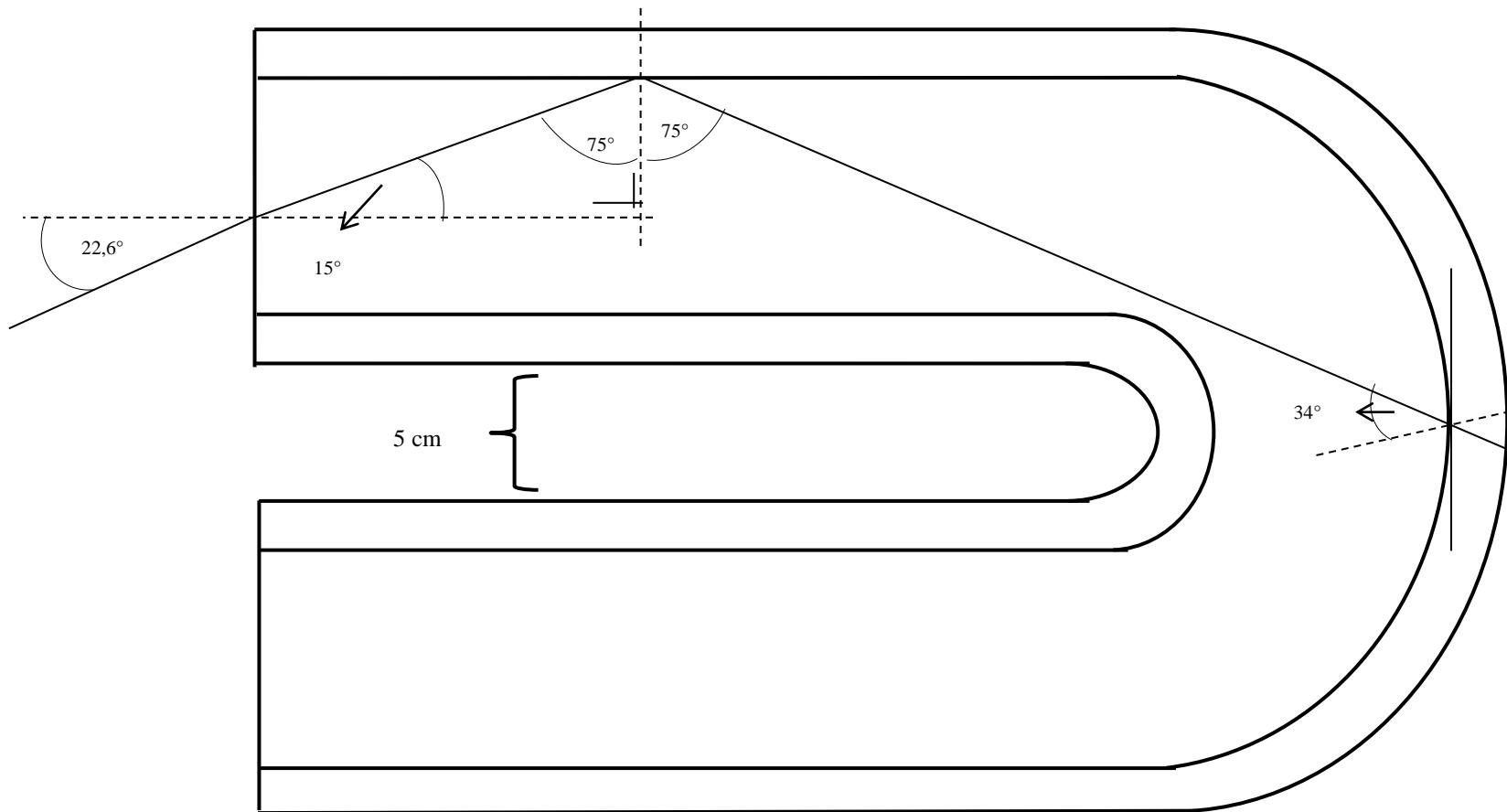
Gambar 36. Perambatan jalannya berbagai sinar datang sebagai cara menentukan sudut kritis dari fiber optik

Karena sudut datang (75°) > sudut kritis ($71,14^\circ$), maka cahaya akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan ke dalam *core*.



Gambar 37. Pemantulan cahaya di dalam *core*

Sudut datang (θ_{core}) sebesar 75° mengenai bidang lengkungan sensor pH dengan diameter 5 cm, seperti ditunjukkan pada gambar 38.



Gambar 38. Perambatan sinar dalam sensor pH fiber optik

Dengan menggunakan busur derajat, maka dapat diketahui sudut datang *core* ke *cladding* terhadap garis normal sebesar 34° . Sebelum membuat garis normal, maka terlebih dahulu menggambar garis singgungnya yang sifatnya yakni memotong lingkaran di satu titik dan tegak lurus terhadap jari-jari lingkaran.

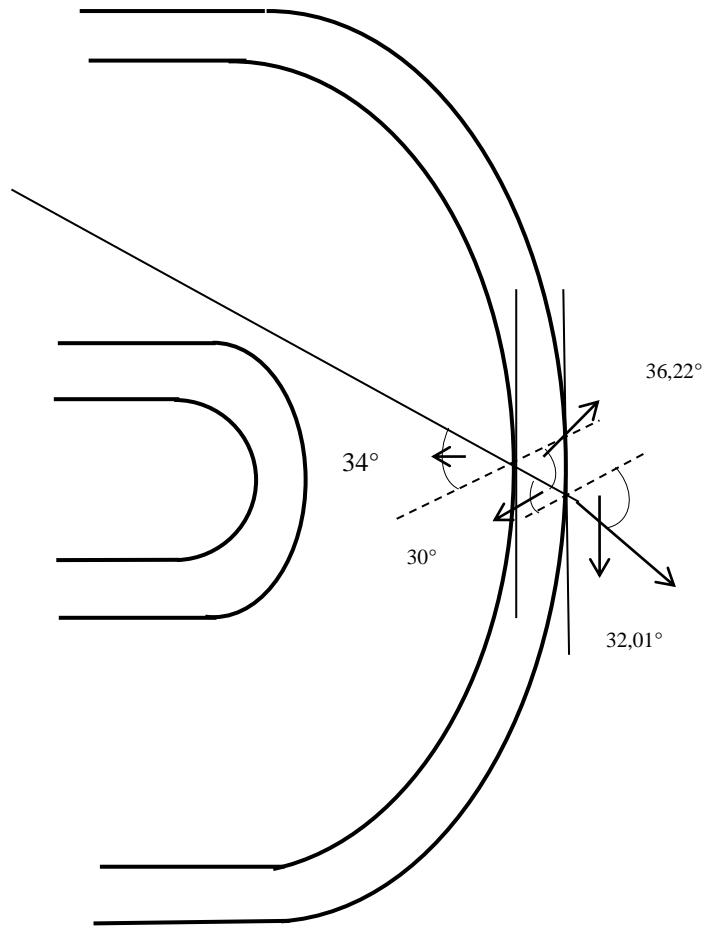
Karena sudut datang (34°) $<$ sudut kritis ($71,14^\circ$) maka cahaya akan dibiaskan ke *cladding* dengan sudut tertentu yang dapat diketahui dengan menggunakan Hukum Snellius sebagai berikut:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_{core} \sin \theta_{core} = n_{cladding} \sin \theta_{cladding}$$

$$1,49 \sin 34^\circ = 1,41 \sin \theta_{cladding}$$

$$\theta_{cladding} = 36,22^\circ$$



Gambar 39. Perambatan cahaya pada bentuk lengkung sensor pH

Perlu dianalisis kembali besar sudut kritis antara indeks bias *cladding* dan air untuk mengetahui apakah sudut datang sebesar 30° akan dipantulkan kembali ke *cladding* atau dibiaskan ke air.

$$\theta_{kritis} = \arcsin\left(\frac{n_{air}}{n_{cladding}}\right)$$

$$\theta_{kritis} = \arcsin\left(\frac{1,33}{1,41}\right)$$

$$\theta_{kritis} = 70,61^\circ$$

Karena sudut datang (30°) < sudut kritis ($70,61^\circ$) maka cahaya akan dibiasakan ke dalam air dengan sudut sebesar

$$n_{cladding} \sin \theta_{cladding} = n_{air} \sin \theta_{air}$$

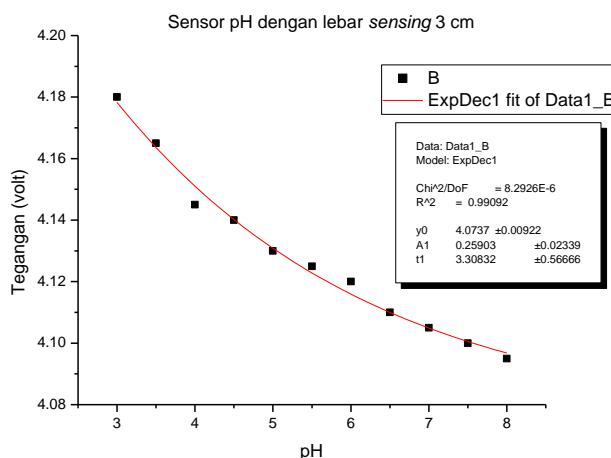
$$1,41 \sin 30^\circ = 1,33 \sin \theta_{air}$$

$$\theta_{air} = 32,01^\circ$$

2. Karakteristik sensitivitas dan analisis blok sensor pH menggunakan fiber optik *single mode* tipe SH-4001-1,3

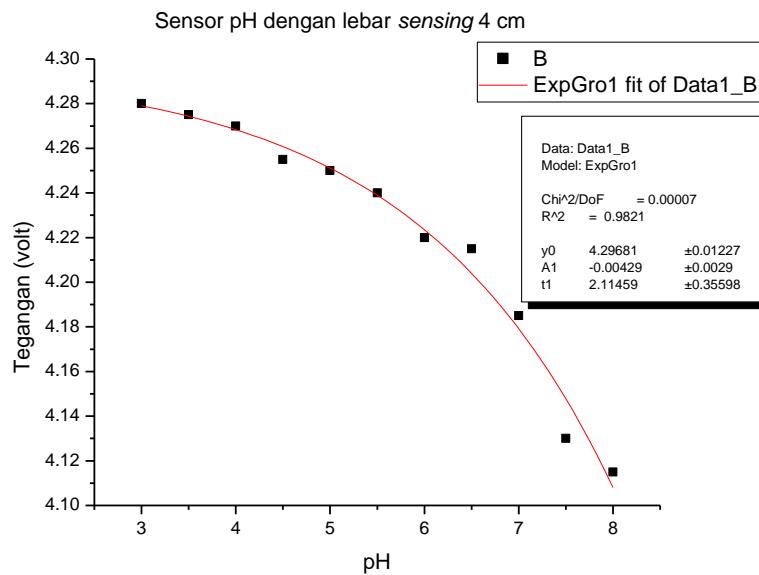
Sensor pH yang dirancang ini memiliki karakteristik sebagai pengubah besaran intensitas cahaya yang masuk fiber optik ke dalam besaran tegangan. Tegangan keluaran sensor ini yang kemudian dikonversi menjadi nilai pH menggunakan analisis dari grafik karakterisasi sensor yang diperoleh.

Hasil pengujian sensitivitas sensor pH menggunakan fiber optik digambarkan oleh grafik hubungan antara tegangan *output* sensor pH terhadap pH yang ditunjukkan oleh Gambar 40 sampai 42.



Gambar 40. Grafik dan hasil analisis fit eksponensial tegangan terhadap pH dengan lebar *sensing* 3 cm

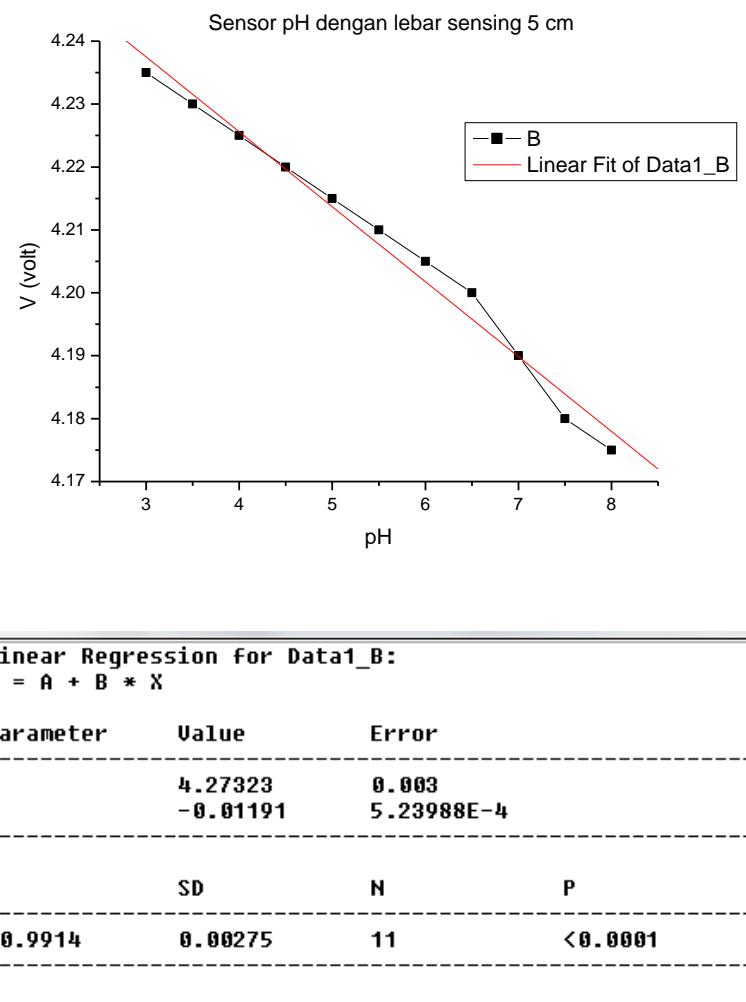
Berdasarkan Gambar 40 dapat diketahui bahwa tegangan keluaran fotodiode cenderung turun secara eksponensial terhadap kenaikan pH, sehingga persamaan garis yang diperoleh dari grafik adalah $(4,1 \pm 0,009) + (0,2 \pm 0,02)e^{-x/(3,3 \pm 0,6)} \text{ V/pH}$.



Gambar 41. Grafik dan hasil analisis fit eksponensial tegangan terhadap pH dengan lebar *sensing* 4 cm

Berdasarkan Gambar 41 dapat diketahui bahwa tegangan keluaran photodiode cenderung turun secara eksponensial terhadap kenaikan pH, sehingga persamaan garis yang diperoleh dari grafik adalah $(4,3 \pm 0,01) + (-0,004 \pm 0,03)e^{-x/(2,1 \pm 0,4)} \text{ V/pH}$.

Pengujian sensor pH pada *sensing* 3 cm dan 4 cm meghasilkan grafik yang cenderung eksponensial dikarenakan nilai tegangan antar pH yang hanya berbeda sekian millivolt, sehingga analisis fit eksponensial merupakan salah satu analisis yang tepat untuk membaca perubahan tegangan terhadap pH.



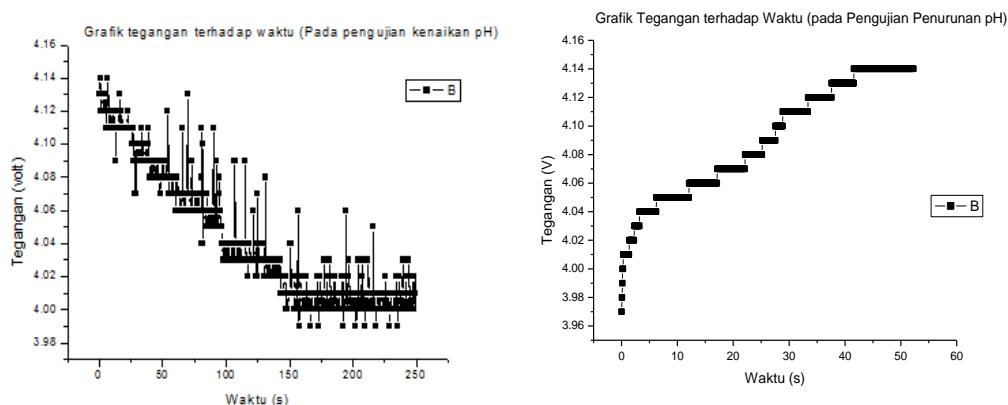
Gambar 42. Grafik dan hasil analisis linearitas tegangan terhadap pH dengan lebar sensing 5 cm

Berdasarkan Gambar 42 dapat diketahui bahwa tegangan keluaran photodiode cenderung linear turun terhadap kenaikan pH. Dari persamaan garis lurus yang diperoleh tegangan pada sensor akan naik (-0.01 ± 0.0005) V/pH.

Berdasarkan jurnal ilmiah dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Nursukmasari Qomaria dan Endarko yang merancang sensor pH menggunakan fiber optik dengan variasi bending fiber optik berbentuk "U" dan "γ" serta pelapisan resin sebagai *probe* sensor. Pengujian karakteristik sensor yang dibuat

oleh Nursukmasari dan rekannya menghasilkan grafik antara pH dan tegangan yang cenderung linier turun seiring dengan kenaikan pH. Hal inilah yang menyebabkan salah satu pengujian sensor dengan *sensing* resin 5 cm juga menghasilkan grafik yang cenderung linier.

Untuk analisis blok rangkaian sensor pH, maka dilakukan pengujian *output* sensor terhadap waktu. Grafik hasil pengujian tegangan sensor pH terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 43.



Gambar 43. Grafik hubungan tegangan terhadap waktu (a) Pengujian Kenaikan pH (b) Pengujian Penurunan pH

Berdasarkan Gambar 43 diketahui bahwa untuk pengujian kenaikan pH besarnya tegangan *output* sensor (v_{pH}) berbanding terbalik dengan kenaikan pH larutan. Sedangkan untuk pengujian penurunan pH besarnya tegangan *output* sensor (v_{pH}) berbanding terbalik dengan kenaikan pH larutan. Dari kedua grafik memiliki kecenderungan eksponensial, pH perlahan-lahan turun hingga mencapai *steady-state*. Oleh karena itu, hubungan antara tegangan (V) dan waktu (t) dapat diperoleh sebagai berikut

$$pH(t) = pH_0(t) + A(1 - e^{-xt}) \quad (4-7)$$

Transformasi Laplace untuk pH dari persamaan (4-7) adalah sebagai berikut

$$pH(s) = \frac{pH_0}{s} + \frac{Ax}{(s+x)s} \quad (4-8)$$

Tegangan *output* sensor pH (v_{pH}) akan berfungsi sebagai tegangan *input* (v_{in}) yang akan dibandingkan dengan nilai *set point* pada mikrokontroler Arduino untuk mengendalikan *relay*, sehingga $v_{pH} = v_{in}$.

Berdasarkan grafik hasil pengujian karakteristik rangkaian pengkondisi sensor pH maka v_{in} sebagai fungsi waktu sebagai berikut

$$v_{in}(t) = v_0 + x_1 \cdot pH(t) \quad (4-9)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (4-7) ke persamaan (4-9) diperoleh fungsi tegangan terhadap waktu sebagai berikut:

$$v_{in}(t) = v_0 + x_1 \cdot pH_0 + x_1 \cdot A(1 - e^{-xt}) \quad (4-10)$$

Transformasi Laplace dari persamaan (4-10) adalah

$$v_{in}(s) = \frac{v_0}{s} + \frac{x_1 \cdot pH_0}{s} + \frac{x_1 \cdot Ax}{(s+x)s} \quad (4-11)$$

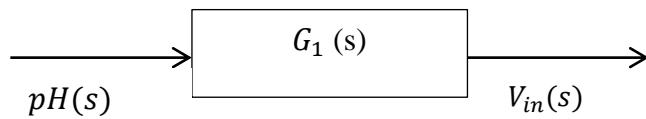
Fungsi transfer dari sensor fotodiode diperoleh dengan membandingkan transformasi Laplace tegangan sebagai *output* dengan transformasi Laplace pH sebagai *input* dan menganggap semua keadaan awal sama dengan nol, sehingga

$$\frac{v_{in}(s)}{pH(s)} = \frac{\frac{v_0}{s} + \frac{x_1 \cdot pH_0}{s} + \frac{x_1 \cdot Ax}{(s+x)s}}{\frac{pH_0(s)}{s} + \frac{Ax}{(s+x)s}} \quad (4-12)$$

Karena $v_0 = 0$, maka fungsi transfer dari sensor pH diperoleh

$$G_1 = \frac{v_{in}(s)}{pH(s)} = x_1 \quad (4-13)$$

Dengan x_1 adalah sensitivitas sensor pH. Diagram blok sensor pH ditunjukkan pada Gambar 44.



Gambar 44. Diagram blok sensor pH

3. Blok mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler Arduino dalam rangkaian ini berfungsi sebagai komparator yang membandingkan *set point* dengan nilai pH yang terbaca oleh sensor, dan digunakan sebagai pengendali seluruh sistem kontrol. *Set point* yang ditetapkan pada sistem ini adalah pada rentang pH 6 sampai 9 atau jika dikonversi ke dalam nilai tegangan yakni 4,01 volt sampai 4,08 volt. Apabila tegangan *output* dari sensor fotodiode lebih tinggi dari *set point* maka Arduino akan memberikan tegangan pada basis sebesar 4,98 volt sehingga transistor mengalami saturasi dan menyebabkan *relay* pompa basa *ON*. Sedangkan apabila tegangan *output* dari sensor fotodiode lebih rendah dari *set point* maka Arduino akan memberikan tegangan pada basis sebesar nol sehingga transistor berada pada kondisi *cut-off* dan menyebabkan *relay* pompa asam *OFF*.

$$V_{BB} \begin{cases} 4.98 V, & \text{jika } v_{ref} < 4.01 V \\ \approx 0 V, & \text{jika } 4.02 \leq pH \leq 4.08 V \\ 4.98 V, & \text{jika } v_{ref} > 4.08 V \end{cases} \quad (4-14)$$

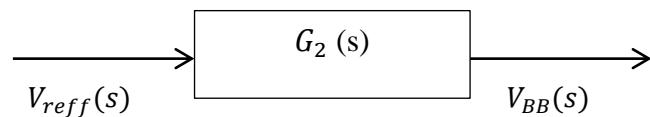
Dengan menggunakan transformasi Laplace dari persamaan (4-14) diperoleh

$$V_{BB}(s) = \frac{v_{ref}(s)}{s} \quad (4-15)$$

Jadi, fungsi transfer dari persamaan (4-15) adalah

$$G_2(s) = \frac{V_{BB}(s)}{v_{ref}(s)} = \frac{1}{s} \quad (4-16)$$

Jadi, diagram blok rangkaian pompa asam dan basa ditunjukkan pada Gambar 45.



Gambar 45. Diagram blok mikrokontroler Arduino

4. Blok rangkaian saklar transistor

Transistor dapat aktif apabila dialiri arus listrik, untuk dapat menghantarkan arus pada transistor maka pada basis harus diberikan tegangan, yakni tegangan keluaran dari mikrokontroler Arduino. Transistor dapat bekerja pada titik saturasi (daerah jenuh/transistor mengalirkan arus secara maksimum dari kolektor ke emitor) yaitu apabila V_{BE} lebih besar dari 0,7 V. Untuk membuat transistor bekerja, maka dibutuhkan arus basis i_B yang dapat ditentukan dari persamaan berikut

$$i_B(t) = \frac{V_{BB}(t) - V_{BE}(t)}{R_B} \quad (4-17)$$

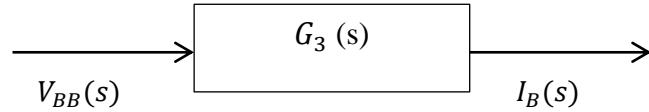
Transformasi Laplace dari persamaan (4-17) adalah

$$V_{BE}(s) = V_{BB}(s) - i_B(s) \cdot R_B \quad (4-18)$$

Arus kolektor dapat mencapai nilai maksimum ditentukan oleh nilai V_{CC} dan R_C , namun arus kolektor dikendalikan oleh arus basis yang diperoleh dari keluaran Arduino. Arus kolektor ini yang akan mengendalikan *relay*. Sedangkan transistor akan berada pada keadaan *cut-off* (daerah mati/transistor tidak dapat mengalirkan arus dari kolektor ke emitor) apabila V_{BE} kurang dari 0,7 V.

Gain dan diagram blok dari rangkaian saklar transistor dengan menganggap semua keadaan awal sama dengan nol adalah sebagai berikut:

$$G_3(s) = \frac{I_B(s)}{V_{BB}(s)} = \frac{V_{BB}(s) - V_{BE}(s)}{R_B V_{BB}(s)} \quad (4-19)$$



Gambar 46. Diagram blok rangkaian saklar transistor

5. Blok *Relay*

Relay pada rangkaian sistem pengontrol pH pada kolam pemberian ikan lele ini digunakan sebagai aktuator. Untuk mengaktifkan *relay*, arus listrik akan mengalir dari emitor ke kolektor, sehingga arus *relay* sama dengan arus kolektor. *Relay* yang digunakan memiliki hambatan sebesar 411Ω dan tegangan sebesar 12,14 V. Sehingga besarnya i_{relay} dapat ditentukan dengan persamaan

Hukum Ohm

$$i_{relay} = \frac{V_{relay}}{R_{relay}} = 29,5 \text{ mA} \quad (4-20)$$

Menggunakan persamaan (4-20) dan mengganti *supply relay* dengan tegangan sumber 12,14 V, sehingga $i_C = i_{relay}$ dan hambatan kolektor pada rangkaian ini merupakan hambatan *relay*, maka

$$V_{CC} = V_{CE} + V_{relay} \quad (4-21)$$

Jadi dari persamaan (4-21) untuk menentukan tegangan *relay* 12 V dengan sumber tegangan 12,14 V, maka V_{CE} harus sama dengan nol. Kondisi $V_{CE} = 0 V$ menyatakan transistor dalam keadaan saturasi dan menyebabkan *relay* *ON*. Sedangkan untuk keadaan *relay* *OFF* dengan mengatur $i_B = 0 A$, maka $i_C = 0 A$. Berdasarkan persamaan (4-21) besar tegangan antara kolektor dan emitor pada kondisi ini adalah $V_{CC} = V_{CE}$, menyatakan bahwa V_{CE} mencapai tegangan maksimum pada saat senilai dengan tegangan sumber V_{CC} . Jadi, arus pada *relay* terputus dan menyebabkan *relay* *OFF*.

Fungsi transfer untuk rangkaian *relay* ditentukan dengan cara sebagai berikut. Karena $i_C = i_B \beta_{DC}$, maka

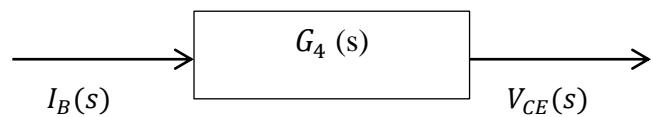
$$V_{CE}(t) = V_{CC}(t) - i_B(t) \beta_{DC} R_B \quad (4-22)$$

Transformasi Laplace dari persamaan (4-22) adalah

$$V_{CE}(s) = V_{CC}(s) - i_B(s) \beta_{DC} R_B \quad (4-23)$$

Dengan menganggap keadaan awal sama dengan nol, fungsi transfer rangkaian *relay* adalah

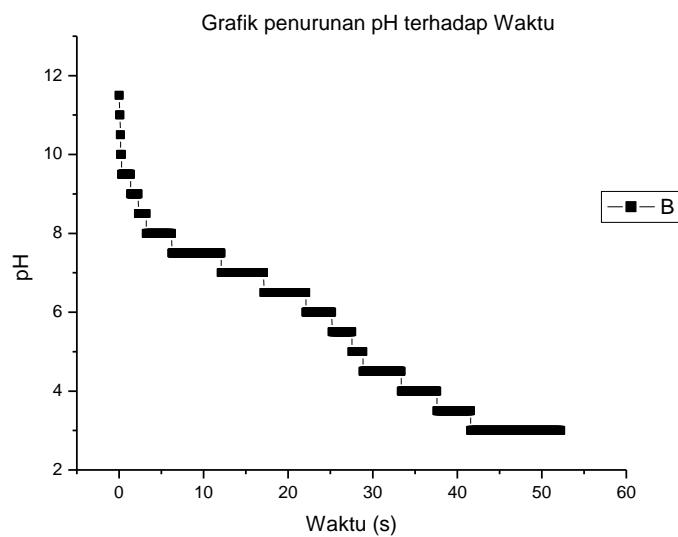
$$G_4(s) = \frac{V_{CE}(s)}{I_B(s)} = \frac{V_{CC}(s) - i_B(s) \beta_{DC} R_B}{I_B(s)} \quad (4-24)$$



Gambar 47. Diagram blok rangkaian *relay*

6. Blok proses pengontrolan pH

Pada proses pengontrolan pH kolam pemberian lele, bagian terpentingnya adalah membuat supaya kondisi air kolam tetap sesuai dengan *set point* yang diinginkan, yakni pada rentang pH 6 sampai 9. Untuk membuatnya sesuai dengan nilai *set point* maka diperlukan suatu larutan asam dan basa. Ketika proses pengontrolan pH, maka pompa asam-basa akan bekerja sesuai dengan nilai yang terukur pada sensor yang dibandingkan dengan nilai *set point* pada Arduino. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh grafik yang menggambarkan proses penurunan nilai pH air kolam pemberian ikan lele ditunjukkan pada Gambar 48.



Gambar 48. Grafik hubungan antara pH terhadap waktu di kolam pemberian ikan lele

Gambar 48 menunjukkan bahwa pada keadaan kolam yang basa maka nilai pH akan terus menurun hingga mencapai nilai pH yang diinginkan. Sehingga grafik tersebut memenuhi persamaan eksponensial orde satu sebagai berikut

$$pH(t) = pH_0 + Ae^{-xt} \quad (4-25)$$

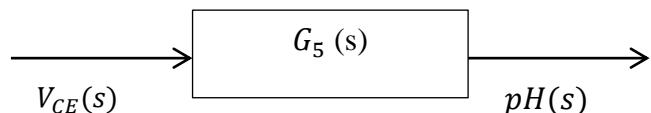
Menggunakan transformasi Laplace pada persamaan (4-25) sehingga diperoleh

$$pH(s) = \frac{pH_0}{s} + \frac{A}{s+x} \quad (4-26)$$

Fungsi transfer dan diagram blok untuk persamaan (4-26) dengan asumsi bahwa nilai awal sama dengan nol adalah sebagai berikut:

$$G_5(s) = \frac{pH(s)}{V_{CE}(s)} = \frac{A}{(s+x) V_{CE}(s)} \quad (4-27)$$

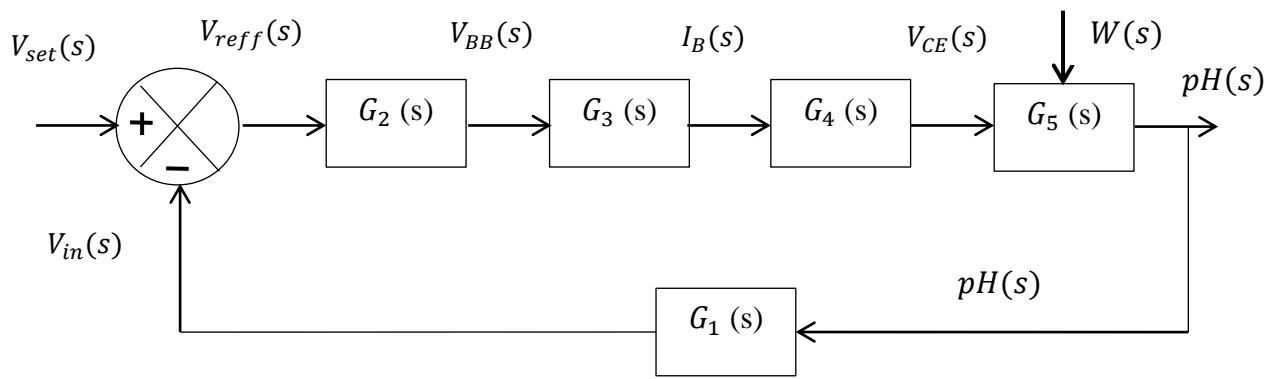
Input blok ini adalah tegangan dari pompa asam sedangkan *output* blok berupa pH air kolam.



Gambar 49. Diagram blok proses penurunan pH

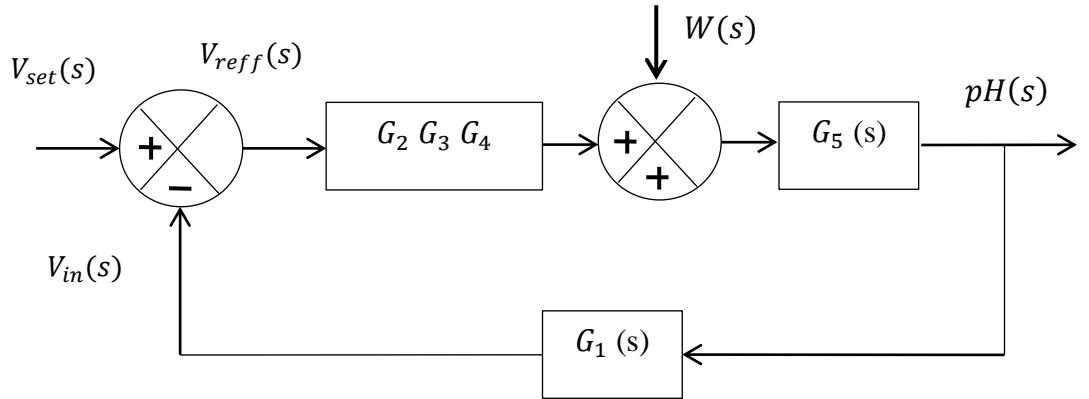
7. Diagram blok rangkaian pengontrolan pH

Diagram blok sistem kontrol pH pada kolam pemberian ikan lele secara keseluruhan dapat ditunjukkan pada Gambar 50.

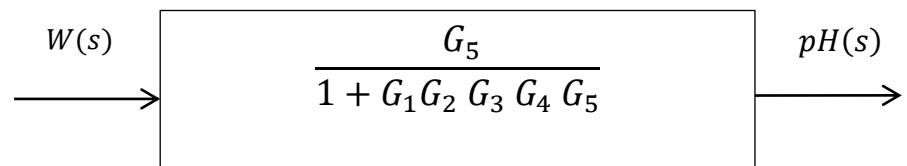


Gambar 50. Diagram blok rangkaian sistem kontrol pH keseluruhan

Diagram blok rangkaian kontrol pH secara keseluruhan dapat disederhanakan menggunakan aturan penyederhanaan diagram blok. Penyederhanaan ini membantu dalam melakukan analisis matematik, dengan penyederhanaan diagram blok rangkaian kontrol pH secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 51.



Gambar 51. Diagram blok rangkaian hasil penggabungan I



Gambar 52. Diagram blok rangkaian yang disederhanakan

Fungsi transfer rangkaian kontrol pH secara keseluruhan adalah

$$\frac{pH(s)}{W(s)} = \frac{G_5}{1+G_1 G_2 G_3 G_4 G_5} \quad (4-28)$$

$$\frac{pH(s)}{W(s)} = \frac{\left(\frac{A}{(s+x)V_{CE}(s)}\right)}{1+(x_1)\left(\frac{1}{s}\right)\left(\frac{V_{BB}(s)-V_{BE}(s)}{R_B V_{BB}(s)}\right)\left(\frac{V_{CC}(s)-i_B(s) \beta_{DC} R_B}{I_B(s)}\right)\left(\frac{A}{(s+x)V_{CE}(s)}\right)} \quad (4-29)$$

Berdasarkan bentuk persamaan dari diagram blok terakhir yang telah disederhanakan, maka dapat dikatakan bahwa hasil grafik pengujian sistem kontrol pH yang diperoleh berupa grafik eksponensial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 53 dan 54.

C. Pengujian Alat

Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui bahwa rangkaian pengontrol pH dapat bekerja sesuai dengan perencanaan, maka dilakukan dua kali pengukuran yakni dengan tanpa adanya kontrol pH dan dengan dipasang kontrol pH pada kolam pemberian ikan lele.

1. Pengujian kelengkungan fiber optik sebagai sensor

Pengujian kelengkungan fiber optik dilakukan dengan mengatur sudut lengkungan hingga tegangan fiber optik mengalami atenuasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fiber optik mengalami atenuasi pada saat dilengkungkan sebesar 2° .

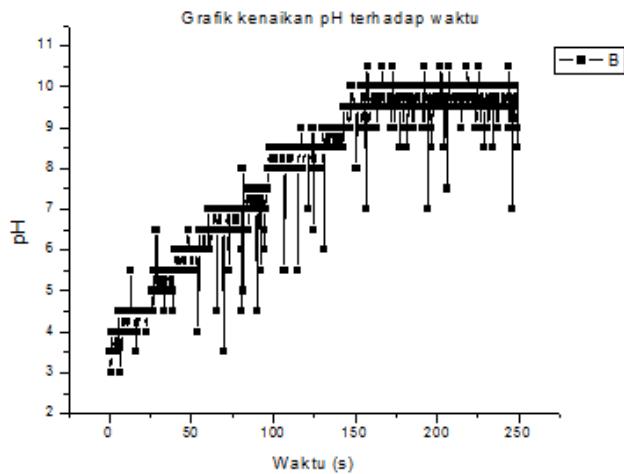
Selain itu, dilakukan pula mengatur variasi diameter kelengkungan fiber optik dengan membentuk fiber optik menyerupai huruf "U" dengan memberi perlakuan variasi diameter sebesar 2 cm hingga 50 cm (keadaan lurus). Dari hasil

pengujian kelengkungan diameter (DATA TERLAMPIR) diperoleh bahwa tegangan fiber optik saat dilengkungkan dengan diameter sebesar 5 cm mempunyai nilai keluaran tegangan yang cukup stabil (tidak fluktuatif) sehingga hal ini akan memudahkan pembacaan nilai sensor yang terbaca di mikrokontroler Arduino.

2. Pengujian rangkaian sensor pH

Pengujian rangkaian sensor pH bertujuan untuk mengetahui respon sensor pH, yakni dengan menguji fluktuasi pH terhadap waktu. Untuk mengetahui respon sensor, maka dilakukan dua kali percobaan yakni untuk menurunkan pH dan menaikkan pH.

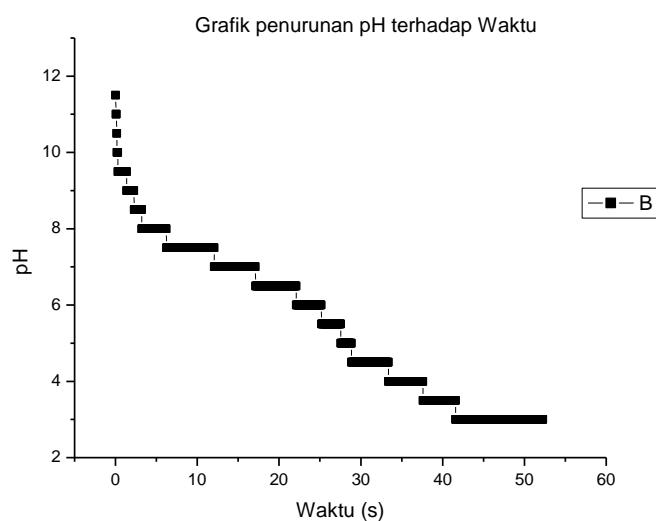
Pengujian pertama yakni dengan menaikkan nilai pH dari 3 ke 11. Nilai pH larutan diukur menggunakan pH meter digital. Kemudian dari hasil pengujian rangkaian sensor diperoleh grafik yang ditunjukkan pada Gambar 53.



Gambar 53. Grafik pengujian kenaikan pH

Berdasarkan gambar 53 terlihat bahwa sensor dapat membaca perubahan pH dari keadaan asam hingga basa. Dan diperlukan waktu sekitar 250 detik untuk menaikkan pH dari 3 sampai dengan 10,5.

Pengujian kedua yakni dengan menurunkan nilai pH dari 11,5 ke 3. Kemudian dari hasil pengujian rangkaian sensor ditunjukkan oleh Gambar 54.



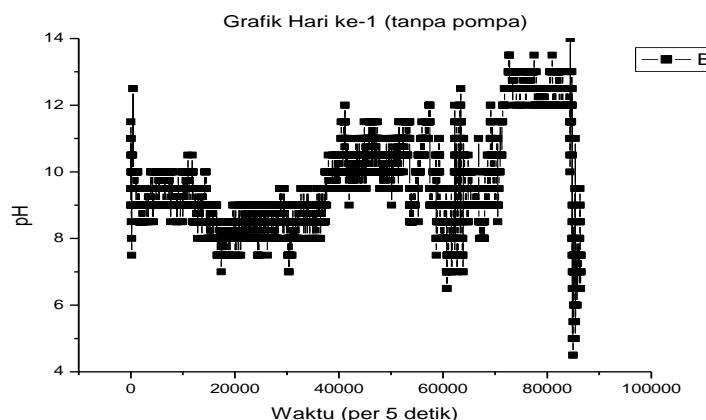
Gambar 54. Grafik penurunan pH terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 54 terlihat bahwa sensor dapat membaca perubahan pH dari keadaan basa hingga asam. Dan diperlukan waktu sekitar 55 detik untuk menaikkan pH dari pH 11,5 sampai pH 3.

3. Pengukuran fluktuasi pH pada kolam pemberian ikan lele tanpa adanya kontrol

Untuk mengetahui kondisi pH air kolam pemberian ikan lele di BPTKP, maka dilakukan pengukuran fluktuasi pH selama satu hari. Selain itu, untuk mengetahui kebutuhan larutan asam atau basa yang perlu dilarutkan pada kolam

agar mencapai pH yang diinginkan, yakni pada rentang pH 6 sampai 9. Hasil fluktuasi pH pada kolam pemberian ikan lele selama satu hari ditunjukkan pada Gambar 55.

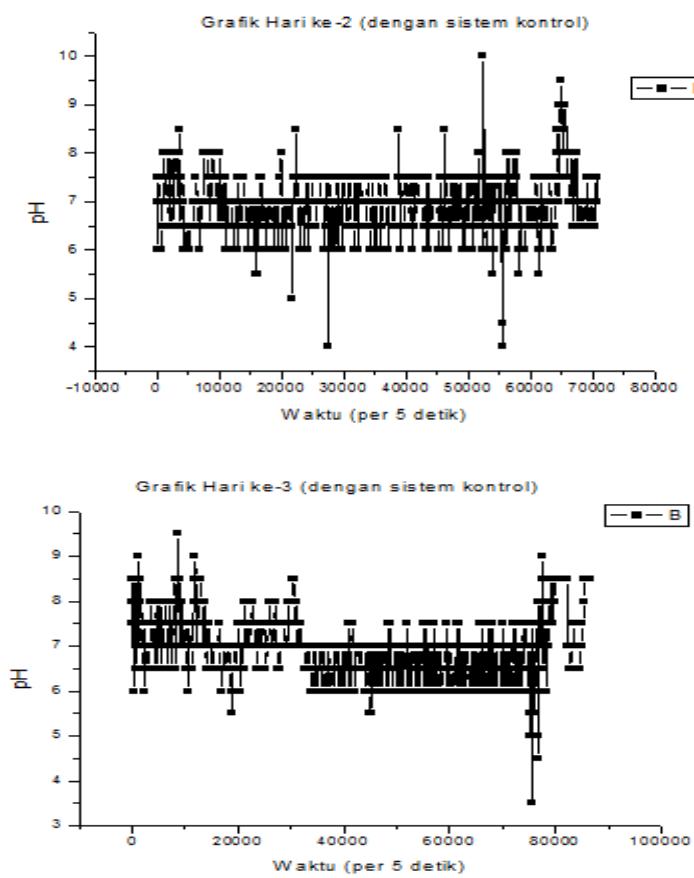


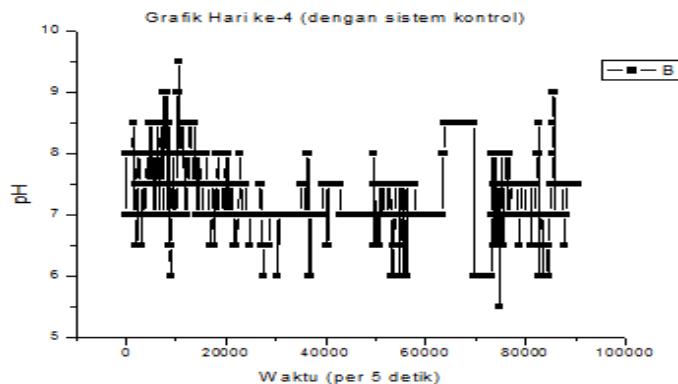
Gambar 55. Grafik fluktuasi pH pada kolam pemberian ikan lele tanpa kontrol

Berdasarkan grafik seperti Gambar 55 yang diperoleh dapat dikatakan bahwa saat tidak ada sistem pengontrol pH, maka fluktuasi pH air kolam cenderung bersifat asam pada malam menjelang pagi hari hingga mencapai pH 4, sedangkan pada siang hingga sore hari air kolam bersifat basa mencapai pH 14. Berdasarkan hasil pengukuran pH air kolam inilah, maka peneliti memilih untuk memasang pompa asam-basa karena air kolam memiliki pH yang fluktuatif. Namun hasil pengukuran menunjukkan pH air kolam cenderung bersifat basa, hal ini ditunjukkan dengan pengukuran pH pada kolam-kolam ikan lele yang lebih lama dipakai mencapai pH 8,1 sampai 8,2 bahkan sumber air yang digunakan untuk mengairi kolam juga bersifat basa dengan pH 8.

4. Pengukuran fluktuasi pH pada kolam pemberian ikan lele dengan kontrol pH

Pemasangan sistem pengontrolan pH air kolam pada pemberian ikan lele dengan diberikan pompa asam dilakukan selama 10 hari, karena saat diberikan oleh pihak balai usia ikan sudah mencapai 5 hari sehingga diperlukan waktu sekitar 18 hari agar ukuran ikan lele mencapai standar yakni ukuran 2,3 cm sehingga saat ikan dipindah ke kolam semen mampu untuk bertahan hidup. Hasil pengontrolan pH air kolam pemberian ikan lele ditunjukkan pada Gambar 56.





Gambar 56. Grafik fluktuasi pH dengan sistem kontrol hari ke 2,3,dan 4.

Berdasarkan grafik pengontrolan pada hari kedua terlihat nilai pH maksimal yang dicapai yakni 10 dan pH minimum berada pada pH 4. Kemudian pada pengukuran pH di hari ketiga terlihat nilai pH maksimal yang dicapai yakni 9,5 dan pH minimum berada pada pH 3,5 sedangkan pada hari keempat terlihat nilai pH maksimal yang dicapai yakni 9,5 dan pH minimum berada pada pH 5,5.

Berdasarkan pengukuran fluktuasi pH dengan adanya kontrol pH terlihat bahwa nilai pH yang terukur sesuai dengan keinginan, yakni berada pada rentang pH 6 sampai 9 sehingga dapat dikatakan bahwa sensor pH menggunakan fiber optik berbentuk "U" dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Namun dari pembacaan grafik terlihat masih terdapat beberapa nilai pH yang bersifat asam ataupun basa. Hal ini terjadi dimungkinkan banyaknya larutan asam yang keluar pada saat pompa asam *ON* sehingga sensor menangkap sifat air kolam berubah menjadi asam, sedangkan untuk nilai pH basa yang terukur karena pada siang hari sensor fotodiode menangkap cukup banyak cahaya baik dari laser maupun dari lingkungan sehingga nilai tegangan yang terukur kecil dan menyebabkan nilai tegangan rendah sehingga pH yang terukur bersifat basa.

Selain itu, dari grafik terlihat bahwa keadaan pH yang cenderung stabil pada nilai pH tertentu karena nilai yang terbaca oleh sensor pH menyesuaikan dengan keadaan di sekitar sensor sehingga mengalami *delay* waktu untuk berpindah ke nilai pH lainnya.

D. Pembahasan

Pada saat sistem kontrol pH dinyalakan, maka secara otomatis sensor pH akan mendeteksi nilai pH pada air kolam pemberian ikan lele. Perubahan nilai tegangan yang terbaca sensor kemudian akan dibandingkan dengan *set point* menggunakan mikrokontroler Arduino, sehingga nilai pH air kolam yang dikehendaki sesuai yakni rentang pH 6 sampai 9.

Penempatan sensor pH berada di tengah kolam, karena diasumsikan bahwa apabila posisi sensor diletakkan ditengah kolam kemungkinan rata-rata nilai pH nya sesuai dengan keadaan pH air kolam pemberian ikan lele. Sehingga, pemilihan untuk memasang selang larutan asam-basa yang keluar dari tangki diletakkan di samping sensor pH. Hal ini bertujuan agar sensor mampu mendeteksi besarnya nilai pH sesegera mungkin sehingga aktifnya pompa larutan asam-basa sesuai dengan nilai pH air kolam yang dikehendaki.

Benih ikan lele yang digunakan sebagai obyek penelitian saat diberikan berusia sekitar 6 hari, dengan 1 hari sebelum semua alat kontrol dipasang lele telah dimasukkan ke dalam bak fiber. Hal ini dimaksudkan agar benih lele mampu beradaptasi dengan lingkungan kolam fiber sebelum dipasang alat. Sedangkan sistem kontrol pH air kolam pemberian ikan lele dipasang selama 14 hari, dengan 2 hari sebelumnya sistem hanya membaca fluktuasi pH air kolam tanpa

adanya kontrol dan 12 hari menggunakan kontrol pH berupa aktifnya pompa larutan asam-basa. Sehingga total pengambilan data untuk melihat sistem kontrol pH dapat bekerja yakni sekitar 20 hari.

Untuk mengetahui kualitas benih ikan lele dari segi pertumbuhan, maka panjang tubuh benih ikan lele diukur menggunakan penggaris setiap hari selama 10 hari. Pengukuran dimulai saat ikan berumur 10 hari, karena pada 10 hari sebelumnya kondisi ikan masih terlalu ringkik untuk dilakukan pengukuran panjang tubuhnya. Data pertumbuhan benih ikan lele antara yang diberikan kontrol dan tidak ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Data pertumbuhan benih ikan lele

Hari ke-	Data Pertumbuhan Benih Ikan (cm)	
	Tanpa kontrol pH	Dengan kontrol pH
11	1.145	1.29
12	1.175	1.395
13	1.19	1.49
14	1.295	1.58
15	1.335	1.66
16	1.405	1.74
17	1.51	1.805
18	1.685	2.08
19	1.79	2.115
20	1.955	2.295

Pengukuran data pertumbuhan ikan ini diperoleh dari hasil mengukur panjang tubuh sebanyak 20 benih ikan pada masing-masing kolam, kemudian merata-rata sehingga diperoleh data pertumbuhan seperti tabel diatas. Tabel diatas memperlihatkan perbedaan hasil pertumbuhan antara kolam pemberian ikan lele dengan menggunakan cenderung memiliki pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan kolam pemberian yang tidak menggunakan kontrol sehingga dapat

dikatakan bahwa ikan lebih senang berasa pada kondisi air yang mempunyai pH cenderung netral. Selain itu, karena berdasarkan studi literatur diketahui bahwa larutan asam yang dibuat menggunakan rendaman daun ketapang mempunyai kandungan asam *humic* yang mampu membuat benih ikan lele merasa nyaman sehingga nafsu makannya juga bertambah dan pertumbuhannya lebih baik.

Setiap hari juga diukur keadaan pH air kolam menggunakan pH meter digital, hal ini dilakukan untuk menguji kestabilan sistem kontrol pH yang telah dibuat apakah masih berada dalam rentang pH yang diinginkan atau tidak. Selain itu, dibuat juga larutan asam-basa yang disesuaikan dengan awal pembuatan larutan apabila larutan pada tangki habis yakni pH 6,5 untuk larutan asam dan pH 8 untuk larutan basa. Hasil pengukuran besarnya pH air kolam yang diperoleh selama 10 hari ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Data pH air kolam menggunakan pH meter digital

Hari ke-	Fluktuasi pH air kolam	
	Tanpa kontrol pH	Dengan kontrol pH
11	7.7	7.6
12	7.8	7.6
13	7.8	7.6
14	7.8	7.7
15	7.8	7.7
16	7.7	7.6
17	7.7	7.5
18	7.7	7.5
19	7.7	7.5
20	7.7	7.5

Berdasarkan pengukuran fluktuasi yang diperoleh terlihat bahwa adanya perbedaan besarnya nilai pH antara kolam yang diberikan kontrol dan tidak. Pada kolam yang diberikan kontrol nilai pH nya cenderung semakin turun mendekati

pH netral sedangkan pada kolam yang tidak diberi kontrol nilai pH semakin lama cenderung semakin basa. Hal ini membuktikan bahwa sistem kontrol pH yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan keinginan dan mampu menjaga kondisi air kolam supaya tetap dalam rentang pH 6 sampai 9.

BAB V **KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa:

1. Telah dibuat sistem kontrol pH air kolam pemberian ikan lele menggunakan rangkaian sensor pH fiber optik berbentuk “U”, rangkaian pengkondisi sinyal fotodiode, rangkaian saklar transistor, rangkaian *driver relay*, serta pompa asam-basa.
2. Telah dilakukan karakterisasi sensor pH fiber optik secara teoritis menggunakan gambar perambatan sinar di dalam sensor pH fiber optik dan secara empiris menggunakan pengujian sensor pH terhadap variasi pH menghasilkan pemilihan sensor pH fiber optik dengan lebar *sensing* 3 cm yang mempunyai persamaan garis $(4,1 \pm 0,009) + (0,2 \pm 0,02)e^{-x/(3,3 \pm 0,6)}$ V/pH.
3. Pengaruh pH air kolam terhadap pertumbuhan benih ikan lele terlihat dari hasil perbandingan pada kolam diberi kontrol pH rata-rata memiliki panjang tubuh 2,3 cm sedangkan pada kolam yang tidak diberi kontrol pH memiliki panjang 1,9 cm. Ukuran awal benih diasumsikan sama karena usia tebar benih yang sama dan dihasilkan dari indukan yang sama.

B. Saran

Penelitian mengenai sensor pH menggunakan fiber optik ini masih jauh dari sempurna, data-data yang diperoleh juga masih belum lengkap. Untuk selanjutnya akan diperbaiki sensor fiber optik yang digunakan agar diperoleh data yang memiliki akurasi yang cukup baik dan sensitivitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- A Zaini Arif, Samian, dan Supadi. (2013). Aplikasi Serat Optik Sebagai Indikator Ketinggian cairan Dengan Metode Deteksi Rugi Daya Optis Akibat Pelengkungan dan Pemolesan. *Jurnal Fisika dan Terapannya*. Vol.1. Nomor 4/Desember 2013.
- Andrian Kristianto, Iwan Setiawan, & Sumardi. (2012). Pengendalian pH Air dengan Metode PID pada Model Tambak Udang. *Jurnal Teknik Elektro*. 14(4). Hlm. 119-126.
- Anonim. (2015). *Pengertian Relay dan Fungsinya*. Diakses dari <http://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>. pada 7 September 2016, Jam 09.20 WIB.
- Anonim. (2015). *Sistem Transmisi Kabel Serat Optik*. Diakses dari <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/22686/3/Chapter%20II.pdf> pada 8 September 2016, Jam 15.00 WIB.
- Anonim. (2015). *Getting Started with Arduino*. Diakses dari <https://www.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/arduino/Arduino.html> pada 20 Juni 2016 pukul 17.15 WIB.
- Anonim. (2015). Pengertian Arduino UNO. Diakses dari <http://ilearning.me/sample-page-162/arduino/pengertian-arduino-uno/> pada 20 Oktober 2016 pukul 13.44 WIB.
- Anonim. (2004). *Using a Digital Potentiometer to Optimize a Precision Single-Supply Photo Detection Circuit*. Diakses dari <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00692b.pdf> pada 8 September 2016, Jam 14.31 WIB.
- Anonim. (2013). *Pengelolaan Kualitas Air. Paket Keahlian: Budidaya Crustacea*. Buku Teks Bahan Ajar Siswa Kelas X Semester 2. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI-Direktorat Pembinaan SMK.
- Budi Laksono. (2014). Perbaiki Kulaitas Air Kolam dengan Sopterapi. Diakses dari <http://www.budilaksono.com/2014/10/perbaiki-kualitas-air-kolam-ikan-dengan.html> pada 15 Oktober 2016 pukul 14.54.
- Cahyo Saparinto dan Rini Susiana. (2012). *Grow Your Own Fish Panduan Praktis Pembesaran 13 Ikan Konsumsi Populer di Pekarangan*. Jakarta: Lily Publisher.

- Didhit Adithya. (2006). Pembuatan Probe Serat Optik Untuk Mengukur Derajat Keasaman (pH) Menggunakan *Methyl Violet* sebagai *Dye* Indikator. *Skripsi*. IPB.
- Heru Susanto. (2006). *Budidaya Ikan di Pekarangan Edisi Revisi. Membudidayakan 18 Jenis Ikan air Tawar di halam Rumah*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- John Crisp dan Barry Elliot. (2005). *Serat Optik: Sebuah Pengantar Edisi Ketiga*. (Alih Bahasa: Soni Astranto, S.Si) .Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Katsuhiko Ogata. (1996). *Teknik Kontrol Automatik*. (Alih bahasa: Edi Laksono). Jakarta:Penerbit Erlangga.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaaan RI. (2013). *Teknik Pemberian Ikan. Paket Keahlian:Budidaya Ikan*. Buku Teks Bahan Ajar Siswa Kelas XI Semester 4. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMK.
- Kunthi Arustiani. (2015). Pengembangan Sensor Ketinggian Fluida Berbasis *Polymer Optical Fiber (POF)* Berbentuk Lengkung. UNY. *Skripsi*.
- Lucky Wibisono. (2009). *Perancangan Sistem Kuisi Sistem Sensor pH Berbasis Lapisan Silica sol-gel*. Surabaya: ITS.
- Nafi'ul Matiin, Agus Muhammad Hatta, dan Sukartedjo. (2012). Pengaruh Variasi *Bending* Sensor pH Berbasis Serat Optik Plastik menggunakan Lapisan Silica Sol Gel Terhadap Sensitivitas. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol.1. Nomor 1. Hlm.1-6.
- Nur Taufik Zamari. (2014). *Analisis Perbandingan Rangkaian Transimpedansi amplifier Ganda dan Rangkaian Fotokonduktif Ganda untuk Sensor Weight Optik*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Oktavianto Siswanto Utomo. (2005). Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Pada Serat Optik. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Diponegoro*.
- Pardamean Simanjuntak Armanto (2012). Pengontrolan Suhu Air pada Kolam Pendederan dan Pemberian Ikan Nila Berbasis Arduino. *Jurnal Teknik ElektroUniversitas Maritim Raja Ali Haji*.
- Qomaria Nursukmasari dan Endarko. (2012). *Perancangan Fiber Optic Multimode Sebagai Sensor pH*. *Jurnal Teknik Pomits*.Vol.1. Nomor 1.Hlm. 1-4.
- Rahadiyanti Ayu Kholilah. (2013). Studi Awal Fiber Optik sebagai Sensor pH. *Jurnal Penelitian Fisika FMIPA ITS*.

- Romaria Zulfin M. (2014). Analisis Pengaruh Dispersi Terhadap Rugi Daya Transmisi Pada Serat Optik Single Mode Rekomendasi ITU-T Seri G.655. *Jurnal Singuda Ensikom*. Vol. 7 Nomor 1/April 2014.
- Syambas Basanudin, Moch dan Usni Arie. (2014). *Pembesaran Lele Secara Cepat 50 Hari Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- W. Bolton. (2004). *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*. (Alih Bahasa: Soni Astranto). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Yuliani. (2015). Analisis Suhu pada Mesin Penetas Telur. UNY. *Skripsi*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data pemilihan diameter lekukan sensor pH

Diameter (cm)	Tegangan (V)	Diameter (cm)	Tegangan (V)	Diameter (cm)	Tegangan (V)
2	1.382	19	2.850	36	4.550
3	1.581	20	2.938	37	4.669
4	1.632	21	3.055	38	4.745
5	1.677	22	3.147	39	4.843
6	1.721	23	3.256	40	4.941
7	1.784	24	3.333	41	5.058
8	1.833	25	3.456	42	5.146
9	1.871	26	3.562	43	5.195
10	1.973	27	3.666	44	5.287
11	2.055	28	3.758	45	5.351
12	2.143	29	3.859	46	5.441
13	2.242	30	3.948	47	5.677
14	2.367	31	4.049	48	6.065
15	2.443	32	4.145	49	6.182
16	2.555	33	4.251	50	6.450
17	2.636	34	4.425		
18	2.735	35	4.458		

Lampiran 2. Data sensor mulai mengalami atenuasi

r (cm)	Sudut (°)	Tegangan (V)	r (cm)	Sudut (°)	Tegangan (V)	r (cm)	Sudut (°)	Tegangan (V)
6	0	1.577	15	0	1.180		1	1.371
	1	1.570		1	1.180		2	1.243
	2	1.524		2	1.147		3	1.236
	3	1.472		3	1.053		0	1.336
7	0	1.489	16	0	1.137		1	1.333
	1	1.484		1	1.135		2	1.330
	2	1.447		2	1.119		3	1.324
	3	1.469		3	1.111		0	1.289
8	0	0.702	17	0	1.408		1	1.286
	1	0.700		1	1.404		2	1.270
	2	0.657		2	1.350		3	1.225
	3	0.615		3	1.344		0	1.186
9	1	0.613	18	0	1.186		1	1.183
	2	0.612		1	1.183		2	1.181
	3	0.594		2	1.175		3	1.175
	0	0.369	19	0	1.135		0	1.135
10	1	0.363		1	1.133		1	1.133
	2	0.366		2	1.126		2	1.126
	3	0.362		3	1.110		3	1.110
	4	0.355	20	0	1.181		0	1.181
	0	1.357		1	1.180		1	1.180
11	1	1.351		2	1.162		2	1.162
	2	1.344		3	1.113		3	1.113
	3	1.328	21	0	1.224		0	1.224
	0	1.387		1	1.222		1	1.222
12	1	1.386		2	1.218		2	1.218
	2	1.385		3	1.203		3	1.203
	3	1.356	22	0	1.173		0	1.173
	4	1.298		1	1.170		1	1.170
	0	1.166		2	1.169		2	1.169
13	1	1.163		3	1.167		3	1.167
	2	1.162	23	0	1.488		0	1.488
	3	1.147		1	1.483		1	1.483
	0	1.264		2	1.438		2	1.438
14	1	1.262		3	1.412		3	1.412
	2	1.259		24	0	1.375	24	0
	3	1.197						

Lampiran 3. Hasil perhitungan sudut kritis dengan berbagai variasi sudut datang

a) Untuk sudut datang 28°

$$\begin{aligned} n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} &= n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 28^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} \\ &= 18,365^\circ \end{aligned}$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 18,365^\circ = 71,63^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 26^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} \\ &= 27,59658^\circ \end{aligned}$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 26^\circ = n_2 \sin 27,59658^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,1395752^\circ$

b) Untuk sudut datang 27°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 27^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 17,7^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 17,7^\circ = 72,26^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 40^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} \\ &= 42,7857^\circ \end{aligned}$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 40^\circ = n_2 \sin 42,8^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,094^\circ$

c) Untuk sudut datang 26°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 26^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 17,1^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 17,1^\circ = 72,9^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 41^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} \\ &= 43,89^\circ \end{aligned}$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 41^\circ = n_2 \sin 43,89^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,1410^\circ$

d) Untuk sudut datang 25°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 25^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 16,47^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 16,47^\circ = 73,52^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 32^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} \\ &= 34,0548^\circ \end{aligned}$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 32^\circ = n_2 \sin 34,0548^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,13955^\circ$

e) Untuk sudut datang 24°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 24^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 15,84^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 15,84^\circ = 74,158^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 31^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} \\ &= 32,9747^\circ \end{aligned}$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 31^\circ = n_2 \sin 32,974^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,1400^\circ$

f) Untuk sudut datang 20°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 20^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 13,27^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 13,27^\circ = 76,729^\circ$

$$n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} = n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 47^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} = 50,61^\circ$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 47^\circ = n_2 \sin 50,61^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,1395497^\circ$

g) Untuk sudut datang 15°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 15^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 10^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 10^\circ = 80^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 63^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} \\ &= 70,3152^\circ \end{aligned}$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 63^\circ = n_2 \sin 70,3152^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,13954972^\circ$

h) Untuk sudut datang 10°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 10^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 6,69^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 6,69^\circ = 83,31^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 45^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} = 48,35^\circ \\ \text{Rasio indeks bias } \textit{core-cladding} \text{ adalah } n_1 \sin 45^\circ &= n_2 \sin 70,3152^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946 \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,13954972^\circ$

i) Untuk sudut datang 5°

$$n_{\text{udara}} \sin \theta_{\text{udara}} = n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow 1 \sin 5^\circ = 1,49 \sin \theta_{\text{core}} \rightarrow \theta_{\text{core}} = 3,35^\circ$$

Karena sudut tegak lurus bidang perbatasan sehingga $90^\circ - 10^\circ = 86,6466^\circ$

$$\begin{aligned} n_{\text{core}} \sin \theta_{\text{core}} &= n_{\text{clad}} \sin \theta_{\text{clad}} \rightarrow 1,49 \sin 30^\circ = 1,41 \sin \theta_{\text{cladding}} \rightarrow \theta_{\text{cladding}} \\ &= 31,895^\circ \end{aligned}$$

Rasio indeks bias *core-cladding* adalah $n_1 \sin 63^\circ = n_2 \sin 70,3152^\circ \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0,946$

Sehingga, diperoleh sudut kritis $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 71,14099362^\circ$

Lampiran 4. Tabel analisis karakteristik sensor pH

Sensing 3 cm		Sensing 4 cm		Sensing 5 cm	
pH	Volt	pH	Volt	pH	Volt
3	4.18	3	4.28	3	4.235
3.5	4.165	3.5	4.275	3.5	4.23
4	4.145	4	4.27	4	4.225
4.5	4.14	4.5	4.255	4.5	4.22
5	4.13	5	4.25	5	4.215
5.5	4.125	5.5	4.24	5.5	4.21
6	4.12	6	4.22	6	4.205
6.5	4.11	6.5	4.215	6.5	4.2
7	4.105	7	4.185	7	4.19
7.5	4.1	7.5	4.13	7.5	4.18
8	4.095	8	4.115	8	4.175

Lampiran 5. Program Arduino untuk mengaktifkan relay pompa asam-basa:

```
#include<SPI.h>
#include <SD.h>

/*
SD card read/write

This example shows how to read and write data to and from an SD card
file

The circuit:
* SD card attached to SPI bus as follows:
** MOSI - pin 11
** MISO - pin 12
** SCK - pin 13
** CS - pin 4
```

```

*/
File myFile;
float waktu = 0;

void setup (){
    Serial.begin (9600);
    while (!Serial){
        ;
    }
    Serial.print (" Intializing SD Card... ");
    pinMode (10,OUTPUT);
    pinMode (A0,INPUT);
    pinMode (5, OUTPUT); //POMPA ASAM
    pinMode (6, OUTPUT); //POMPA BASA
    if (!SD.begin(4)) {
        Serial.println ("Initialization failed!");
        return;
    }
    Serial.println ("Initialization done.");
}

File data = SD.open("DATA.txt",FILE_WRITE);
if (data){
    data.println(" , ");
    String ok= " t  Tegangan";
    data.println(ok);
    myFile.close();
    Serial.print(ok);
}
}

void loop (){
    Serial.println("\n");
    int sensorValue = analogRead(A0);
    float voltage = sensorValue*(5.0/1023.0);
    myFile = SD.open("test.xls",FILE_WRITE);

    if (voltage<=4.01){ //pH 9

```

```

digitalWrite (5,HIGH); //POMPA ASAM ON
digitalWrite (6,LOW); // POMPA BASA MATI
Serial.println("POMPA ASAM ON"); //myFile.println ("POMPA
ASAM ON");
}

else if (voltage>=4.08){//pH 6
digitalWrite (5,LOW); //POMPA ASAM OFF
digitalWrite (6,HIGH); //POMPA BASA ON
Serial.println("POMPA BASA ON "); //myFile.println ("POMPA
BASA ON");
}

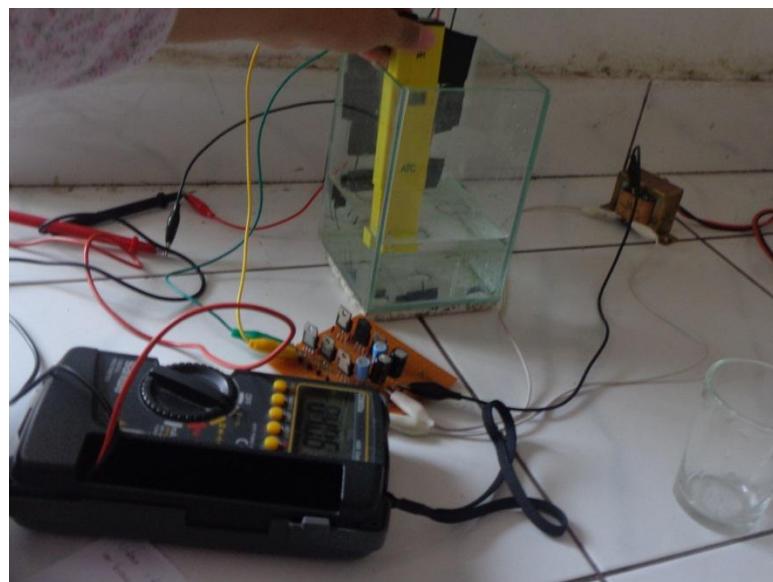
else if (voltage>=4.01&&voltage<=4.08){ //pH 6-9
digitalWrite (6,LOW); // POMPA ASAM-BASA OFF
digitalWrite (5,LOW);
Serial.print("POMPA ASAM & BASA OFF "); //myFile.println
("POMPA ASAM & BASA OFF");
}

String data= String(waktu) +" "+ String((float)voltage,2);
Serial.println(" ");
File myFile=SD.open("DATA.xls",FILE_WRITE);
if (myFile){
myFile.println(data);
myFile.close();
Serial.print(data);
}

waktu = waktu + 5;
//myFile.println ((float)voltage, 2);
//myFile.println(waktu);
//Serial.print (" Tegangan = ");
//Serial.print (voltage); Serial.println(" volt");
//Serial.print (waktu);
//Serial.println("\n");
myFile.close ();
delay (5000);
}

```

Lampiran 6. Pengambilan data karakteristik sensor pH fiber optik



Lampiran 7. Data respon waktu penurunan pH sensor

t (s)	V(Volt)	pH
0	3.97	11.5
0.01	3.97	11.5
0.02	3.97	11.5
0.03	3.97	11.5
0.04	3.97	11.5
0.05	3.97	11.5
0.06	3.97	11.5
0.07	3.97	11.5
0.08	3.97	11.5
0.09	3.97	11.5
0.1	3.97	11.5
0.11	3.97	11.5
0.12	3.97	11.5
0.13	3.97	11.5
0.14	3.97	11.5
0.15	3.97	11.5
0.16	3.97	11.5
0.17	3.97	11.5

t (s)	V(Volt)	pH
0.18	3.98	11
0.19	3.98	11
0.2	3.98	11
0.21	3.98	11
0.22	3.98	11
0.23	3.98	11
0.24	3.98	11
0.25	3.98	11
0.26	3.98	11
0.27	3.98	11
0.28	3.98	11
0.29	3.98	11
0.3	3.99	10.5
0.31	3.99	10.5
0.32	3.99	10.5
0.33	3.99	10.5
0.34	3.99	10.5
0.35	3.99	10.5

t (s)	V(Volt)	pH
0.36	3.99	10.5
0.37	3.99	10.5
0.38	3.99	10.5
0.39	3.99	10.5
0.4	3.99	10.5
0.41	3.99	10.5
0.42	3.99	10.5
0.43	3.99	10.5
0.44	3.99	10.5
0.45	3.99	10.5
0.46	3.99	10.5
0.47	3.99	10.5
0.48	3.99	10.5
0.49	3.99	10.5
0.5	3.99	10.5
0.51	3.99	10.5
0.52	3.99	10.5
0.53	3.99	10.5

t (s)	V(Volt)	pH
0.54	3.99	10.5
0.55	3.99	10.5
0.56	3.99	10.5
0.57	3.99	10.5
0.58	3.99	10.5
0.59	3.99	10.5
0.6	3.99	10.5
0.61	3.99	10.5
0.62	3.99	10.5
0.63	3.99	10.5
0.64	3.99	10.5
0.65	3.99	10.5
0.66	3.99	10.5
0.67	3.99	10.5
0.68	3.99	10.5
0.69	3.99	10.5

t (s)	V(Volt)	pH
0.7	3.99	10.5
0.71	3.99	10.5
0.72	3.99	10.5
0.73	3.99	10.5
0.74	3.99	10.5
0.75	3.99	10.5
0.76	3.99	10.5
0.77	3.99	10.5
0.78	3.99	10.5
0.79	3.99	10.5
0.8	3.99	10.5
0.81	3.99	10.5
0.82	3.99	10.5
0.83	3.99	10.5
0.84	3.99	10.5
0.85	3.99	10.5

t (s)	V(Volt)	pH
0.86	3.99	10.5
0.87	3.99	10.5
0.88	3.99	10.5
0.89	3.99	10.5
0.9	3.99	10.5
0.91	3.99	10.5
0.92	3.99	10.5
0.93	3.99	10.5
0.94	3.99	10.5
0.95	3.99	10.5
0.96	3.99	10.5
0.97	3.99	10.5
0.98	3.99	10.5
0.99	3.99	10.5
1	3.99	10.5

Lampiran 8. Data respon waktu kenaikan pH sensor

t (s)	V(Volt)	pH
0	4.13	3.5
0.01	4.13	3.5
0.02	4.14	3
0.03	4.13	3.5
0.04	4.13	3.5
0.05	4.13	3.5
0.06	4.13	3.5
0.07	4.13	3.5
0.08	4.14	3
0.09	4.14	3
0.1	4.14	3
0.11	4.14	3
0.12	4.14	3
0.13	4.13	3.5
0.14	4.14	3
0.15	4.14	3
0.16	4.13	3.5
0.17	4.14	3
0.18	4.14	3
0.19	4.14	3

t (s)	V(Volt)	pH
0.2	4.15	2.5
0.21	4.14	3
0.22	4.14	3
0.23	4.14	3
0.24	4.13	3.5
0.25	4.13	3.5
0.26	4.14	3
0.27	4.13	3.5
0.28	4.14	3
0.29	4.14	3
0.3	4.14	3
0.31	4.13	3.5
0.32	4.14	3
0.33	4.14	3
0.34	4.14	3
0.35	4.14	3
0.36	4.14	3
0.37	4.13	3.5
0.38	4.13	3.5
0.39	4.13	3.5

t (s)	V(Volt)	pH
0.4	4.13	3.5
0.41	4.13	3.5
0.42	4.14	3
0.43	4.14	3
0.44	4.14	3
0.45	4.14	3
0.46	4.13	3.5
0.47	4.14	3
0.48	4.13	3.5
0.49	4.14	3
0.5	4.13	3.5
0.51	4.15	2.5
0.52	4.13	3.5
0.53	4.13	3.5
0.54	4.13	3.5
0.55	4.13	3.5
0.56	4.13	3.5
0.57	4.14	3
0.58	4.14	3
0.59	4.14	3

t (s)	V(Volt)	pH
0.6	4.14	3
0.61	4.14	3
0.62	4.13	3.5
0.63	4.14	3
0.64	4.14	3
0.65	4.17	1.5
0.66	4.14	3
0.67	4.13	3.5
0.68	4.14	3
0.69	4.13	3.5
0.7	4.13	3.5
0.71	4.14	3
0.72	4.15	2.5
0.73	4.14	3

t (s)	V(Volt)	pH
0.74	4.14	3
0.75	4.14	3
0.76	4.13	3.5
0.77	4.14	3
0.78	4.13	3.5
0.79	4.18	1
0.8	4.14	3
0.81	4.14	3
0.82	4.14	3
0.83	4.13	3.5
0.84	4.13	3.5
0.85	4.14	3
0.86	4.2	0
0.87	4.14	3

t (s)	V(Volt)	pH
0.88	4.13	3.5
0.89	4.14	3
0.9	4.13	3.5
0.91	4.14	3
0.92	4.14	3
0.93	4.17	1.5
0.94	4.14	3
0.95	4.14	3
0.96	4.14	3
0.97	4.13	3.5
0.98	4.14	3
0.99	4.13	3.5
1	4.14	3

Lampiran 9. Tabel pengujian sistem kontrol pH sebelum diberi aktuator

t (s)	pH
0	9
5	11.5
10	11.5
15	11
20	10.5
25	11
30	11
35	10
40	9.5
45	11
50	9
55	9
60	9
65	9
70	9
75	9
80	9
85	9
90	9
95	9
100	9
105	9

t (s)	pH
110	9
115	9
120	9
125	8.5
130	9
135	9
140	9.5
145	9.5
150	10
155	7.5
160	8
165	8
170	10.5
175	10
180	10
185	10
190	10
195	10
200	10
205	10
210	10
215	10

t (s)	pH
220	10.5
225	10
230	10.5
235	10
240	10
245	10
250	10
255	10
260	10
265	10
270	10
275	10
280	10
285	10
290	10
295	10
300	10
305	10
310	10
315	10
320	10
325	10

t (s)	pH
330	10
335	10
340	10
345	10
350	10
355	10
360	10
365	10.5
370	10
375	10
380	10
385	10
390	10
395	10
400	10
405	10
410	10
415	10
420	10
425	10
430	10
435	12.5

t (s)	pH
440	10
445	10
450	10
455	10
460	12.5
465	10
470	9.5
475	10
480	10
485	10
490	10
495	10
500	10
505	10
510	10
515	10
520	9.5
525	10
530	10
535	9.5
540	9.5
545	10

t (s)	pH
660	10
665	10
670	9.5
675	9.5
680	9.5
685	9.5
690	10
695	9.5
700	9.5
705	9.5
710	9.5
715	10
720	9.5
725	10
730	9.5
735	10
740	9.5
745	9.5
750	9.5
755	9.5
760	9.5
765	9.5
770	9.5
775	9.5
780	9.5
785	9.5
790	9.5
795	9.5
800	10
805	9.5
810	10
815	10
820	9.5
825	9.5
830	9.5
835	10
840	9.5
845	9.5
850	9.5
855	10

t (s)	pH
860	10
865	9.5
870	9.5
875	9.5
880	10
885	10
890	9.5
895	9.5
900	10
905	10
910	9.5
915	9.5
920	10
925	10
930	10
935	9.5
940	10
945	10
950	9.5
955	10
960	10
965	10
970	9.5
975	10
980	10
985	10
990	9.5
995	10
1000	10
1005	10
1010	9.5
1015	9.5
1020	10
1025	10
1030	9.5
1035	10
1040	10
1045	9
1050	10
1055	10

t (s)	pH
1060	10
1065	9.5
1070	10
1075	10
1080	10
1085	10
1090	10
1095	10
1100	10
1105	9.5
1110	9.5
1115	10
1120	10
1125	10
1130	9.5
1135	10
1140	10
1145	10
1150	9.5
1155	10
1160	9.5
1165	9.5
1170	10
1175	10
1180	10
1185	10
1190	10
1195	9.5
1200	9.5
1205	9.5
1210	10
1215	9.5
1220	9.5
1225	9.5
1230	9.5
1235	9.5
1240	9.5
1245	9.5
1250	9.5
1255	9.5

t (s)	pH
1260	9.5
1265	9.5
1270	9.5
1275	10
1280	9.5
1285	9.5
1290	9.5
1295	9.5
1300	9
1305	9.5
1310	9.5
1315	10
1320	9.5
1325	10
1330	9.5
1335	9.5
1340	9.5
1345	9.5
1350	9.5
1355	9.5
1360	9
1365	9.5
1370	9.5
1375	9.5
1380	9.5
1385	9.5
1390	9.5
1395	9.5
1400	9
1405	9.5
1410	9
1415	9
1420	9.5
1425	9.5
1430	9
1435	9.5
1440	9
1445	9.5
1450	9.5
1455	9.5

t (s)	pH
1460	9
1465	9.5
1470	9.5
1475	9
1480	9.5
1485	9.5
1490	9.5
1495	9.5
1500	9.5
1505	9.5
1510	9
1515	9
1520	9.5
1525	9
1530	9
1535	9.5
1540	9.5
1545	9.5
1550	9.5
1555	9.5
1560	9
1565	9.5
1570	9.5
1575	9.5
1580	9.5
1585	9.5
1590	9
1595	9.5
1600	9
1605	9
1610	9
1615	9
1620	9
1625	9
1630	8.5
1635	9
1640	8.5
1645	9
1650	9
1655	8.5

t (s)	pH
1860	9
1865	8.5
1870	9
1875	8.5
1880	9

t (s)	pH
1885	9
1890	8.5
1895	8.5
1900	8.5
1905	9

t (s)	pH
1910	8.5
1915	9
1920	8.5
1925	8.5
1930	9

t (s)	pH
1935	9
1940	9
1945	9
1950	9
1955	9

t (s)	pH
1960	9
1965	9
1970	8.5
1975	9
1980	8.5

t (s)	pH
1985	8.5
1990	9
1995	8.5
2000	9

Lampiran 10. Tabel pengujian sistem kontrol pH setelah diberi aktuator

t(s)	pH
0	6
5	6.5
10	6.5
15	7
20	6
25	7
30	7
35	7.5
40	7
45	7
50	7.5
55	7.5
60	7.5
65	7
70	7.5
75	7.5
80	7
85	7.5
90	7.5
95	7.5
100	7.5
105	7.5
110	8
115	7.5
120	7.5
125	8
130	10
135	7.5
140	7.5
145	7.5
150	7.5

t(s)	pH
155	7.5
160	7.5
165	7.5
170	7.5
175	7
180	7.5
185	7.5
190	7
195	7
200	7
205	7
210	7.5
215	7
220	7
225	7
230	6.5
235	6.5
240	7
245	7
250	7
255	7
260	7
265	7
270	7
275	7
280	7
285	7
290	7
295	7
300	7.5
305	7.5

t(s)	pH
310	7
315	7.5
320	7
325	7.5
330	7
335	7.5
340	7.5
345	7.5
350	7
355	7.5
360	7.5
365	7.5
370	7.5
375	7.5
380	7.5
385	7.5
390	7
395	7.5
400	7
405	7.5
410	7
415	7
420	7.5
425	7.5
430	7.5
435	7.5
440	7
445	7.5
450	7.5
455	7.5
460	7.5

t(s)	pH
465	7.5
470	7.5
475	7.5
480	8
485	7.5
490	6
495	6
500	6
505	6
510	6
515	7.5
520	7.5
525	7.5
530	7.5
535	7.5
540	7
545	7
550	7
555	7
560	7
565	7
570	7
575	7
580	7
585	12
590	7
595	7
600	7
605	7
610	7
615	7

t(s)	pH
620	7
625	7
630	7
635	7
640	7
645	7
650	6.5
655	6.5
660	6.5
665	6.5
670	7
675	6.5
680	7
685	6.5
690	6.5
695	7
700	7
705	6.5
710	6.5
715	7
720	7
725	7
730	7
735	6
740	7
745	7
750	6.5
755	7
760	7
765	6.5
770	7

t(s)	pH
775	6.5
780	7
785	6.5
790	6.5
795	7
800	7
805	6.5
810	6.5
815	6.5
820	6.5
825	6
830	6.5
835	6.5
840	6.5
845	6.5
850	6.5
855	7
860	6.5
865	6.5
870	6.5
875	6.5
880	6.5
885	6.5
890	6.5
895	6.5
900	6.5
905	6.5
910	7
915	7
920	7
925	7

t(s)	pH										
930	7	1110	7.5	1290	7	1470	7	1650	8	1830	7
935	7	1115	7.5	1295	7	1475	7	1655	8	1835	7
940	7	1120	7.5	1300	7	1480	7	1660	8	1840	7
945	7.5	1125	7.5	1305	7	1485	7	1665	8	1845	7
950	7.5	1130	7.5	1310	7	1490	7	1670	8	1850	6.5
955	7.5	1135	7.5	1315	7	1495	7	1675	8	1855	7
960	7.5	1140	7.5	1320	7	1500	7	1680	7.5	1860	7
965	7.5	1145	7.5	1325	6.5	1505	7	1685	8	1865	7
970	7.5	1150	7.5	1330	7	1510	7	1690	8	1870	7
975	7.5	1155	7.5	1335	7	1515	7.5	1695	8	1875	7
980	7.5	1160	7.5	1340	7	1520	7.5	1700	7.5	1880	7
985	7.5	1165	7	1345	7	1525	7.5	1705	7.5	1885	7
990	7.5	1170	7.5	1350	7	1530	7.5	1710	7.5	1890	7
995	7.5	1175	7.5	1355	7	1535	7.5	1715	7.5	1895	7
1000	7	1180	7	1360	6.5	1540	7.5	1720	7.5	1900	7
1005	7.5	1185	7.5	1365	6	1545	8	1725	7.5	1905	7
1010	7.5	1190	7.5	1370	7	1550	8	1730	7	1910	6.5
1015	7.5	1195	7.5	1375	6.5	1555	8.5	1735	7.5	1915	6.5
1020	7.5	1200	7.5	1380	7	1560	8	1740	7.5	1920	7
1025	7.5	1205	6.5	1385	7	1565	8	1745	7	1925	6.5
1030	7.5	1210	7.5	1390	7	1570	8	1750	7.5	1930	6.5
1035	6	1215	7.5	1395	7	1575	8	1755	7.5	1935	6.5
1040	7.5	1220	7.5	1400	7	1580	8	1760	7.5	1940	6.5
1045	7.5	1225	7	1405	7	1585	8.5	1765	7	1945	6.5
1050	8	1230	7.5	1410	6.5	1590	8	1770	7.5	1950	6.5
1055	7.5	1235	7.5	1415	6.5	1595	8	1775	7.5	1955	6.5
1060	7.5	1240	7.5	1420	7	1600	8	1780	7.5	1960	6.5
1065	6	1245	7.5	1425	7	1605	8	1785	7	1965	6.5
1070	7.5	1250	7	1430	7.5	1610	8	1790	7	1970	6.5
1075	7.5	1255	7.5	1435	7	1615	8	1795	7.5	1975	8
1080	7.5	1260	7.5	1440	7.5	1620	8	1800	7.5	1980	8
1085	7.5	1265	7.5	1445	7	1625	8	1805	7	1985	8.5
1090	7.5	1270	7.5	1450	7	1630	8	1810	7	1990	8.5
1095	7.5	1275	7	1455	7	1635	8	1815	7	1995	8
1100	7.5	1280	7	1460	7	1640	8	1820	7.5	2000	8
1105	7.5	1285	7	1465	7	1645	8	1825	7		

Lampiran 11. Pengisian air ke dalam bak fiber sebelum dipasang sistem kontrol pH



Lampiran 12. Pemasangan sensor pH fiber optik pada kolam pemberian ikan lele tanpa adanya kontrol pH.



Lampiran 13. Kolam pemberian ikan setelah dipasang sistem kontrol pH.



Lampiran 14. Perbandingan antara kolam pemberian ikan lele yang menggunakan sistem kontrol pH dengan yang tidak dipasang sistem kontrol pH.



Lampiran 15. Benih ikan lele hasil dari pengontrolan pH air kolam

